COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

DIREZIONE TECNICA – U.O. AMBIENTE E ARCHEOLOGIA
PROGETTO PRELIMINARE

NUOVA LINEA AV/AC VENEZIA-TRIESTE
TRATTA RONCHI-TRIESTE

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

QUADRO DI RIFERIMENTO AMBIENTALE

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
L344	00	R	22	RG	SA0000A	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	R. Andrighetto	Nov. 2010	V.Morelli	Nov. 2010	D.Fochesato	Nov. 2010	A.Martino

ITALFERR S.p.A.
Dott. Arch. Antonello Martino
Ordine Architetti di Roma
n. 10485

Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

INDICE

PARTE A - INQUADRAMENTO METODOLOGICO 10

1 INQUADRAMENTO METODOLOGICO 10

1.1 PREMESSA 10

1.2 INDIVIDUAZIONE DELLE COMPONENTI AMBIENTALI SIGNIFICATIVE 11

1.3 METODOLOGIA E CRITERI PER LA VALUTAZIONE DEGLI IMPATTI 12

1.3.1 La fase di analisi 12

1.3.2 La fase di valutazione 13

1.4 DOCUMENTI ALLEGATI 13

PARTE B - CARATTERI DEL TERRITORIO E INTERFERENZE DEL PROGETTO 18

2 AMBIENTE IDRICO 19

2.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 19

2.2 STATO ATTUALE DELLA COMPONENTE 19

2.2.1 Acque superficiali e carsismo 19

2.2.2 Acque sotterranee 28

2.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE E DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE 33

2.3.1 Ricadute del progetto sull'ambiente idrico 33

2.3.2 Interventi di mitigazione 36

2.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 36

3 SUOLO E SOTTOSUOLO 37

3.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 37

3.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 37

3.2.1 Inquadramento Geomorfologico 37

3.2.2 Inquadramento Geologico 43

3.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE E DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE 50

3.4 BIBLIOGRAFIA 51

3.5 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 61

4 RUMORE 63

4.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 63

4.1.1 Normativa Nazionale 63

4.1.2 Normativa Regionale 71

4.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 71

4.2.1 Caratteristiche fisiche del rumore 71

4.2.2 Il rumore ferroviario 73

4.2.3 Il censimento dei ricettori 74

4.2.4 Stato della classificazione acustica 75

4.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE 75

4.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 86

5 VEGETAZIONE, FLORA E FAUNA, ECOSISTEMI 87

5.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 87

5.2 STATO ATTUALE DELLA COMPONENTE 87

5.2.1 Il sistema delle aree protette 87

5.2.2 Analisi dello stato attuale 103

5.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE 148

5.3.1 Vegetazione e flora 148

5.3.2 Fauna 153

5.3.3 Ecosistemi 160

5.4 DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE 164

5.4.1 Vegetazione 164

5.4.2 Fauna 169

5.4.3 Ecosistemi 171

5.5 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 171

5.6 BIBLIOGRAFIA 171

6 VIBRAZIONI 180

6.1 INTRODUZIONE 180

6.1.1 Premessa 180

6.1.2 Struttura dello studio 180

6.1.3 Bibliografia di riferimento 181

6.1.4 Grandezze di riferimento 181

6.2 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 183

6.3 VALUTAZIONE DELLO STATO ATTUALE 188

6.3.1 Identificazione delle aree potenzialmente critiche 188

6.3.2 Caratterizzazione geodinamica dei terreni attraversati 194

6.4 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE 205

6.4.1 Caratterizzazione della sorgente vibratoria 205

6.4.2 Modello di attenuazione con la distanza per i tratti in superficie 211

6.4.3 Modello di attenuazione con la distanza per i tratti in galleria 213

6.4.4 Propagazione negli edifici 216

6.4.5 Valutazione delle interferenze 217

6.4.6 Interventi di mitigazione 219

6.5 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 237

7 PAESAGGIO, MORFOLOGIA E VISUALITÀ 238

7.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 238

7.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 240

7.2.1 Premessa 240

7.2.2 Finalità e metodologia di lavoro 240

7.2.3 L'individuazione dei caratteri del paesaggio 247

7.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE E DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE 263

7.3.1 Impatti indotti dall'opera 263

7.3.2 Interventi di mitigazione previsti 265

7.3.3 Attraversamento delle aree tutelate: analisi paesaggistica di dettaglio 268

7.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 278

8 PATRIMONIO STORICO-ARCHITETTONICO E CULTURALE 279

8.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 279

8.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELLA COMPONENTE 279

8.2.1 Beni di interesse architettonico 280

8.2.2 Beni di interesse culturale 280

8.2.3 Beni di valore storico-testimoniale legati alla Prima Guerra Mondiale 281

8.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE 287

8.4 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA 288

8.5 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 288

9 CAMPI ELETTROMAGNETICI 289

9.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 289

9.1.1 Legge 36/2001 del 22 febbraio 2001. Legge quadro sulla protezione dall'esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici 289

9.1.2 D.P.C.M dell'8 luglio 2003 - Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti 290

9.1.3 Raccomandazione 1999/512/CE del 12 luglio 1999 – "Raccomandazione del consiglio relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz 290

9.1.4 Decreto Ministero Ambiente 29 maggio 2008 – "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti" 291

9.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 291

9.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE 291

9.3.1 Valutazione del campo elettromagnetico generato dagli interventi in progetto 291

9.3.2 Modello di calcolo per la stima dell'intensità dei campi elettromagnetici 291

9.3.3 Studio dell'affiancamento della linea 3kV c.c. storica con la linea 3kV c.c. relativa ai nuovi binari AV 292

9.3.4 Elettrodotto aereo di alimentazione della SSE di Aurisina 292

9.3.5 Elettrodotto in cavo interrato di alimentazione della SSE di Ronchi dei Legionari 296

9.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 300

PARTE C - RICADUTE DELLA FASE DI CANTIERE SULLE COMPONENTI AMBIENTALI SIGNIFICATIVE 301

10 AMBIENTE IDRICO 302

10.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 302

10.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELLA COMPONENTE 302

10.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE E DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE 302

10.3.1 Impatto sull'ambiente idrico superficiale 302

10.3.2 Impatto sull'ambiente idrico sotterraneo 302

10.3.3 Interventi di mitigazione 304

10.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 304

11 ATMOSFERA 305

11.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 305

11.1.1 Sintesi dei valori limite per i diversi inquinanti 305

11.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 308

11.2.1 Descrizione degli inquinanti atmosferici 308

11.2.2 Caratterizzazione della qualità dell'aria nell'area interessata dal progetto 312

11.2.3 Caratterizzazione meteo climatica dell'area interessata dal progetto 326

11.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE E DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE 330

11.3.1 Caratterizzazione delle sorgenti 330

11.3.2 Stima dei fattori di emissione 331

11.3.3 Impianti di betonaggio 332

11.3.4 Cumuli di terra, carico e scarico 332

11.3.5 Traffico veicolare nelle aree non pavimentate 333

11.3.6 Traffico veicolare nelle aree pavimentate 335

11.3.7 Sintesi degli impatti e misure di mitigazione 336

11.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 337

12 RUMORE 338

12.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 338

12.2.2 Caratterizzazione acustica del cantiere mobile 340

12.2.3 Potenze sonore dei macchinari impiegati 341

12.2.4 Metodologia di valutazione dell'impatto 342

12.2.5 Stima dell'impatto acustico dei cantieri fissi 342

12.2.6 Stima di impatto del cantiere mobile 347

12.3.1 Interventi di mitigazione per le aree di cantiere fisso 349

12.3.2 Interventi di mitigazione per il fronte di avanzamento lavori 351

12.3.3 Caratteristiche delle barriere antirumore 352

12.3.4 Richiesta di deroga 352

12.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 352

13 VEGETAZIONE, FLORA E FAUNA, ECOSISTEMI 353

13.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 353

13.2 STATO DI FATTO DELLA COMPONENTE 353

13.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE E DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE 353

13.3.1 Componente vegetazione 353

13.3.2 Componente Fauna 355

13.3.3 Componente Ecosistemi 356

13.3.4 Analisi di incidenza dei cantieri sulla Rete Natura 2000 357

13.3.5 Interventi di mitigazione 358

13.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 358

14 VIBRAZIONI 359

14.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 359

14.2 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE 359

14.2.1 Metodologia 359

14.2.2 Scenari di cantiere 361

14.2.3 Attenuazione nel terreno e livelli di vibrazione ai ricettori 371

14.2.4 Propagazione negli edifici 375

14.2.5 Composizione dello scenario di cantiere *376*

14.2.6 Risultati delle simulazioni in fase di realizzazione dell'opera: valutazione degli impatti vibrazionali per gli scenari A-B-C-D-E *376*

14.2.7 Valutazione degli impatti per le attività di scavo della galleria naturale con TBM (scenario F) *382*

14.2.8 Sintesi delle interferenze previste in fase di realizzazione dell'opera *392*

14.3 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 393

15 SUOLO E SOTTOSUOLO 394

15.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 394

15.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE DELLA COMPONENTE 394

15.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE E DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE 394

15.3.1 Potenziali impatti sulla componente *394*

15.3.2 Interventi di mitigazione *395*

15.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 403

16 PAESAGGIO, MORFOLOGIA E VISUALITÀ 404

16.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 404

16.2 DESCRIZIONE DELLO STATO ATTUALE 404

16.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE 404

16.3.1 Impatti in fase di costruzione *404*

16.3.2 Cantieri ubicati nell'area della bassa pianura isontina *405*

16.3.3 Cantieri ubicati nell'area del Carso isontino *406*

16.3.4 Cantieri ubicati nell'area del Carso triestino *407*

16.3.5 Cantieri ubicati nell'area urbanizzata di Trieste *408*

16.3.6 Interventi di mitigazione previsti *408*

16.3.7 Percezione degli stakeholder *408*

17 ARCHEOLOGIA 409

17.1 RIFERIMENTI LEGISLATIVI 409

17.2 DESCRIZIONE DELLA COMPONENTE 409

17.2.1 Sintesi storica *409*

17.2.2 Vincoli archeologici *416*

17.3 VALUTAZIONE DELLE INTERFERENZE 418

17.3.1 Area di Begliano fino alla Stazione di Ronchi dei Legionari: da Pk 3+012 a Pk 4+869 ..... *419*

17.3.2 Area di San Poletto fino al centro di Monfalcone: da Pk 3+012 a Pk 4+869, da Pk 6+979 a Pk 7+792 B.D. e da Pk 0+00 a Pk 2+740 L.Udine-Trieste *419*

17.3.3 Cima di Pietrarossa o Golas: da Pk 10+329 a Pk 10+943 ..... *420*

17.3.4 Duino-Aurisina Moschenizze: da Pk 12+647 a Pk 13+383 ..... *420*

17.3.5 Duino Aurisina – Cave di Pietra, Bristie: da Pk 24+354 a Pk 25+607 ..... *420*

17.4 PERCEZIONE DA PARTE DEGLI STAKEHOLDER 420

PARTE D - SINTESI DELLE PRINCIPALI PROBLEMATICHE ED EFFETTI SULL'AMBIENTE E SULLE POPOLAZIONI RESIDENTI 421

18 RICADUTE DELL'OPERA SULLA SALUTE PUBBLICA 421

18.1 PREMESSA 421

18.2 ATMOSFERA 422

18.3 SUOLO ED ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE 423

18.4 RUMORE 423

18.5 VIBRAZIONI 423

18.6 CAMPI ELETTROMAGNETICI 424

19 SINTESI DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI 425

19.1 INTRODUZIONE 425

19.2 SCHEDA 1 – IMPATTO ACUSTICO E VIBRAZIONALE SU AREE URBANIZZATE DA INIZIO PROGETTO A MONFALCONE 426

19.3 SCHEDA 2 – IMPATTO ACUSTICO E VIABRAZIONALE SULL'AREA DI SABLICI 426

19.4 SCHEDA 3 – IMPATTO ACUSTICO E VIBRAZIONALE SULL'AREA DI AURISINA 426

19.5 SCHEDA 4 – INTERFERENZA CON TESTIMONIANZE DELLA GRANDE GUERRA SULLE ALTURE DI MONFALCONE 427

19.6 SCHEDA 5 – IMPATTO PAESAGGISTICO NELL'AREA DEL CARSO 427

19.7 SCHEDA 6 – INTERFERENZA CON AREE SIC E ZPS 427

19.8 SCHEDA 7 – ATTRAVERSAMENTO DI AREE CARSICHE 428

19.9 SCHEDA 8 – REALIZZAZIONE BRETELLA DI ELETTRODOTTO AD AURISINA 428

20 SINOTTICO DEGLI EFFETTI SULLE COMPONENTI AMBIENTALI 429

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – RUMORE: TABELLE CON RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER LA FASE DI ESERCIZIO

ALLEGATO 2 – RUMORE: OUTPUT GRAFICI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE PER LA FASE DI ESERCIZIO – STATO DI PROGETTO

ALLEGATO 3 – RUMORE: OUTPUT GRAFICI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE PER LA FASE DI ESERCIZIO – STATO DI PROGETTO CON INTERVENTI DI MITIGAZIONE

ALLEGATO 4 – RUMORE: OUTPUT GRAFICI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE PER LA FASE DI COSTRUZIONE

ALLEGATO 5 – RUMORE: OUTPUT GRAFICI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE PER LA FASE DI COSTRUZIONE CON INTERVENTI DI MITIGAZIONE

ALLEGATO 6 – FAUNA - ELENCO DELLE SPECIE FAUNISTICHE PRESENTI IN AREA VASTA

ALLEGATO 7 – ECOSISTEMI - ANALISI DI INCIDENZA DELL'OPERA SULLA RETE NATURA 2000

ALLEGATO 8 – ECOSISTEMI – FORMULARIO STANDARD NATURA 2000 PER LE AREE SIC E ZPS INTERESSATE DALL'OPERA

ALLEGATO 9 – VIBRAZIONI – IMPATTO VIBRAZIONALE INDOTTO DALLE ATTIVITÀ DI COSTRUZIONE

PARTE A - INQUADRAMENTO METODOLOGICO

1 INQUADRAMENTO METODOLOGICO

1.1 Premessa

Il Quadro di Riferimento Ambientale contiene le analisi dei sistemi ambientali interessati dal progetto, rispetto ai quali si valuta la possibilità che esso induca delle ricadute (impatti) sia di tipo diretto che di tipo indiretto.

La linea metodologica seguita nel presente Studio di Impatto Ambientale è stata quella di effettuare un'analisi delle singole componenti ambientali individuate dal D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e dal D.P.C.M. 27/12/1988 integrate, cosi come illustrato nell'introduzione al Quadro di Riferimento Programmatico, con i fattori ambientali previsti nell'ambito del Sistema di Gestione Ambientale (SGA).

Nella seguente tabella si riporta la corrispondenza tra le componenti ambientali previste dalla normativa sugli studi di impatto ambientale e gli aspetti ambientali previsti nello SGA.

STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE **Argomenti e Componenti**		**SISTEMA DI GESTIONE AMBIENTALE** **Aspetti Ambientali significativi**
Quadro di riferimento Ambientale	✓ Componente atmosfera	✓ Emissioni in atmosfera
	✓ Componente Ambiente idrico	✓ Acque
	✓ Componente Suolo e sottosuolo	✓ Suolo e sottosuolo
	✓ Componente vegetazione, flora, fauna, ecosistemi	✓ Vegetazione, flora, fauna ed ecosistemi
	✓ Componente rumore	✓ Rumore
	✓ Componente vibrazioni	✓ Vibrazioni
	✓ Componente Radiazioni non ionizzanti	✓ Emissioni ionizzanti e non ionizzanti
	✓ Componente salute pubblica	✓ Sistema antropico
	✓ Componente paesaggio	✓ Morfologia del paesaggio e visualità ✓ Beni storici e architettonici ✓ Archeologia

Inoltre, all'interno della relazione si è scelto, per ciascuna componente ambientale, di trattare in sezioni separate le problematiche relative alla fase di esercizio e quelle relative alla fase di cantiere.

Nella prima fase di lavoro, sono state fissate le linee guida generali che sono state seguite dal gruppo di lavoro multidisciplinare (corridoio di base, scale di indagine, prima identificazione degli aspetti emergenti da approfondire).

Nell'ambito della trattazione di ciascuna componente ambientale, l'approccio metodologico seguito ha previsto, dapprima, una definizione del quadro normativo di riferimento; ha fatto seguito una descrizione dei livelli di qualità ante operam (preesistenti alla realizzazione dell'intervento) e dei fenomeni di degrado delle risorse.

Nella fase di valutazione, il confronto tra le peculiarità dell'ambiente e le caratteristiche dell'opera in progetto, ha consentito di individuare gli impatti/interferenze, effettuandone una stima qualitativa e/o quantitativa.

In conclusione, sono state individuate le aree più critiche in cui sono stati previsti idonei interventi di mitigazione per il contenimento degli impatti entro i limiti normativi e di accettabilità.

1.2 Individuazione delle componenti ambientali significative

Di seguito si riporta pertanto l'elenco delle componenti ambientali oggetto di analisi nell'ambito del presente Quadro di Riferimento Ambientale. Per ciascuna delle componenti, il gruppo di analisti ambientali ha valutato le fasi cui riferire l'analisi (fase di costruzione e/o di esercizio) della linea ferroviaria.

Ambiente idrico: sono stati analizzati lo stato attuale della componente e le eventuali criticità del progetto, in relazione alle acque superficiali e a quelle sotterranee. Le analisi sono state svolte sia per la fase di esercizio che per quella di cantiere.

Atmosfera: le analisi riguardanti questo aspetto ambientale e le eventuali criticità per l'inquinamento prodotto hanno unicamente riguardato la fase di cantiere, dal momento che non ci si attendono ricadute significative sulla componente in oggetto a seguito dell'esercizio della linea ferroviaria.

Suolo e sottosuolo: sono state analizzate le caratteristiche e le eventuali criticità del progetto in relazione all'assetto geologico e geomorfologico dell'area. Le analisi sono state svolte con riferimento sia all'opera in se che alla fase di cantiere, non essendo individuabili interferenze con la componente nella fase di esercizio: le interazioni dell'opera con il suolo avvengono infatti solo a causa delle attività di costruzione.

Vegetazione, flora, fauna, ecosistemi: sono state analizzate le caratteristiche e le eventuali criticità del progetto in relazione alle valenze naturalistiche del territorio interessato dall'opera. Le analisi sono state svolte sia per la fase di esercizio, che per quella di cantiere.

Rumore: sono state analizzate le possibili criticità in relazione all'inquinamento acustico generato in fase di esercizio dal traffico ferroviario e in fase di cantiere dalle lavorazioni per la costruzione dell'opera.

Vibrazioni: sono state analizzate le possibili criticità in relazione all'inquinamento vibrazionale generato in fase di esercizio dal transito dei convogli ferroviari e in fase di cantiere dalle lavorazioni per la costruzione dell'opera.

Paesaggio: è stata analizzata l'interferenza del tracciato di progetto con il paesaggio con particolare riferimento alla modifica delle visuali di pregio. Le analisi sono state sviluppate con riferimento sia alla fase di esercizio che a quella di cantiere.

Beni storico-architettonici e culturali: è stata analizzata l'interferenza del tracciato di progetto e delle opere di cantierizzazione con i beni storico-architettonico-culturali presenti sul territorio. Le analisi sono state sviluppate con riferimento sia alla fase di esercizio che a quella di cantiere.

Archeologia: il progetto in esame è corredato da uno specifico Studio Archeologico, redatto ai sensi degli articoli 95 e 96 del D.Lgs. 12 aprile 2006, n. 163 "Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE". In tale studio sono state descritte ed analizzate le problematiche archeologiche al fine di evidenziare in base alla combinazione tra le evidenze archeologiche rilevate sul territorio e la tipologia del tracciato i tratti a maggiore rischio di interferenza con beni archeologici; a complemento dello studio sono state inoltre previste indagini integrative. Nel presente SIA è riportata una sintesi

del citato studio, e le relative conclusioni. Le analisi sono illustrate in relazione alla fase di cantiere, dal momento che unicamente le attività di costruzione possono generare delle interazioni con manufatti di valore archeologico.

Campi elettromagnetici: le analisi riguardanti questo aspetto ambientale e le eventuali criticità per l'inquinamento prodotto legate all'elettrodotto costruito in affiancamento alla nuova linea ferroviaria riguardano specificamente la fase di esercizio.

Salute pubblica: Sono state analizzate le ricadute dell'opera sulla salute ed il benessere delle popolazioni residenti. Per le particolari caratteristiche di questa componente che riassume gli effetti prodotti dall'alterazione degli inquinanti di aria, suolo e acqua, la sua trattazione è riportata in un capitolo successivo a quelli che illustrano le varie componenti sopra citate.

1.3 Metodologia e criteri per la valutazione degli impatti

L'analisi e la stima dei potenziali impatti sull'ambiente, prodotti dal progetto, sono stati sviluppati secondo un processo che prevede due momenti distinti:

1. la fase di analisi;
2. la fase di valutazione.

1.3.1 La fase di analisi

Fase di scoping

In questa fase viene ricostruito il quadro informativo per l'identificazione di Azioni di progetto e Fattori di impatto: individuazione delle attività e/o delle fasi del progetto che potenzialmente producono impatti sulle componenti ambientali.

Identificazione dell'area vasta preliminare

La definizione di un'area vasta preliminare è collegata alla necessità di individuare un ambito territoriale di riferimento all'interno del quale riconoscere le potenziali influenze dell'opera.

L'area vasta preliminare deve rispondere ai seguenti requisiti:

- all'esterno dell'area vasta deve risultare trascurabile qualsiasi potenziale interferenza dell'opera sull'ambiente;
- l'area deve contenere tutti i ricettori sensibili ad impatti anche minimi.

L'area vasta da indagare ha una dimensione differente in funzione della componente ambientale da esaminare. Così, mentre per le componenti rumore e vibrazioni essa avrà un'estensione di poche centinaia di metri a cavallo della linea ferroviaria e degli ambiti di cantierizzazione, per la componente paesaggio potrà avere un'estensione maggiore, a seconda delle zone attraversate.

Caratterizzazione dello stato attuale

In questa fase vengono individuate le componenti e i fattori ambientali e socio–economici da analizzare, in quanto potenzialmente coinvolti dalle azioni di progetto. Componenti e fattori vengono quindi organizzati secondo uno stesso schema generale.

Per ciascuna componente è stata effettuata, in relazione ai dati disponibili sul territorio, un'analisi di dettaglio dello stato attuale, punto di partenza per la stima degli impatti.

1.3.2 La fase di valutazione

Selezione degli impatti

Per quanto riguarda la selezione degli impatti, sono stati discriminati gli *impatti significativi* da quelli *non significativi*. Per *impatti non significativi* si intendono quegli impatti che, pur verificandosi, non superano la soglia costituita dal normale campo di variazione di una componente ambientale in assenza di elementi di perturbazione.

Valutazione dell'impatto

In questa fase viene valutato da un gruppo di esperti multidisciplinare il livello di alterazione di ogni sub-componente rispetto allo stato attuale. Per la classificazione degli impatti significativi è stata adottata una scala ordinale. Gli impatti, positivi e negativi, sono stati valutati in termini quali/quantitativi , secondo la loro rilevanza ed estensione temporale.

Gli impatti sono stati valutati per ciascuna componente tenendo conto in maniera distinta:

- delle ricadute di carattere ambientale in senso esteso;
- delle ricadute su parti esterne, costituite da cittadini residenti nell'area, enti pubblici, associazioni, ecc.
- delle ricadute indotte da indicazioni o prescrizioni di normativa.

1.4 Documenti allegati

Si riporta di seguito l'elenco degli elaborati che, insieme alla presente relazione, costituiscono il Quadro di Riferimento Ambientale:

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Carta Geologica 1/4	1:10.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 4 G E 0 0 0 1 0 0 1 A
Carta Geologica 2/4	1:10.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 4 G E 0 0 0 1 0 0 2 A
Carta Geologica 3/4	1:10.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 4 G E 0 0 0 1 0 0 3 A
Carta Geologica 4/4	1:10.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 4 G E 0 0 0 1 0 0 4 A
Carta Idrogeologica 1/4	1:10.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 4 G E 0 0 0 2 0 0 1 A
Carta Idrogeologica 2/4	1:10.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 4 G E 0 0 0 2 0 0 2 A
Carta Idrogeologica 3/4	1:10.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 4 G E 0 0 0 2 0 0 3 A
Carta Idrogeologica 4/4	1:10.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 4 G E 0 0 0 2 0 0 4 A
Carta Geomorfologica 1/4	1:5.000	L 3 4 4 0 0 R 6 9 G 5 G E 0 0 0 3 0 0 1 A

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Carta Geomorfologica 2/4	1:5.000	L344 00 R69 G5 GE0003 002 A
Carta Geomorfologica 3/4	1:5.000	L344 00 R69 G5 GE0003 003 A
Carta Geomorfologica 4/4	1:5.000	L344 00 R69 G5 GE0003 004 A
Carta dell'uso del suolo 1/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 001 A
Carta dell'uso del suolo 2/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 002 A
Carta dell'uso del suolo 3/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 003 A
Carta dell'uso del suolo 4/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 004 A
Carta dell'uso del suolo 5/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 005 A
Carta dell'uso del suolo 6/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 006 A
Carta dell'uso del suolo 7/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 007 A
Carta dell'uso del suolo 8/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 008 A
Carta della vegetazione 1/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 009 A
Carta della vegetazione 2/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 010 A
Carta della vegetazione 3/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 011 A
Carta della vegetazione 4/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 012 A
Carta della vegetazione 5/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 013 A
Carta della vegetazione 6/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 014 A
Carta della vegetazione 7/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 015 A
Carta della vegetazione 8/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 016 A
Carta degli ecosistemi 1/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 017 A
Carta degli ecosistemi 2/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 018 A
Carta degli ecosistemi 3/8	1:5.000	L344 00 R22 P5 SA0000A 019 A

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Carta degli ecosistemi 4/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 0 A
Carta degli ecosistemi 5/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 1 A
Carta degli ecosistemi 6/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 2 A
Carta degli ecosistemi 7/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 3 A
Carta degli ecosistemi 8/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 4 A
Carta degli elementi del paesaggio e della visualità 1/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 5 A
Carta degli elementi del paesaggio e della visualità 2/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 6 A
Carta degli elementi del paesaggio e della visualità 3/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 7 A
Carta degli elementi del paesaggio e della visualità 4/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 8 A
Carta degli elementi del paesaggio e della visualità 5/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 2 9 A
Carta degli elementi del paesaggio e della visualità 6/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 3 0 A
Carta degli elementi del paesaggio e della visualità 7/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 3 1 A
Carta degli elementi del paesaggio e della visualità 8/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 3 2 A
Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale 1/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 3 3 A
Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale 2/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 3 4 A
Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale 3/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 3 5 A
Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale 4/8	1:5.000	L3440 0 R22 P5 S A 0 0 0 A 0 3 6 A

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale 5/8	1:5.000	LI344R22PSSA000A037A
Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale 6/8	1:5.000	LI344R22PSSA000A038A
Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale 7/8	1:5.000	LI344R22PSSA000A039A
Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale 8/8	1:5.000	LI344R22PSSA000A040A
Localizzazione dei ricettori acustici 1/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A001A
Localizzazione dei ricettori acustici 2/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A002A
Localizzazione dei ricettori acustici 3/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A003A
Localizzazione dei ricettori acustici 4/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A004A
Localizzazione dei ricettori acustici 5/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A005A
Localizzazione dei ricettori acustici 6/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A006A
Localizzazione dei ricettori acustici 7/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A007A
Localizzazione dei ricettori acustici 8/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A008A
Localizzazione dei ricettori acustici 9/9	1:2.000	LI344R22P6SA000A009A
Carta di sintesi degli impatti 1/2	1:25.000	LI344R22P3SA000A001A
Carta di sintesi degli impatti 2/2	1:25.000	LI344R22P3SA000A002A
Schede di censimento dei ricettori - Comune di Doberdò Del Lago	-	LI344R22SHSA000A001A
Schede di censimento dei ricettori - Comune di Duino Aurisina	-	LI344R22SHSA000A002A
Schede di censimento dei ricettori - Comune di Monfalcone	-	LI344R22SHSA000A003A
Schede di censimento dei ricettori - Comune di Ronchi dei Legionari	-	LI344R22SHSA000A004A

ELABORATO	SCALA	CODIFICA
Schede di censimento dei ricettori - Comune di San Canzian d'Isonzo	-	L344 00 R 22 RG SA000A 005 A
Schede di censimento dei ricettori - Comune di Staranzano	-	L344 00 R 22 RG SA000A 006 A
Schede di censimento dei ricettori - Comune di Turriaco	-	L344 00 R 22 RG SA000A 007 A

PARTE B - CARATTERI DEL TERRITORIO E INTERFERENZE DEL PROGETTO

La presente sezione del Quadro di Riferimento Ambientale illustra l'analisi delle singole Componenti Ambientali, espresse in termini di caratterizzazione dello stato attuale e di valutazione degli impatti, con riferimento per questi ultimi all'attività di esercizio dell'opera.

Le analisi sono riportate anche negli elaborati grafici allegati alla presente relazione, relativi ad un corridoio di studio a cavallo del tracciato di progetto di ampiezza variabile in funzione della scala di studio.

2 AMBIENTE IDRICO

2.1 Principali riferimenti legislativi

- R.D. del 11 dicembre 1933, n.1775 - "Testo unico delle disposizioni di legge sulle acque e impianti elettrici";
- D.P.R. del 24 maggio 1988, n.236 - "Attuazione della direttiva CEE n. 80/778 concernente la qualità delle acque destinate al consumo umano ai sensi dell'articolo 15 della L. 16/04/1987, 183";
- D.M. Lavori Pubblici del 14 febbraio 1997 - "Direttive tecniche per l'individuazione e la perimetrazione da parte delle regioni delle aree a rischio idrogeologico";
- L. del 5 gennaio 1994, n.36 - "Disposizioni in materia di risorse idriche" (Legge Galli);
- D.P.R. del 14 aprile 1994 - "Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la determinazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed internazionale";
- D.P.C.M. del 29 settembre 1998 - "Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'Art. 1, commi 1 e 2, del D.L. 11 giugno 1998, n. 180";
- L. del 13 Luglio 1999, n. 226 - "Conversione in legge, con modificazioni, del decreto legge 13 maggio 1999, n. 132, recante interventi urgenti in materia di protezione civile";
- Norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico del 10 maggio 2000, aggiornate al 5 aprile 2006;
- D. L. del 12 ottobre 2000, n.279 - "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore di zone colpite da calamità naturali", convertito in legge con modificazioni con la Legge 11 dicembre 2000 n. 365;
- D.Lgs. del 3 aprile 2006, n.152 - "Norme in materia ambientale" (Parte Terza);
- D.Lgs. del 16 gennaio 2008, n.4 - "Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale";
- D.M. Ambiente del 14 aprile 2009, n.56 - "Regolamento recante criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e per l'identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche per il Decreto Legislativo del 3 aprile 2006, n.152, recante norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell'articolo75, comma 3, del decreto legislativo medesimo";
- D.Lgs. del 16 marzo 2009, n.30 - "Attuazione della direttiva 2006/118/CE, relativa alla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento";

2.2 Stato attuale della componente

2.2.1 Acque superficiali e carsismo

L'area di interesse progettuale si inserisce nell'ambito di due sistemi fluviali principali: il Sistema del fiumr Isonzo ed il Sistema del fiume Timavo.

Il primo nasce nelle Alpi Giulie in Slovenia e termina il suo corso, lungo 140 chilometri, tra le cittadine di Monfalcone ai piedi dell'altipiano carsico, e l'insulare Grado. Il corso dell'Isonzo nella parte che va dalla confluenza

con il Torre e scende a sud fino al ponte sulla strada Monfalcone - Grado, è caratterizzato da estesi tratti di ghiaie e sabbie, visibili nei periodi di magra del fiume.

Il Timavo è un fiume che nasce, con il nome di Reka, sul gruppo del Nevoso (Snieznik, Croazia e Slovenia), attraversa la Slovenia e dopo 55 km di percorso scompare nelle voragini di San Canziano, per riapparire, dopo un tragitto sotterraneo di circa 40 chilometri, a nord di Duino (Trieste) attraverso tre bocche principali che hanno una portata media complessiva di 25 mc/sec.

L'idrografia di superficie, in questi settori, è strettamente legata ai litotipi affioranti nell'area e all'assetto tettonico della stessa. Sul substrato calcareo (predominante in questi settori), in particolare, la rete idrografica di superficie è molto scarsa se non del tutto assente a causa dell'elevata permeabilità per fratturazione che i terreni carbonatici presentano. E' qui che si sviluppa infatti una rete ipogea, con circolazione idrica sotterranea e con forme erosive e di deposito rappresentative della morfologia carsica. Se ne deriva che in questa area l'ambiente idrico superficiale e quello sotterraneo assumono uno stretto legame a causa degli intensi fenomeni carsici diffusi.

L'area del Carso classico (Carso triestino ed isontino) è l'area carsica per eccellenza, ove affiorano calcari cretacei e terziari molto carsificabili e carsificati che danno luogo a tutte le forme carsiche epigee ed ipogee possibili, con densità, ampiezza e tipologia tali da aver fatto dell'area il simbolo universale delle fenomenologie carsiche.

Il Timavo, come anticipato, nasce sulle pendici del M. Dletvo al confine fra Slovenia e Croazia, con il nome di Reka, e scorre per 40 km su terreni marnoso arenacei fino all'area di San Canziano ove viene inghiottito in un maestoso complesso di gallerie sotterranee (Skocjanske Jame). Appena 6 km a valle le sue acque percorrono le gallerie più profonde dell'Abisso dei Serpenti (Kacna Jama) a circa 90 m s.l.m. Ancora più a valle, 15 km in linea d'aria secondo una direttrice SE-NW, altre sue acque percorrono, a circa 10 m s.l.m. e per poche decine di metri, il fondo della Grotta di di Kanjaduce, dell'Abisso nella dolina Stršinkina, dell'Abisso di Trebiciano, e quello della Grotta Lazzaro Jerko, cavità a sviluppo verticale profonde circa 300 metri che si trovano circa 20 km a monte delle Risorgive. Fino alla zona sorgentifera non esistono poi altre grotte che intersecano rami del Timavo ipogeo: tuttavia alcune di esse (Abisso Massimo, Grotta Lindner) sono interessate da acque di fondo durante le piene importanti, altre (Pozzo presso la 4512 VG, Pozzo dei protei di Monfalcone, Grotta presso la quota 36, Grotta di Comarie) intercettano le acque della falda carsica in prossimità dell'area sorgentifera. Il percorso ipogeo del Timavo dovrebbe avere uno sviluppo di almeno 70-80 km, con frequenti variazioni di direzione dei deflussi preferenziali. Il tempo di percorrenza in piena delle acque è di circa due giorni.

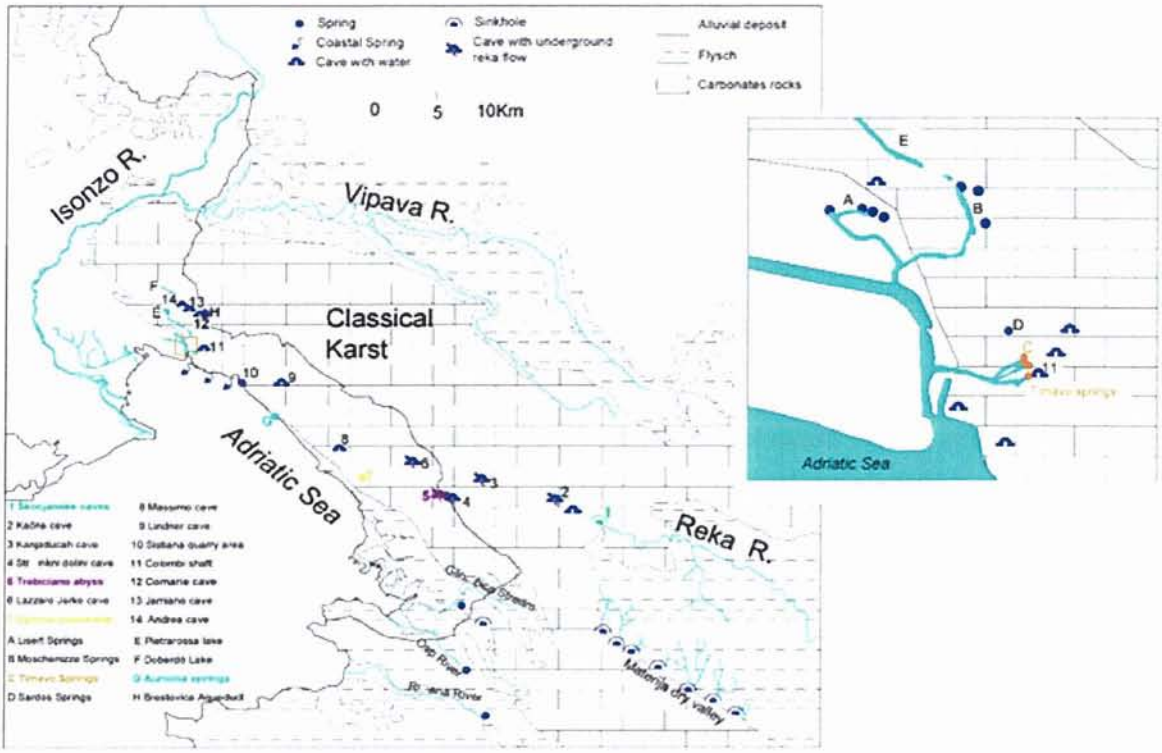


Fig.2.1 - Schema idrogeologico del Carso Classico con i punti acqua

Il Carso triestino è in evoluzione da più di 10 milioni di anni e le originali morfologie superficiali sono di difficile riconoscimento: l'antica superficie d'abrasione si è evoluta in una serie di polje ad orientazione dinarica che conseguentemente all'abbassamento della superficie di base si sono evoluti in un plateau su cui si sono impostate numerose doline di dissoluzione e di crollo. Le morfologie carsiche superficiali, così come oggi si possono osservare sono il risultato predominante dei condizionamenti litologici ed in parte minore di quelli tettonico-strutturali; infatti la massima pendenza della stratificazione e le intersezioni dei "piani aperti" per cause tettoniche, non sembrano avere risultanze sulle morfologie superficiali, mentre ne hanno su quelle ipogee. Le cavità preservano rare morfologie primarie, modificate da depositi di riempimento, crolli, concrezioni di tutti i tipi, che a loro volta nascondono approfondimenti per variazioni del livello di base ed adattamenti ai movimenti tettonici. A tale proposito, nell'intero territorio del Carso, tre sono le cavità più interessanti, tutte in verità ben lontane dal tracciato ferroviario della tratta ferroviaria in esame. Di esse, la Grotta C. Skilan si apre nei pressi di Basovizza, è ancora in esplorazione ed ha almeno 6 km di sviluppo per 380 m di profondità, pressoché coincidente con il livello del mare tanto che recentemente vi è stata ubicata una stazione di monitoraggio delle acque di fondo. Altre cavità particolari dal punto di vista geomorfologico sono la Grotta G. Savi, 4 km di gallerie e sale in destra del T. Rosandra, e la Grotta Impossibile, vasta cavità complessa con gallerie e sale di ampiezza veramente notevole, una rete di gallerie e pozzi di dimensioni minori per complessivi circa 2 km, scoperta durante i recenti lavori di costruzione della galleria autostradale a doppia canna Cattinara – Padriciano della Grande Viabilità Triestina (SS 202).

Ben 3087 sono le cavità note e catastate nel Carso italiano. La loro ubicazione, le loro caratteristiche, le piante e gli spaccati sono raccolti presso il Catasto Regionale delle Grotte della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia (Assessorato Pianificazione e Territorio). Dal Catasto sono stati ricavati tutti i dati cartografici e le informazioni riportati nel presente studio. Si ricorda a questo proposito che le cavità hanno due numeri di catasto, il primo è quello regionale, attribuito negli anni '60 in seguito alla attivazione del Catasto Regionale del FVG, il secondo è

quello ereditato dal Catasto Grotte d'Italia, avviato nel 1920 e interrotto dopo la guerra (la sigla VG significa Venezia Giulia).

Non tutte le cavità hanno lo stesso spessore e la medesima importanza, alcune sono particolari per la loro profondità, altre per le dimensioni, altre per la lunghezza: solamente 140 sono le cavità a sviluppo planimetrico significativo (dimensioni suborizzontali maggiori di 100 metri), solamente 630 sono i pozzi più profondi di 20 metri. Alcune cavità tuttavia hanno dimensioni o sviluppo considerevole, considerato anche che lo spessore della compagine calcarea al di sopra del livello mare non è superiore ai 350 metri.

1.2.1.1 Fenomeni carsici lungo il tracciato di progetto

Differenti da luogo a luogo sono le caratteristiche morfologiche epigee lungo la fascia soprastante il tracciato, tanto quelle legate alle "grandi forme" (doline, uvala, polje) quanto quelle dipendenti dalle "piccole forme" (karren, kamenitze, campi solcati, ecc.). Ciò essenzialmente per la diversità delle litologie caratterizzanti la superficie e per il loro diverso assetto strutturale.

Le morfologie superficiali sono state analizzate solamente per quel che concerne il loro significato in profondità, cioè per ipotizzare il tipo e l'entità della carsificazione ipogea. Si ricorda infatti che ad una dolina di dissoluzione in genere corrisponde un sistema ipogeo di inghiottitoi solitamente intasati da argille e depositi terroso-detritici, mentre ad una dolina di crollo corrisponde in genere un vano di dimensioni variabili (da subverticale a pozzo a suborizzontale a galleria) completamente (o in parte) riempito da materiale di crollo misto a detrito ed argille.

Ad un campo di "grize", il tipico pietrisco carsico, corrisponde di solito un carsismo ipogeo "diffuso", ai campi solcati un carsismo "concentrato".

Nel Carso il carsismo è da considerare relativamente maturo, con forme che risultano il prodotto di un'evoluzione durata per lo meno una decina di milioni di anni.

Ne consegue che tanto in superficie quanto in profondità sono presenti contemporaneamente forme giovanili e forme mature. Si può, in linea di massima considerare che la superficie, dall'inizio dell'incarsimento ad oggi, si sia abbassata per dissoluzione complessivamente di alcune centinaia di metri, che il livello di base delle acque sia oscillato più volte e che sia stato, anche per tempi considerevoli, almeno 300/200 metri più basso dell'attuale, infine che il clima sia considerevolmente mutato più volte.

Le Doline

In linea di principio, le prime forme in superficie sono le doline di dissoluzione, forme ad imbuto risultato della dissoluzione dinamica centripeta di acque richiamate in profondità da punti o zone di assorbimento preferenziale. Oggi, nel Carso, delle forme più antiche resta ben poco e le doline a diametro maggiore di 100/200 metri sono appena 181, contro le 5367 aventi dimensione molto più ridotte. Sono tutte caratterizzate in profondità da un sistema solitamente complesso di cavità ubicate in corrispondenza dei fianchi e del fondo; le cavità sono prevalentemente verticali, più o meno beanti e riempite da materiali eterogenei (crolli, concrezioni, argille). Si deve quindi presumere che al di sotto delle doline maggiori vi sia un volume cilindrico (il cui diametro può essere ricondotto alla metà del diametro della dolina) particolarmente carsificato che va dalla superficie fin oltre il livello del mare.

Anche in corrispondenza delle doline minori è da prevedere la presenza di volumi più incarsiti, seppur di dimensioni minori e non sempre molto profondi.

Sulla base delle foto aeree e degli elementi morfologici CTR, nella carta geomorfologica in allegato si sono segnati i perimetri delle doline a diametro superiore ai 100 metri e con apposito simbolo le altre doline minori, all'interno di una fascia ampia 900 metri abbracciante il tracciato (*Carta del Carsismo*, rif. doc. L34400R69G5GE0003001-4A) .

Sul terreno si è cercato di evidenziare gli elementi geomorfologici significativi per differenziare, quando possibile, le doline di crollo da quelle di dissoluzione e per individuare gli eventuali elementi geologici strutturanti.

E' da considerare carsismo superficiale agli effetti geognostici ed idrogeologici anche la prima porzione di sottosuolo (nel nostro caso per una potenza che va dalla decina alla cinquantina di metri) ove la gerarchizzazione del reticolo è ancora a carattere dispersivo e numerosi sono i piccoli vuoti a diverso riempimento.

Sono frequenti i casi, legati all'abbassamento per dissoluzione della superficie ed alla instabilità geostrutturale delle volte delle cavità sottostanti, di crollo di soffitti e conseguente genesi di doline di crollo. Non è sempre agevole riconoscere le doline di crollo da quelle di dissoluzione, anche perché spesso il tempo modifica notevolmente le morfologie esterne: lungo il percorso ferroviario in studio ne sono state riconosciute sicuramente almeno una decina.

Le doline di crollo informano che al fondo si trova, per profondità variabili dalla cinquantina al centinaio di metri, materiale di frana (blocchi rocciosi di dimensioni anche notevoli, variamente frammisti a detrito, argille e concrezioni che riempiono volumi a stretta campana) talvolta localmente cementato e che, con direzione non facilmente ipotizzabile, alla forma superficiale va affiancata una ipogea, ubicata ad una certa profondità dal piano campagna (anche parecchie decine di metri) suborizzontale o poco inclinata, ampia, parzialmente o completamente riempita, in pratica un settore di una galleria primordiale o un grande vuoto a campana.

Le Cavità

Per quanto riguarda le forme ipogee, le prime forme sono sicuramente legate a gallerie (definibili come "primordiali"), generalmente poco inclinate (da 10° a 20°/30°), impostate prevalentemente lungo la massima pendenza della stratificazione (i piani più beanti e continui) e/o lungo sistemi di discontinuità subverticali. Le gallerie possono essere più o meno ampie: tra quelle note, le più ampie hanno larghezza di 60/80 metri anche se generalmente le dimensioni si attestano sui 20/40 metri. Lo sviluppo longitudinale è notevole anche se solitamente non è noto perché i vani sono occlusi all'esplorazione per concrezioni, crolli, depositi argilloso-sabbiosi.

Quasi tutte le gallerie più antiche si sono nel tempo evolute a forra, approfondendosi notevolmente (anche al di sotto del livello del mare e quindi più di un centinaio di metri), anche se oggi praticamente quasi tutta la forra (larghezza anche di decine di metri) è riempita da materiale vario, risultato dell'evoluzione graviclastica, concrezionaria e sedimentaria ipogea.

Ai dreni principali si raccordano dreni secondari, che nel Carso sono solitamente di ridotte dimensioni, parzialmente o completamente occlusi da depositi concrezionari.

Altre forme ipogee sono quelle, prevalentemente verticali, più recenti, essenzialmente inghiottitoi impostati su fratture subverticali. Hanno generalmente ridotte dimensioni: prevalgono in assoluto pozzi a sezione ellittica larghi 3-6 metri, decisamente meno frequenti sono i pozzi che superano questi valori per giungere ai 10/15. I pozzi sono solitamente riempiti o parzialmente tappati da materiale di crollo e disfacimento, sono poco concrezionati (a meno che non facciano parte di sistemi ipogei complessi, cioè siano legati a grandi gallerie).

Dal punto di vista idrodinamico in corrispondenza dei tratti carsificati sono da aspettarsi venute d'acqua dall'alto durante le precipitazioni (con regime rapido) ma generalmente anche altrettanto rapidi drenaggi verso il livello di base.

Dal punto di vista geotecnico, la roccia intorno al vuoto è generalmente ottima, le pareti hanno buona stabilità. Non altrettanto si può dire dei depositi di riempimento che possono essere sostanzialmente divisi in tre unità: i depositi di crollo, i depositi di riempimento chimico, quelli sedimentari.

I crolli, che possono generare corpi di frana notevolissimi, sono costituiti da frammenti di volume anche notevole (predominano quelli da 0,5 a 2 m^3), di roccia sana, a spigoli vivi, non cementati. Riempiono pozzi e gallerie in maniera occasionale e sono generalmente frammisti alle altre unità di riempimento, specie concrezioni (in questo caso assumono una certa cementazione).

I depositi di riempimento chimico hanno petrografia, forma, estensione, spessore estremamente variabili in quanto questi parametri dipendono dal modello genetico (gocciolamento, scorrimento planare, regime continuo o discontinuo, percolazione nelle porosità, sovrasaturazione, velocità di deflusso, clima, trasporto solido, ecc.). Sono tutti dati da cristalli di calcite disposti perpendicolari alla superficie di evaporazione, di dimensione variabile dal centimetrico a submillimetrico.

Possono formare patine o plaghe di cementazione e legare frammenti o potenti ed estesi volumi. Sono tuttavia da considerare, dal punto di vista geotecnico, materiale complessivamente scadente, non solidale con la roccia sana o con gli altri depositi di riempimento.

I depositi sedimentari sono i più vari, risultato delle variazioni di regime idrico delle acque ipogee e del mutare della morfologia esterna. Nel settore considerato sono da considerare rari i conglomerati poligenici e le ghiaie, non frequenti le sabbie sciolte o poco cementate, abbondanti le argille ed i limi. Si possono ritrovare incollati a volte e/o pareti, frammisti ai depositi di crollo ed alle concrezioni; riempiono il fondo di pozzi e gallerie a forra, sono potenti da pochi millimetri a decine di metri

Al proposito si fa presente che recenti studi contribuiscono a ritenere che le cosiddette "terre rosse" più che materiale residuale (cioè quanto resta dalla dissoluzione dei calcari) siano una sorta di "loess", cioè materiale prelevato dal flysch molto più a Est, trasportato dal vento ed intrappolato sul fondo di doline o in fratture. Le acque dilavanti poi, oltre ad alterarle, le avrebbero trasportate in profondità. Questo spiegherebbe la natura essenzialmente quarzosa delle terre rosse e delle sabbie presenti in cavità ed in superficie.

Per sintetizzare e concludere, gli scavi di progetto possono interessare le seguenti tipologie di elementi del sistema carsico:

- ***cavità*** (solitamente pozzi, più raramente gallerie) i cui tratti superiori possono essere interessati da materiale instabile,

- ***cavità*** (pozzi o gallerie) parzialmente o completamente riempite da materiale eterogeneo da plastico a cementato.

- ***galleria semplice senza approfondimento in roccia***, con forma subarrotondata e andamento suborizzontale. Le dimensioni del tubo possono andare da pochi metri di diametro fino a 20-30 metri; può presentarsi completamente vuota o riempita da depositi \concrezioni \crolli.

- ***galleria semplice con approfondimento a forra***. L'approfondimento in genere ha larghezza di pochi metri (2/3 prevalenti con rari casi di 10/20) e altezza da 5 m alle decine di metri (caso limite 70-80 m). Può presentarsi la variante completamente vuota o completamente riempita da depositi \concrezioni \crolli.

- ***galleria semplice con approfondimento avvenuto in più fasi*** (riempimento e svuotamento) e fenomeni di instabilità della volta della galleria.

- ***pozzo semplice***. Non c'e presenza di riempimenti tranne che di detrito al fondo rilevabile del pozzo. Le dimensioni sono tra le più varie (solitamente un po' allungata lungo la frattura condizionante), con profondità dai 20 ai 150 m, larghezza da pochi metri ad un massimo 15-20 m.

- ***pozzo complesso***. Si tratta di una associazione di pozzi semplici disposti in sequenza (spesso lungo la direzione di una o due fratture).

- ***pozzo semplice completamente riempito*** da materiale detritico \ concrezione \ argille, con eventuale presenza di materiale sospeso.

- ***dolina di crollo completamente riempita*** da materiale detritico \ argille \ materiale di concrezione.

- ***dolina di crollo con inghiottitoio/i*** parzialmente riempito/i da materiale detritico \ argille \ concrezione.

- ***dolina di crollo con gallerie*** laterali o caverna.

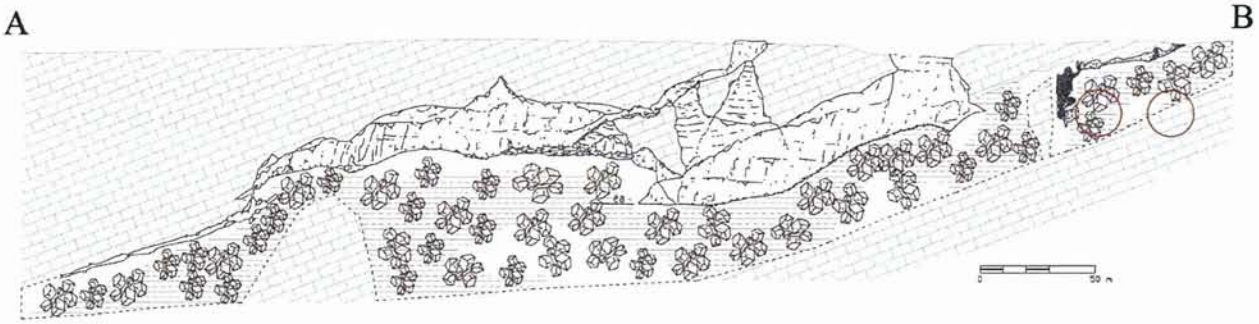


Fig.2.2 - Profilo di "galleria primordiale con approfondimento a forra". L'esempio si riferisce alla Grotta delle Torri di Slivia, n° 22, ed alla Grotta degli Scalpellini, n° 60

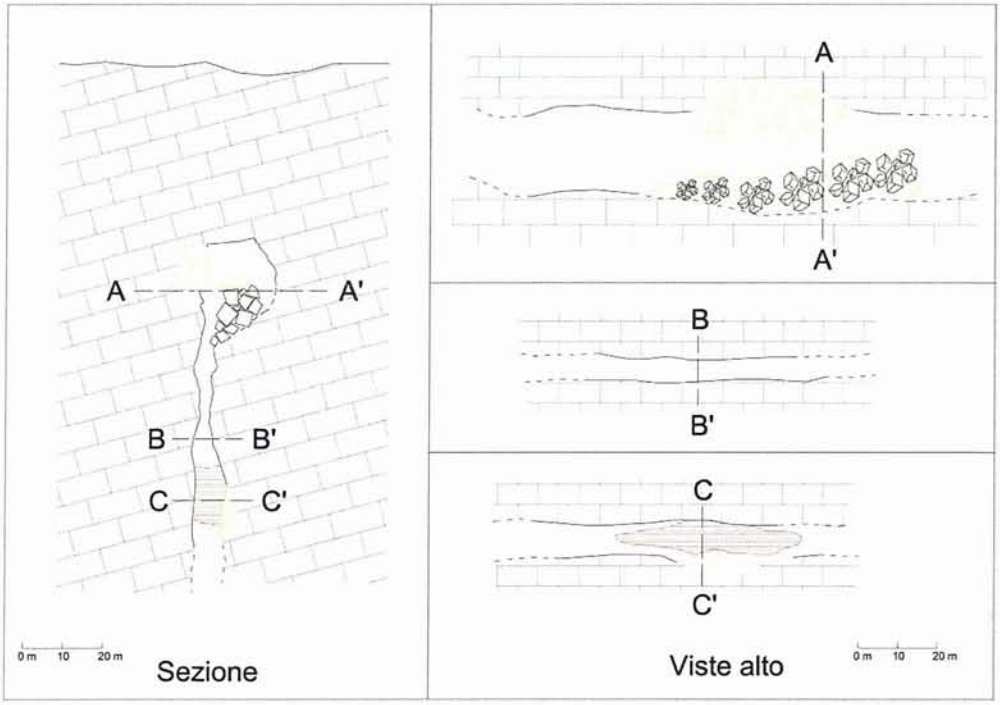


Fig.2.3 - Galleria semplice con approfondimento a forra

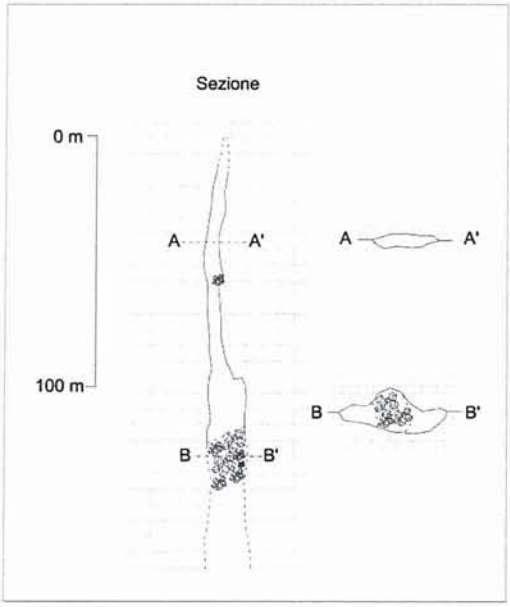


Fig.2.4 - Pozzo semplice

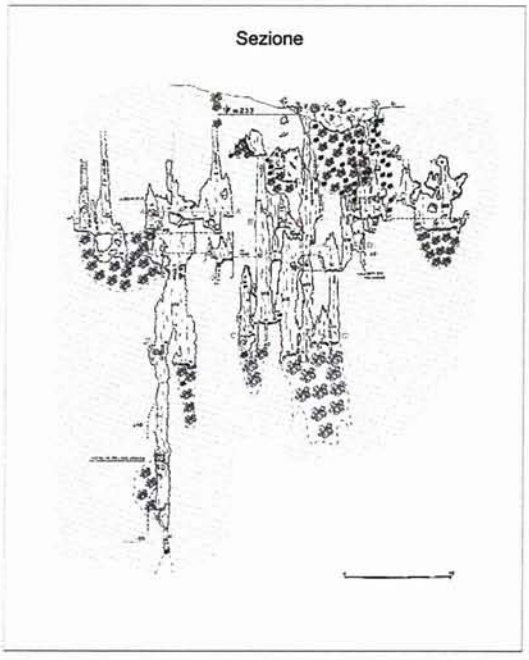


Fig.2.5 - Sezione di un pozzo complesso

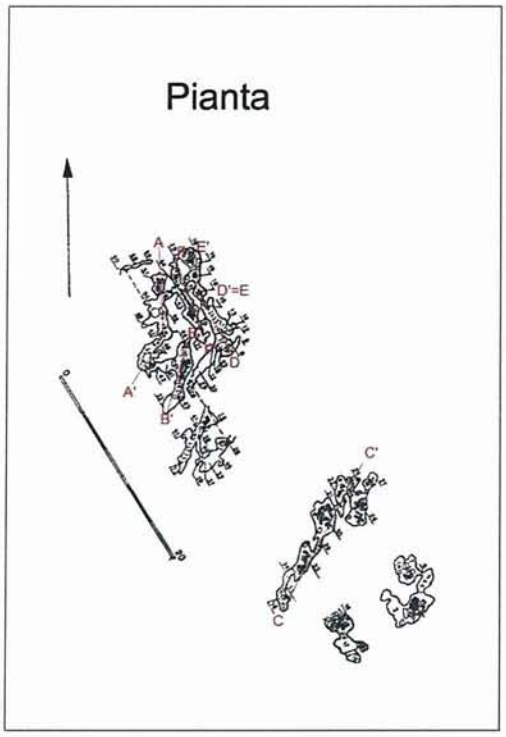


Fig.2.6 - Pianta di un pozzo complesso

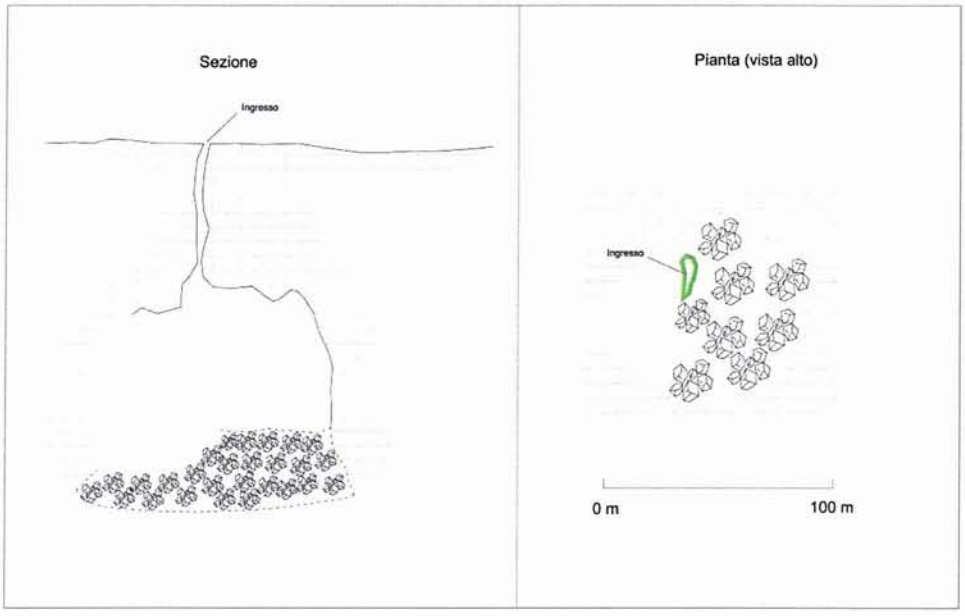


Fig.2.7 - Pozzo e caverna di crollo

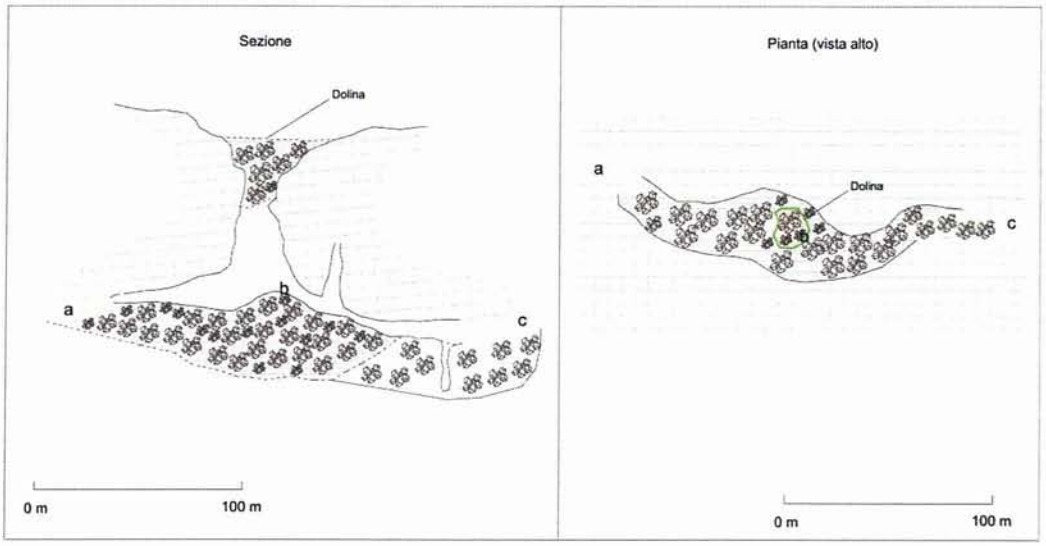


Fig.2.8 - Dolina di crollo con gallerie laterali

2.2.2 Acque sotterranee

Dal punto di vista idrogeologico, il modello generale applicabile al Carso può essere considerato comprensivo di tre settori significativi:

- quello in cui le acque passano da epigee (in quanto defluenti in valli non carsiche) a ipogee (in quanto inghiottite in profondità) e vanno ad alimentare le acque di fondo carsiche;
- quello in cui le acque scorrono con articolati percorsi lungo vie di drenaggio più o meno incarsite e sono ulteriormente alimentate dal percolio superficiale (in pratica l'altopiano carsico);
- il settore sorgentifero, in cui le acque vengono alla luce o defluiscono in mare.

Il settore di alimentazione per inghiottitoi, borda a settentrione ed a oriente il Carso Classico e si può dividere dal punto di vista idrodinamico in due sottosettori, quello "puntuale" di San Canziano (pochi kmq in Slovenia) e quello "lineare" del Carso isontino settentrionale a contatto con i fiumi Isonzo e Vipacco (lungo 5-6 km).

A San Canziano le portate in ingresso sono mediamente di 8.3 m^3/s. In base a recentissime stime, il settore lineare del Carso isontino contribuisce a sua volta al sistema mediamente con 10 m^3/s.

Il sistema sorgentifero (una ventina di chilometri quadrati in tutto) è dato essenzialmente (Carta idrogeologica, rif. doc. L34400R69G4GE0002001-4A):

- dalle Risorgive del Timavo a San Giovanni di Duino,
- dai laghi di Doberdò e di Pietrarossa, e dalle paludi di Sablici,
- da altre sorgenti minori che alimentano i canali Lisert e Moschenizza (sorgenti Moschenizza Locavaz, sorgenti del Lisert e del Sardos-Randaccio)

Si tratta di acque che provengono da acquiferi diversi ma interconnessi, con una portata complessiva media stimabile in 40 m^3/s, massima di circa 175 m^3/s.

Non vanno dimenticate, nel quadro delle emergenze, le sorgenti marino-costiere sparse lungo la costa del Golfo di Trieste da Aurisina a Duino (6 km circa).

A San Giovanni di Duino le risorgive del Timavo consistono in quattro polle raccolte in tre "rami" da cui fuoriesce gran parte delle acque del bacino carsico del fiume: in media 35 m^3/s, con minime di 10 m^3/s e massime di 150 m^3/s. Indagini speleosubacquee hanno messo in luce un articolato e complesso sistema di cavità allagate che sono state rilevate fino a -83 metri dal livello del mare e per più di 1500 metri di sviluppo. Il fiume percorre poi meno di 2 km e sbocca nel Golfo di Panzano; il tratto iniziale, dato dal raccordo dei tre rami, anche se profondamente antropizzato per le opere di captazione dell'acquedotto di Trieste, ha suggestiva bellezza e interesse storico (Grotta del Mitreo, chiesa romanica di S. Giovanni in Tuba, monumento ai caduti della I Guerra).

Per una schematizzazione idrogeologica utile ai fini del progetto, nell'area in studio sono stati definiti dei complessi idrogeologici sulla base delle caratteristiche di porosità e permeabilità dei litotipi presenti, nonché delle condizioni stratigrafiche e strutturali. Di seguito viene fornita una descrizione dei complessi idrogeologici individuati.

Complesso dei depositi quaternari

Questo complesso è costituito dai litotipi quaternari genericamente afferenti alle alluvioni della piana dell'Isonzo (indicate con la sigla **A** nella carta geologica 1:10000) e alle varie coperture indifferenziate (indicata con la sigla **C** nella carta geologica 1:10000). Comprende litotipi sia granulari che coesivi la cui permeabilità, per porosità, è funzione della granulometria del materiale e può oscillare da valori medi, anche medio-alti, a bassi. La presenza di veri acquiferi è possibile solo nelle porzioni ghiaiose e sabbiose che si localizzano nella pianura isontina, al margine occidentale dell'area studiata, ove sulla base di dati bibliografici (Regione FVG – Carta geologico tecnica, 2005) si può ipotizzare la presenza di falda qualche metro al di sotto del piano campagna.

Complesso dei depositi torbiditici

È costituito dai depositi terrigeni del Flysch di Trieste (FT), litologicamente formati da alternanze arenacee e marnose. Nell'insieme presenta una ridotta permeabilità, per fratturazione, e svolge funzione di tampone periferico delle strutture carbonatiche. È sede di una circolazione modesta, discontinua e frazionata, che tende a concentrarsi in alcune bancate arenacee ove si registra un incremento della fratturazione.

Complesso dolomitico-calcareo

Corrisponde alla formazione di Monrupino (FM) costituita principalmente da alternanze dolomitico-calcaree. La permeabilità, da media a bassa, è dovuta essenzialmente a fratturazione, essendo i litotipi in questione scarsamente carsificabili.

Complesso dei calcari antichi

È individuato dalla formazione dei Calcari di Monte Coste (MC), che rappresentano l'unità più antica affiorante nell'areale in studio. Si tratta prevalentemente di calcari fango sostenuti che presentano una discreta carsificabilità e una corrispondente buona permeabilità per carsismo e per fratturazione.

Complesso dei calcari cretacei e terziari

Risulta formato da una successione calcareo organogena e calcareo micritica che comprende la formazione dei Calcari di Aurisina (CA), la Formazione Liburnica (L) e dei Calcari ad Alveoline e Nummuliti (AN). Si tratta di litotipi altamente carsificabili: ciò, congiuntamente ai processi di fratturazione, conferisce a questo complesso una elevata permeabilità.

In sostanza la circolazione generale nell'area in esame può essere schematizzata considerando un acquifero carbonatico permeabile e bordato da un limite di permeabilità, costituito dal contatto calcari – flysch, che chiude verso mare l'idrostruttura carsica da Trieste fino circa all'altezza di Aurisina. Procedendo verso est l'assenza di tale limite è accompagnata dalla presenza delle maggiori emergenze idriche che drenano l'intero massiccio carsico.

In un mezzo carsico maturo e dalle caratteristiche litologico-strutturali come quelle del Carso Classico, nel tempo viene a svilupparsi una rete di vuoti collegati, eterogenea e non uniforme. Si ha la presenza di una "rete a dreni dominanti", cui fanno capo localmente alcuni "dreni interdipendenti". Ne consegue la presenza di numerose vie di drenaggio, alcune delle quali importanti, con una circolazione semidispersiva nella rete di condotti e fratture (con tratti anche sifonanti) e più zone sature interdipendenti.

Come accennato in precedenza, si possono distinguere in linea di principio tre zone idrogeologiche diverse, una sottostante i cui vuoti comunicanti sono tutti completamente riempiti d'acqua, detta "zona satura", una intermedia i cui vuoti sono riempiti d'acqua solamente per il tempo necessario a smaltire attraverso l'apparato sorgentifero le acque entrate nell'idrostruttura (detta "zona di oscillazione"), una superiore interessata prevalentemente da acque di percolazione, detta appunto "zona vadosa".

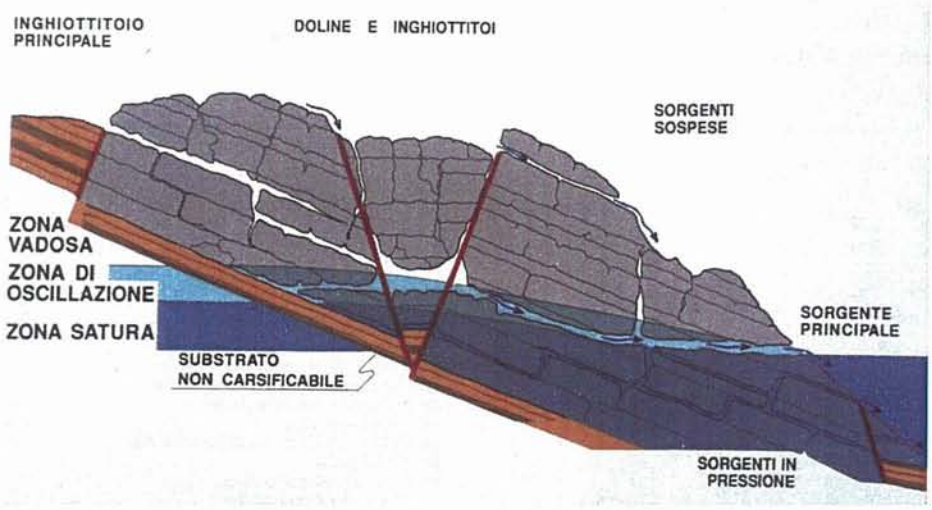


Fig.2.9 - Schema ideale di una idrostruttura carsica con le zone a diversa idrodinamica

Nel settore occidentale (praticamente fino al Monte Ermada) la quota della superficie freatica (che separa la zona satura dalla zona di oscillazione) in condizioni di normale impinguamento è posizionata a quote variabili da 2.0 a 5.0 metri s.l.m. e lo spessore della zona di oscillazione è di circa 3-4 metri durante le piene normali, 6-7 durante le piene eccezionali (di quasi 10 metri in Slovenia presso Brestovizza, di circa 20 poco a nord, in corrispondenza dell'abitato di Jamiano). Nel più ampio settore orientale (da Sistiana ad Opicina), mentre la zona satura si eleva leggermente verso monte (verso SE) giungendo a circa 13 metri s.l.m. in corrispondenza dell'Abisso di Trebiciano, lo spessore della zona di oscillazione è molto variabile: e può essere superiore al centinaio di metri, sebbene normalmente si attesta sui 20-30 m.

Le cavità con acqua del Carso che costituiscono punti utili di monitoraggio naturale non sono numerose: esse tuttavia, insieme ai laghi, le sorgenti e i piezometri messi in opera di recente consentono di tracciare un quadro sufficientemente attendibile delle caratteristiche idrogeologiche.

Si tratta dei seguenti punti utili al monitoraggio:

Grotte di San Canziano

Abisso di Trebiciano

Grotta Lindner

Sorgenti dei Filtri di Aurisina

Foci del Timavo

Pozzo dei Colombi di Duino

Sorgenti Sardos

Cavernetta presso Comarie

Lago di Doberdò

Lago di Pietrarossa Sablici

e dei seguenti piezometri: G07, V12, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S26, S27, P1 – Opicina, S1 – Metanodotto, S2 – Medeazza.

In figura Fig.2.10 si riporta l'ubicazione, schematica ed indicativa, dei citati punti di monitoraggio; per ogni approfondimento si rimanda alla Carta Idrohgeologica allegata al progetto (rif. doc. L34400R69G4GE0002001-4A).

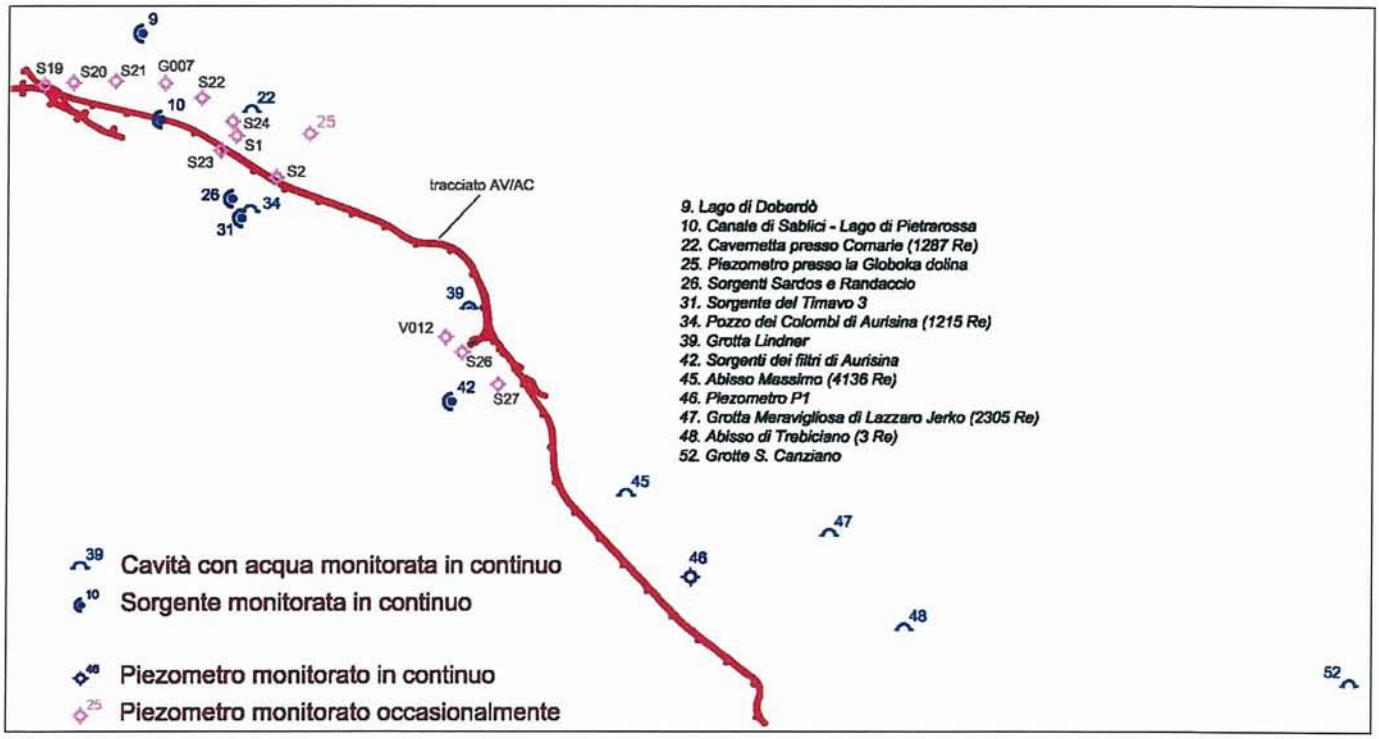


Fig.2.10 - Punti di monitoraggio della falda

Di seguito si ricordano brevemente le caratteristiche di specificità idrogeologica di questi "punti di monitoraggio", alcuni dei quali sono riportati nel Profilo idrogeologico allegato (rif. doc. L34400R69F4GE0002001-2A).

ABISSO DI TREBICIANO: N° Catasto regionale: 3; N° Catasto VG: 17; Elemento CTR:110114 Monte Franco; Coordinate Metriche ingresso: Longitudine 2429174, Latitudine 5059771; Quota ingresso: 332 m s.l.m.; Quota fondo: 3 m s.l.m.

Il livello dell'acqua normalmente è alla quota di circa 13 m s.l.m. per una portata in magra dell'ordine di 1 m^3/sec. Sono normali oscillazioni di 10-30 m anche per precipitazioni non eccessive (dell'ordine di 50 mm in 2-4 giorni). Il livello massimo raggiunto è stato di 115 m s.l.m. (14/12/1915); valori di questa entità non sono frequenti, ma va segnalato che si sono raggiunti i 109 m s.l.m il 13/12/2008 e i 100 m s.l.m. il 26/12/2009.

GROTTA LINDNER: N° Catasto regionale: 829; N° Catasto VG: 3988, Elemento CTR: 110013 SAN PELAGIO; Coordinate Metriche ingresso: Longitudine 2416923, Latitudine 5068809; Quota ingresso (2 ingressi): 180 m s.l.m., Quota fondo: 2.5 m s.l.m.

Normalmente la zona del fondo della Grotta Lindner non è interessata da flussi di acqua di base. Solamente nei periodi più piovosi, ed in stretta relazione con le piene alle foci del Timavo, il fondo di questa cavità viene allagato fino ad un massimo di 26 m s.l.m.

FOCI DEL TIMAVO ed area circostante

Si tratta del sistema sorgivo principale di tutto il Carso. Il complesso delle foci è costituito da tre rami principali con portata totale media intorno ai 30 m^3/sec e picchi di oltre 100 m^3/sec. L'altezza dell'acqua al terzo ramo delle foci è normalmente tra 1.25 e 1.50 m s.l.m., con oscillazioni da un minimo di circa 1 m ad un massimo di poco più di 2 m.

POZZO DEI COLOMBI DI DUINO: N° Catasto regionale: 215; N° Catasto VG: 227; Elemento CTR: 109044 SAN GIOVANNI AL TIMAVO; Coordinate Metriche ingresso: Longitudine 2410782, Latitudine 5071539; Quota ingresso: 28 m; Quota fondo: -27 m.

Il livello medio della falda risulta più alto di 0,5 m rispetto a quello delle foci (in magra è quindi di circa 2 m s.l.m. anche se non esistono misure di precisione), con oscillazioni nelle fasi di piena da 1-2 m per gli episodi normali e fino a 4 m per gli episodi più intensi.

LAGO DI DOBERDÒ

Riempie una depressione allungata in direzione WNW-ESE ed estesa per circa 1 km a SE di Doberdò del Lago. Durante le fasi di magra soltanto un rigagnolo fa da comunicazione fra queste due zone, con livello dell'acqua che va da 2.25 m s.l.m. a 2.0 m s.l.m. Durante le fasi di piena il livello dell'acqua oscilla normalmente di 1-2 metri con valori massimi per le precipitazioni più prolungate di circa 7 m (quindi fino a circa 9 m s.l.m., in casi eccezionali fino a circa 13 m s.l.m.).

LAGO DI PIETRAROSSA

Riempie una depressione le cui acque hanno altezza di circa 2 m s.l.m. e oscillazioni dell'ordine delle decine di centimetri.

Per quanto riguarda i valori di altezza della falda misurati nei piezometri, di seguito si riporta una tabella in cui sono illustrati i valori misurati recentemente.

Punto acqua	Quota boccapozzo	Profondità sondaggio	Freatimetria 16/03/2010	Freatimetria 06/07/2010
G07	32.02	-35	-28.06	-28.50
V12	67.00	-71.3	?	-53.06
S19	29.64	-40	-24.61	-24.81
S20	8.44	-30	-3.32	-3.60

Punto acqua	Quota boccapozzo	Profondità sondaggio	Freatimetria 16/03/2010	Freatimetria 06/07/2010
S21	64.64	-60	-52.79	-53.02
S22	45.24	-35	-21.10	-23.56
S23	47.14	-20	?	?
S24	29.08	-30	-24.62	-26.72
S26	134.68	-60	?	-48.32
S27	150,00	-75	-71.91	-71.96
S1	94.87	-105	-84.16	-85.74
S2	146.56	-155	-144.60	-144.89

Tab. 2.1 - Misure dell'altezza della falda nei piezometri effettuate il 16/03/2010 e il 06/07/2010. I valori sono in linea con quelli misurati negli anni passati

In sintesi, all'interno del massiccio carsico, la zona satura, o meglio **la superficie piezometrica della falda** durante i periodi di magra o di normalità, è posizionata a quote che vanno dai **2-5 m s.l.m.** in corrispondenza del settore Ronchi – Jamiano – Sistiana; ai **8-13 metri s.l.m.** nel settore Prosecco –Opicina -Fernetti. La superficie non è naturalmente continua, numerosi sono i volumi praticamente asciutti in cui i piani di discontinuità non sono sufficientemente aperti e persistenti da consentire la presenza di acqua in movimento. La disomogeneità è anzi notevole, l'organizzazione e le dimensioni del reticolo decisamente "casuali".

Durante i periodi di piena l'ampiezza della zona di oscillazione è, come detto variabile, non solamente in funzione dell'entità della piena e del tipo di alimentazione, ma anche in funzione della velocità di trasmissione laterale dell'impulso. Non è detto infatti che tutti i vuoti siano sufficientemente continui, collegati ed ampi da consentire a tutto il volume ipogeo di riempirsi completamente. Come accennato, alcuni tratti di diverse cavità sono sicuramente inseriti nella probabile fascia di oscillazione della falda, ma o non risultano trovati allagati durante le occasionali esplorazioni o non vi sono indizi di acqua in risalita.

Per quanto riguarda la situazione idrogeologica nell'area di interesse progettuale, il tracciato nell'attraversamento delle assise carbonatiche, sia nel tratto fra Ronchi e Aurisina sia nel tratto da Aurisina verso Trieste fino all'intercettazione del Flysch, non è interessato né dalle acque di fondo né dalle acque della zona di oscillazione nemmeno durante le piene eccezionali. Nell'attraversamento dei termini flyschoidi localmente potrebbero rinvenirsi modeste falde, anche in pressione, discontinue e stagionali, legate alla presenza di termini arenacei più fratturati.

2.3 Valutazione delle interferenze e degli interventi di mitigazione

2.3.1 Ricadute del progetto sull'ambiente idrico

Sulla base delle considerazioni sopra espresse e delle caratteristiche del progetto, sono state individuate le principali tipologie di interazione tra opera e ambiente.

In un ambiente "particolare" come quello del Carso non sembra possibile distinguere e considerare separatamente la componente "Acque Superficiali" dalla componente "Acque Sotterranee". Come approfondito nei paragrafi precedenti, infatti, in territorio carsico i due ambienti si fondono, rappresentando, nella realtà dei fatti, un solo sistema. In questo paragrafo conclusivo, pertanto, saranno valutate le possibili interferenze che le opere in progetto

potrebbero avere con la componente "Acque" nel suo complesso (considerando come un unico sistema le acque superficiali e quelle sotterranee).

La carsificazione presunta in corrispondenza del tracciato è stata definita sulla base dei rilevamenti epigei ed ipogei eseguiti nell'ambito dello studio, dell'analisi delle cavità e delle altre morfologie carsiche presenti nella fascia studiata, nonché sulla base delle conoscenze acquisite sulla tipologia e l'evoluzione del carsismo nel Carso triestino. Negli elaborati cartografici sono riportati i limiti fra le unità litostratigrafiche, quelli fra le unità a diversa carsificabilità, le giaciture della stratificazione significative, le faglie, le doline (distinte in a diametro > 100 m e a diametro < 100 m), gli ingressi delle cavità, la proiezione in pianta delle cavità maggiori. Il tutto lungo una fascia (la "fascia allargata") di circa 900 metri ritenuta significativa per ipotizzare gli effetti della carsificazione ipogea in corrispondenza delle gallerie (Vedi cartografia tematica allegata, rif. doc. L34400R69G5GE0003001-4A)

E' possibile dividere il tracciato della linea AV/AC di progetto in cinque differenti settori:

- il primo settore si sviluppa dalla progressiva di inizio tracciato (pk 1+600) fino alla progressiva indicativa del km 7+610, interamente su depositi alluvionali ascrivibili alla piana dell'Isonzo.
- il secondo si sviluppa da Monfalcone a San Pelagio (circa dalla progressiva 7+610 alla 21+950), in calcari e dolomie poco carsificabili con bassa probabilità di intersezione con vuoti significativi;
- il terzo da San Pelagio fino circa alla località Bosco San Primo (circa dalla progressiva 21+950 alla Stazione di Aurisina e dalla Stazione fino alla progressiva 25+823), nei Calcari di Aurisina, altamente carsificabili e carsificati, con alta probabilità di incontrare vuoti anche significativi;
- il quarto, dalla località Bosco San Primo fino a Grignano (circa dalla progressiva 25+823 fino alla 27+258) nei Calcari liburnici ed eocenici, mediamente carsificabili, con media probabilità di incontrare vuoti significativi
- il quinto interamente nel Flysch non carsificabile, da Grignano a Trieste (circa dalla progressiva 27+258 fino a termine tracciato).

Il **primo settore**, lungo circa 5 km, si sviluppa quasi interamente in rilevato, sul materasso alluvionale della Piana dell'Isonzo che, come detto, è sede di una falda freatica, caratterizzata da bassi valori di soggiacenza. Per quanto riguarda gli aspetti qualitativi delle acque superficiali, non sussistono interferenze in quanto le acque di piattaforma verranno fatte confluire nella rete idraulica minore.

Il **secondo settore**, lungo circa 14 chilometri, con tre tratti in "galleria naturale" (e 5 imbocchi), diversi tratti in galleria artificiale, trincea, viadotto e rilevato, corre, fra colli e depressioni, interamente nelle assise meno carsificabili, le unità calcaree e dolomitico - calcaree rispettivamente dei Calcari di Monte Coste e della Formazione di Monrupino.

Il carsismo non è importante, ma il progetto si sviluppa in prossimità delle opere di presa dell'acquedotto sloveno di Brestovica (circa 1400 m a Nord-Est del tracciato) e di quello italiano di San Giovanni di Duino (presa di Moschenizze N posta circa 250 m a Sud-Ovest del tracciato). Le acque di falda, in regime normale si attestano a quote comprese circa tra 1 e 3 m s.l.m, mentre in regime di piena oscillano tra i 2 ed i 12 m s.l.m. nella zona delle sorgenti, e raggiungono i 26 m s.l.m. nella zona di San Pelagio. Il tracciato si mantiene sempre al di sopra del livello massimo della falda essendo il piano ferro a quote variabili da 13 m s.l.m. a 76 m s.l.m.). Alla progressiva 7+630 il franco tra il livello massimo della falda e il piano ferro è 1,5 m per divenire 10 m alla progressiva 8+350 e poi progressivamente aumentare verso S. Pelagio.

Tra le progressive 9+300 e 9+500 circa è prevista la realizzazione di una galleria artificiale i cui scavi interesseranno la parte più settentrionale di un campo solcato. Circa alle progressive 14+410, 16+320, 17+005, 17+815, 19+170, 20+375, 20+580 il tracciato dovrebbe intersecare strutture verticali incarsite legate

al drenaggio ipogeo in corrispondenza delle doline presenti in superficie. In particolare nel tratto compreso tra le progressive 16+300 e 16+500 si rileva una serie di doline allineate lungo una direzione trasversale al tracciato ed un esteso campo solcato, forme superficiali che fanno ipotizzare l'estendersi del carsismo anche in profondità con strutture prevalentemente verticali. In corrispondenza del camerone per l'interconnessione B.D. il tracciato correrà al di sotto di un campo solcato e di alcune doline che fanno supporre la presenza di frequenti forme di incarsimento sub-verticali e piccole cavità a prevalente sviluppo sub orizzontale.

Il **terzo settore** è lungo circa 5 km ed è caratterizzato da due tratti in galleria, dalle interconnessioni con la rete ferroviaria attuale e dalla stazione di Aurisina. Il percorso si sviluppa lungo il cosiddetto "Solco di Aurisina", interamente nell'unità litostratigrafica più carsificabile e carsificata (Calcari di Aurisina). Qui non sono le caratteristiche geotecniche della massa rocciosa, decisamente ottime, ma è la presenza accertata e quella prevedibile di volumi diffusamente e/o intensamente incarsiti che rappresenta la maggiore criticità, e richiede accurate misure investigative ed operative per il superamento dei tratti problematici. In fase realizzativa sarà necessaria particolare attenzione all'incontro con vuoti parietali o sul pavimento: essi dovranno essere immediatamente ispezionati al fine di ricostruire la loro geometria, al fine di assicurarsi che non vadano ad interagire con le opere.

Il tracciato si sviluppa a quote ben superiori a quelle del livello massimo della falda, che in zona non dovrebbe superare i 40 m s.l.m. visti i dati idrometrici misurati nell'Abisso Massimo, il punto acqua più prossimo al tracciato in questo settore (il piano ferro si trova tra 165 m s.l.m. a San Pelagio e 118 m s.l.m. a Bosco San Primo).

Alle progressive 22+250, 23+580, 23+690, 24+073, 24+190, 24+243, 24+433, 24+473, 24+530, 24+730, 25+440, 25+620, 25+640 e 25+900 il tracciato dovrebbe intersecare strutture verticali incarsite legate al drenaggio ipogeo in corrispondenza delle doline presenti in superficie.

Nel tratto tra le progressive 22+000 e 22+800 il tracciato attraversa un territorio intensamente carsificato, con estesi campi solcati, doline di crollo, pozzi e cavità a galleria sia sub-orizzontali che inclinate. Dato che gli interventi sono a debole profondità, si risentiranno gli effetti del carsismo epigeo e di quelli del carsismo ipogeo. E' molto probabile l'intersezione sia di strutture verticali incarsite legate al drenaggio ipogeo in corrispondenza delle doline e dei campi solcati (piani subverticali incarsiti per lo più di ridotte dimensioni, larghi da pochi centimetri a 5-6 metri) sia di forme sub-orizzontali legate all'antico reticolo di drenaggio delle acque guidato dai piani di stratificazione e dai master joints (vuoti a sezione trasversale di dimensioni medie di 5x5 m con punte superiori alla decina di metri) come ipotizzabile dalla morfologia delle cavità prossime al tracciato.

Tra le progressive 22+630 e 24+030 il progetto interessa una zona caratterizzata dalla presenza di estese e numerose doline di crollo e dalla presenza di cavità sia orizzontali che verticali; tutto ciò indica la presenza di un carsismo profondo particolarmente evoluto. Si tratta di una situazione del tutto simile a quella presente fra le progressive 22+000 e 22+800 appena illustrata. Lungo questa tratta il tracciato si sviluppa a quote prossime alla superficie e non dovrebbe intersecare vani di grandi dimensioni (si prevede la possibilità di incontrare vuoti con diametro massimo attorno ai 5x5m), ma potrebbe incontrare strutture verticali incarsite legate al drenaggio ipogeo in corrispondenza delle doline e dei campi solcati.

Il **quarto settore** è lungo appena 1,2 km, si sviluppa interamente in galleria a a profondità comprese tra 140 metri (Monte San Paolo) e 67 metri dal piano campagna (contatto Calcari ad Alveoline e Nummuliti-Flysch, passando da quota circa 118 m s.l.m. a quota circa 103 m s.l.m. Il tracciato attraversa calcari a media carsificabilità appartenenti alla Formazione Liburnica ed ai Calcari ad Alveoline e Nummuliti in quella che è la zona di flessura dell'anticlinale del Carso. La progressiva verticalizzazione della stratificazione guida la carsificazione profonda favorendo lo sviluppo di strutture verticali (pozzi ed inghiottitoi).

Il tracciato è a quote ben superiori a quelle del livello massimo della falda che in zona, facendo riferimento a quanto misurato nell'Abisso Massimo, non dovrebbe superare i 40 m s.l.m. Alla progressiva 25+910, il tracciato dovrebbe intersecare un tratto più incarsito, con strutture verticali incarsite legate al drenaggio ipogeo in corrispondenza di un'estesa dolina. Ulteriori forme verticali incarsite, di modeste dimensioni (dal decimetro al metro), potranno essere incontrate tra le progressive 26+530 e 26+630, 26+680 e 27+258 per la presenza in superficie di estesi campi solcati.

Il **quinto settore** si sviluppa, come detto in precedenza, interamente nei depositi flyschoidi, ove non si rinvengono criticità carsiche essendo i litotipi in questione non carsificabili. Nell'attraversamento dei termini flyschoidi localmente potrebbero rinvenirsi modeste falde, anche in pressione, discontinue e stagionali, legate alla presenza di termini arenacei più fratturati.

Sembra possibile escludere, sulla base delle considerazioni fino a qui esposte, che la realizzazione e la messa in esercizio delle opere in progetto possa comportare una concreta interferenza con la matrice "Acque" (siano esse superficiali e/o sotterranee.

2.3.2 Interventi di mitigazione

Dal momento che, come illustrato nel paragrafo precedente, non si prevedono impatti significativi sull'ambiente idrico a seguito della realizzazione dell'opera, non sono stati definiti interventi di mitigazione propriamente detti. Sono state comunque inserite alcune accortezze progettuali finalizzate a prevenire ricadute ambientali sul sistema idrogeologico nel caso di eventi accidentali.

Queste comprendono in particolare la realizzazione di pozzi per aggottamento acqua all'interno delle gallerie di progetto.

2.4 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne interessate sono costituite dagli enti pubblici preposti alla gestione delle risorse idriche, sia di competenza italiana (la Provincia di Trieste, la Regione Friuli Venezia Giulia), sia di competenza slovena (Acquedotto di Brestovica). Dato il livello modesto dell'interferenza si ritiene comunque che l'aspetto ambientale in esame non sia da ritenersi significativo nella fase di esercizio dell'opera, fatta salva la messa in opera degli accorgimenti tecnologici necessari alla salvaguardia qualitativa della risorsa idrica.

3 SUOLO E SOTTOSUOLO

3.1 Riferimenti legislativi

- D.M. Lavori Pubblici del 14 febbraio 1997 - "Direttive tecniche per l'individuazione e la perimetrazione da parte delle regioni delle aree a rischio idrogeologico";
- L. del 18 maggio1989, n.183 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo";
- D.M. Politiche Agricole del 1agosto 1997 - "Approvazione dei metodi ufficiali di analisi fisica del suolo";
- D.M. Politiche Agricole del 13 settembre 1999 - "Approvazione dei metodi ufficiali di analisi chimica del suolo";
- D.M. Politiche Agricole e Forestali del 8 luglio 2002 "Approvazione ed ufficializzazione dei metodi di analisi microbiologica del suolo";
- O.P.C.M. del 20 marzo 2003, n.3274 - "Riclassificazione sismica";
- O.P.C.M. del 28 aprile 2006, n.3519 - "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- D.Lgs. del 3 aprile del 2006, n.152 - "Norme in materia ambientale";
- D.Lgs. del 16 gennaio 2008, n.4 - "Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, recante norme in materia ambientale";

3.2 Descrizione dello stato attuale

3.2.1 Inquadramento Geomorfologico

L'aspetto morfologico sicuramente di maggiore interesse nell'ambito delle finalità del presente documento, è rappresentato dai diffusi fenomeni carsici che interessano l'intera area investigata.

Allo scopo di definire preliminarmente la carsificazione ipogea lungo il tracciato in progetto, si è studiata in dettaglio dal punto di vista geomorfologico una fascia superficiale allargata parallela al tracciato stesso e larga circa 900 metri, dei quali 700 metri a monte dell'asse ferroviario (quindi in genere verso Nord e/o NE) e 200 a valle dello stesso (quindi verso Sud e/o SW). Questo in quanto l'ipotesi di studio prevede che le forme ipogee siano o prevalentemente verticali o prevalentemente inclinate lungo la direzione di massima immersione dei piani di strato, che lungo il tracciato di progetto è nella maggior parte dei casi sub perpendicolare all'asse delle gallerie.

Lungo questa fascia allargata, utilizzando il dettaglio della cartografia tecnica regionale alla scala 1:5.000, sono stati preliminarmente ubicati tutti gli ingressi delle cavità note e catastate (prelevando i dati dal Catasto Regionale delle Grotte del Friuli - Venezia Giulia). Sulla base delle foto aeree e degli elementi morfologici CTR si sono poi individuati i perimetri delle doline a diametro superiore ai 100 metri, distinte da quelle a diametro minore di 100 metri. Sulla base delle conoscenze pregresse e della bibliografia si sono riportate le faglie, i limiti formazionali e le giaciture della stratificazione.

Sono seguiti rilevamenti di dettaglio sul terreno con l'acquisizione di dati geologico-strutturali, con l'individuazione e il controllo degli ingressi delle cavità ubicate in prossimità dell'asse gallerie sul terreno, con lo studio delle morfologie delle doline per differenziare, quando possibile, quelle di crollo da quelle di dissoluzione e per individuare eventuali elementi geologici strutturanti.

In particolare sono stati eseguiti rilevamenti di dettaglio in corrispondenza delle principali cavità che interessano direttamente il tracciato.

Nella fascia allargata considerata, sono stati riconosciuti 314 ingressi di cavità. Di queste, 35 cadono nella fascia ristretta di circa 25 m a nord e 25 m a sud dell'asse mediano corrispondente al tracciato.

Delle trecento cavità, una cinquantina hanno profondità accertata superiore ai 30 metri, 5 hanno profondità superiore ai 100 metri. 78 cavità hanno sviluppo superiore ai 20 metri, 33 superiore ai 60 m, 18 ai 100 metri.

Risulta che delle 35 cavità che interessano la fascia ristretta, solo una decina ha profondità accertata superiore al piano ferro.

La trentina di cavità i cui ingressi si trovano in corrispondenza del tracciato o che, per profondità e sviluppo sotterraneo, essendo ubicate nelle vicinanze del tracciato possono presentare problemi di interferenza con le gallerie in progetto, sono di seguito elencate con l'eventuale disanima delle criticità innescate dalla loro presenza.

Le cavità sono distinguibili in funzione della loro importanza, dimensione, tipologia.

Per cavità non interessante, si intende una cavità le cui caratteristiche non sono significative ai sensi della parametrizzazione della carsificazione ipogea.

Per galleria, si intende una cavità a sviluppo prevalentemente suborizzontale, costituita da una unica galleria che può essere più o meno interessata da depositi di riempimento diversi (crolli, concrezioni, ecc.).

Per galleria a forra, si intende una cavità a sviluppo prevalentemente suborizzontale, costituita da una unica galleria evoluta nel tempo a forra e quindi sviluppata anche in profondità. Può essere interessata da depositi di riempimento diversi (crolli, concrezioni, ecc.).

Per pozzo semplice, si intende una forma a sviluppo subverticale, unica. Solitamente è parzialmente riempito o chiuso da depositi detritici di crollo.

Per pozzo complesso, si intende un insieme di pozzi semplici che definiscono un volume roccioso a carsificazione verticale diffusa.

Per cavità complessa, si intende una cavità composta da una o più gallerie intersecanti uno o più pozzi.

Segue l'elenco delle "cavità" di interesse per il presente documento:

Pozzo delle Querce. N° Cat. Reg. 175, pozzo semplice. La cavità si apre 34 m a SO della galleria S, ad una quota di 159 m s.l.m.; il piano ferro dell'AV in quest'area (km 22+884) si trova ad una quota di circa 165 m s.l.m. La cavità si apre nella parte più depressa di una dolina allungata: il pozzo misura solo sette metri ed il fondo si presenta ingombro di rifiuti di ogni genere, tra i quali è stato trovato anche qualche residuato bellico. La cavità non interesserà il tracciato.

Caverna a N di Santa Croce. N° Cat. Reg. 460, galleria. La cavità si apre 30 m ad NE del tracciato N, ad una quota di 161 m s.l.m.; la tratta AV in quest'area (km 24+340) si trova ad una quota di circa 157,5 m s.l.m. La cavità si apre al bordo meridionale di una vasta dolina presso la ferrovia. E' costituita da un vestibolo ingombro di pietrame e da una caverna dal fondo terroso e pianeggiante, che termina con un cunicolo non praticabile. Uno scavo, eseguito da Moser nel secolo scorso, aveva rivelato un certo interesse preistorico. La cavità forma un unico complesso con la N°1365 (Grotta del Bufalo).

Pozzo presso il Viadotto ferroviario di Aurisina. N° Cat. Reg. 538, pozzo semplice. Il pozzo di accesso alla cavità si apre al di sopra dell'interconnessione B.D., ad una quota di 195 m s.l.m.; l'interconnessione B.D. in quest'area (km 22+360) si trova ad una quota di circa 155 m s.l.m.. L'ingresso della cavità, ora chiuso da

pietrame, si apre in un piccolo campo: consiste in un pozzo che, dopo una strozzatura iniziale, si fa più ampio con massicce colate rossastre che si estendono fino al fondo alla quota di 178 m s.l.m.. E probabile una prosecuzione in profondità con morfologie a carattere prevalentemente verticale fino ad interagire con il tracciato.

Grotta a S di Ceroglie. N° Cat. Reg. 672, pozzo semplice. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 36 m a NE della galleria N, ad una quota di 129 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 17+943) si trova ad una quota di circa 115 m s.l.m. E' una cavità verticale costituita da una serie di pozzi sviluppatisi lungo un'unica discontinuità con orientazione NW-SE. Dal fondo del pozzo d'accesso si dipartono due diramazioni: la prima termina con un pozzo cieco, la seconda porta a tre pozzetti chiusi da materiale detritico, raggiungendo una profondità massima di 32 m (97 m s.l.m.). Visto lo sviluppo della cavità parallelo al tracciato non si prevede un intersezione con questo.

Pozzo 2° a SE della Stazione di Aurisina. N° Cat. Reg. 1037, pozzo semplice. La cavità si apre 26 m a NE della galleria N, ad una quota di 155 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 25+040) si trova ad una quota di circa 148,8 m s.l.m. Sul lato S di un'ampia dolina si apre la cavità, distante una trentina di metri dal Pozzo I a Sud-Est di Aurisina (N°1036). Il pozzo ha il fondo detritico nel quale si apre una fessura impraticabile. Si tratta di una cavità di modeste dimensioni che non dovrebbe interagire con il tracciato.

Grotta delle Torri di S. Pelagio. N° Cat. Reg. 1213, cavità complessa. La cavità si apre 40 m ad E dell'interconnessione B.D., ad una quota di 202 m s.l.m.; l'interconnessione B.D. in quest'area (km 22+226) si trova ad una quota di circa 156,5 m s.l.m. L'esiguo imbocco della cavità si apre in un lieve avvallamento tra i campi solcati. Si tratta di una cavità complessa, con tratti orizzontali e verticali costituita essenzialmente da una sala di 15 m x 25 m. La grotta si approfondisce in direzione SW; il fondo è ricoperto da grandi blocchi e da colate calcitiche. E' probabile un proseguimento di questa morfologia in profondità fino ad interagire con il tracciato anche con vuoti di significative dimensioni ostruiti in parte o totalmente da depositi di riempimento.

Grotta presso la Stazione di Aurisina. N° Cat. Reg. 1214, pozzo semplice, cavità non interessante. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 16 m a E della stazione di Aurisina, ad una quota di 170 m s.l.m.; il tratto AV in quest'area (km 23+446) si trova ad una quota di circa 165,5 m s.l.m.. La cavità, apertasi in seguito al cedimento del terreno causato dai convogli ferroviari, è un piccolo vano subverticale. La cavità si sviluppa al di sotto dell'attuale sede ferroviaria (stazione di Aurisina).

Grotta 2° a NE di S. Croce. N° Cat. Reg. 1230, pozzo semplice. Il pozzo si apre 17 m a SO della galleria S, ad una quota di 179 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 25+320) si trova ad una quota di circa 145,5 m s.l.m. Consiste in un pozzo dall'ingresso molto stretto che dopo 5 m si allarga. La sua ampiezza resta costante fino a 30 m di profondità dove viene interrotto da un piccolo ripiano; in direzione S una fessura lunga 4 m, strettissima e impraticabile immette in un altro pozzo la cui profondità stimata è di circa 30 m. Vista la vicinanza con il tracciato non è da escludere un'interazione con esso.

Grotta di Coisce. N° Cat. Reg. 1289, cavità complessa, antropizzata. La cavità si apre al di sopra della galleria S, ad una quota di 252 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 15+763) si trova ad una quota di circa 87,7 m s.l.m. Consiste in una cavità complessa adattata a scopi bellici dagli austro-ungarici all'inizio della prima guerra mondiale. Un pozzo sbocca in una galleria discendente, lunga una quindicina di metri, larga 3 m e alta 3-4 m, nella quale sbocca un secondo pozzo d'accesso. Alla fine della galleria una caverna, dal suolo piano, prosegue in direzione NW con una galleria che termina in un cunicolo impraticabile. Verso Sud dalla caverna si accede ad una galleria che sbocca all'esterno dopo una decina di metri. A qualche metro dalla caverna uno stretto pertugio porta su di un pozzo profondo 6 m e chiuso al fondo da detriti misti a qualche residuato bellico. Lungo la verticale di questo pozzo, a varie altezze, si aprono alcune strette finestre. Alcuni tratti della grotta sono concrezionati. Non è da escludere una prosecuzione in profondità con morfologie a carattere prevalentemente verticale fino ad interagire con il tracciato.

Grotta del Bidone. N° Cat. Reg. 1364, cavità complessa. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 13 m a SO della galleria S, ad una quota di 169 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 24+960) si trova ad una quota di circa 150 m s.l.m. Consiste in una galleria suborizzontale con un breve pozzo d'accesso che si apre sotto l'orlo di una grande dolina.La cavità forma un unico complesso con la N°4399 (Grotta Sorpresa).

Grotta del Bufalo. N° Cat. Reg. 1365, galleria a forra. La cavità si apre 24 m a NE dell'imbocco della galleria, ad una quota di 162 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 24+405) si trova ad una quota di circa 157 m s.l.m. La cavità consiste in una galleria suborizzontale vicina alla superficie, larga in media 7-8 m ed alta circa 2 m, con due pozzi di accesso. Si sviluppa in direzione N-S, è riccamente concrezionata, il pavimento è in gran parte argilloso, il soffitto è interessato da un canale di volta. Verso S si sdoppia in due rami pressoché sovrapposti. La grotta potrebbe essere intercettata durante la realizzazione della trincea.

Grotta Elsa. N° Cat. Reg. 1369, galleria a forra. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 23 m a SO della stazione di Aurisina, ad una quota di 167 m s.l.m.; il tratto AV in quest'area (km 23+369) si trova ad una quota di circa 165,5 m s.l.m.. E' una frattura NNE-SSW allargata, cui si accede da un pozzo malagevole. Larga meno di due metri, si allunga e si approfondisce di una quindicina di metri. La cavità si sviluppa sotto l'attuale rete ferroviaria (stazione di Aurisina) e costituisce un unico complesso con la N°526 (Grotta Vittoria).

Pozzo presso S. Pelagio. N° Cat. Reg. 1551, pozzo semplice. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 10 m a E dell'interconnessione B.D., ad una quota di 200 m s.l.m.; l'interconnessione B.D. in quest'area (km 22+105) si trova ad una quota di circa 157 m s.l.m.. E' una cavità semplice ad andamento verticale. Il pozzo è impostato su una frattura orientata N-S che da 1 m si restringe a 30 cm-40 cm e quindi, a 10 metri di profondità, si allarga notevolmente per altri 7. Le pareti sono caratterizzate da alcune colate calcitiche, da marcati segni di corrosione/erosione e dalla presenza di materiale pericolante che ostruisce il proseguimento. Il fondo della cavità si trova ad una quota di 183 m s.l.m. e risulta occluso da materiale di crollo. La prosecuzione del pozzo in profondità è molto probabile come pure l'intersezione con il tracciato.

Cavernetta a SW di S. Pelagio. N° Cat. Reg. 1557, galleria. Il pozzo di accesso alla cavità si apre al di sopra dell'interconnessione B.P., ad una quota di 190 m s.l.m.; l'interconnessione B.P. in quest'area (km 22+585) si trova ad una quota di circa 160,6 m s.l.m.. E' una cavità semplice costituita da una galleria in discesa leggermente inclinata in direzione SO. Il fondo della galleria è costituito da depositi di riempimento che non permettono di valutarne il reale sviluppo in profondità. La cavità potrebbe interagire con il tracciato.

Cavernetta nel Prato. N° Cat. Reg. 1558, galleria. La cavità si apre 30 m a SE dell'interconnessione B.P., ad una quota di 194 m s.l.m.; l'interconnessione B.P. in quest'area (km 22+590) si trova ad una quota di circa 160,7 m s.l.m.. E' una cavità semplice costituita da un'unica galleria leggermente inclinato verso SSO. La cavità non dovrebbe interagire con il tracciato.

Caverna a SW di S. Pelagio. N° Cat. Reg. 1559, galleria. La cavità si apre al di sopra della galleria S, ad una quota di 184 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 22+698) si trova ad una quota di circa 167 m s.l.m.. E' una cavità semplice dall'andamento suborizzontale. La grotta si trova all'orlo di una vasta dolina ed il suo ingresso è stato ostruito dai contadini quando vennero costruiti i terrazzamenti sui fianchi della dolina stessa. La grotta verrà intersecata dal tratto in galleria artificiale.

Grotta 2° di S. Pelagio. N° Cat. Reg. 1561, galleria. La cavità si apre 31 m a O della galleria S, ad una quota di 194 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 22+050) si trova ad una quota di circa 166 m s.l.m. Consiste in una cavità dall'andamento suborizzontale. Si apre in uno sprofondamento situato in un vasto campo solcato. Una galleria di ridotte dimensioni sbocca, con un salto di circa 1,5 m, in un vano più spazioso, al quale fa seguito una saletta in cui si apre una fessura impraticabile. Questa cavità forma un unico complesso con la vicina N°6586 (Grotta della Spalla).

Grotta presso la Stazione di Aurisina. N° Cat. Reg. 1597, pozzo semplice. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 47 m a NE della stazione di Aurisina, ad una quota di 179 m s.l.m.; il tratto AV in quest'area (km 23+439) si trova ad una quota di circa 165,5 m s.l.m.. E' una cavità semplice dall'andamento verticale che non interagirà con il tracciato.

Grotta fra Slivia e Precenico. N° Cat. Reg. 1619, pozzo semplice con crolli e concrezioni. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 22 m a ENE della galleria N, ad una quota di 246 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 20+895) si trova ad una quota di circa 151,8 m s.l.m. La grotta ha un andamento verticale con imbocco costituito da una fenditura con orientameno NO-SE che si amplia formando un vano allungato nella medesima direzione. Il fondo, ostruito da concrezioni, si attesta ad una quota di 228 m ed ad una distanza in pianta dal tracciato di circa 12 m. E' probabile un proseguimento di questa morfologia in profondità fino ad interagire con il tracciato anche se con vuoti di dimensioni limitate (orientativamente 3x5 m).

Pozzo a NW di Cima Pietrarossa. N° Cat. Reg. 3940, pozzo semplice, cavità non interessante. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 38 m a N della galleria N, ad una quota di 57 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 10+000) si trova ad una quota di circa 33,5 m s.l.m. La cavità ha andamento verticale: un ingresso, con dimensioni 60 X 120 cm, dà accesso ad un pozzo profondo 24,80 m caratterizzato da un evidente restringimento (120 X 30 cm). Dal fondo, coperto di detriti e argilla, si dipartono due fessure impraticabili. E' probabile un proseguimento di questa morfologia in profondità, anche se con vuoti di dimensioni limitate.

Grotta presso Aurisina. N° Cat. Reg. 3945, galleria. La cavità si apre 19 m a SO della galleria S, ad una quota di 162 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 24+240) si trova ad una quota di circa 159 m s.l.m. La grotta, situata sul fianco di una dolina, consiste in una galleria suborizzontale con un breve pozzo di accesso. E' impostata su un'unica frattura N-S alle cui estremità ci sono delle fessure impraticabili. La grotta potrebbe essere intercettata durante la realizzazione della trincea.

Abisso del Ciclamino. N° Cat. Reg. 4223, pozzo semplice. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 48 m a NE della galleria N, ad una quota di 249 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 21+195) si trova ad una quota di circa 155,5 m s.l.m. Questa cavità si trova ai bordi di un campo solcato sul fianco di una dolina. Ha andamento verticale dato da una successione di pozzi e camini. Il fondo si restringe fino a divenire impraticabile raggiungendo una quota di 179 m s.l.m.. La genesi della cavità, insieme alla N°4224, risulta legata all'evoluzione in profondità della dolina in cui si apre. E' probabile un proseguimento in profondità senza, tuttavia, interagire con il tracciato.

Grotta Sorpresa. N° Cat. Reg. 4399, cavità complessa. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 13 m a SO della galleria S, ad una quota di 165 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 24+830) si trova ad una quota di circa 150 m s.l.m. La cavità si apre sul lato S di una dolina: ha un andamento prevalentemente orizzontale. Disceso lo stretto pozzo iniziale, si dipartono due gallerie, una in direzione NO (ostruita da una breccia in parte cementata), l'altra verso S (caratterizzata da un pavimento costituito da depositi di crollo e argilla). La cavità forma un unico complesso con la N°1364 (Grotta del Bidone). Il fondo della grotta si trova ad un quota di 156 m s.l.m. ed ad una distanza di 8 m dal piano ferro; il tracciato intersecherà la cavità ed i suoi depositi di riempimento.

Grottina a W di Bristie. N° Cat. Reg. 4786, galleria a forra con riempimenti di concrezione e crolli. La cavità si apre 30 m a E della galleria N, ad una quota di 157 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 25+150) si trova ad una quota di circa 147,5 m s.l.m. Consiste in un breve pozzo di accesso ed una galleria stretta ed alta con il fondo (alla quota di 149,5 m s.l.m.) occupato da materiale detritico concrezionato. La cavità si sviluppa in direzione SO verso il tracciato AV ed è possibile un'interazione con quest'ultimo.

Jama v skrlivcu 1. N° Cat. Reg. 4918 e Jama v skrlivcu 2. N° Cat. Reg. 4919, pozzo complesso. I pozzi di accesso alle cavità si aprono sopra alla galleria S, ad una quota di 203 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 19+884 e 19+895) si trova ad una quota di circa 139,2 m s.l.m. Sono due modeste cavità prevalentemente verticali quasi sicuramente comunicanti, costituite da un pozzo, profondo 6,5 m e caratterizzato da numerose

concrezioni e da un vano con il suolo ricoperto da materiale detritico da cui si accede ad una saletta ricca di concrezioni. E' probabile un proseguimento di questa morfologia in profondità fino ad interagire con il tracciato anche se con vuoti di dimensioni limitate.

Pozzo nel Bosco fornace. N° Cat. Reg. 5967, pozzo semplice. Il pozzi di accesso alle cavità si apre 49 m a SO della galleria S, ad una quota di 245 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 27+720) si trova ad una quota di circa 115,5 m s.l.m. La cavità, di piccole dimensioni, ha un andamento verticale e raggiunge la quota di 230 m s.l.m.. L'eventuale prosecuzione in profondità non dovrebbe interagire con il tracciato.

Grotta della spalla. N° Cat. Reg. 6586, galleria a forra con riempimenti di concrezione e crolli. La cavità si apre 18 m a O della galleria S, ad una quota di 190 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 22+075) si trova ad una quota di circa 166 m s.l.m. A ridosso di una piccola dolina si apre l'imbocco di questa cavità che consiste in un breve pozzo di accesso e due ampie gallerie ben concrezionate. Viste la direzione di sviluppo e la morfologia della cavità, non si esclude un'interferenza con il tracciato con vani riempiti parzialmente con materiale di crollo, depositi argillosi o concrezioni.

Pozzetto della Molisana. N° Cat. Reg. 6711, pozzo semplice, cavità non interessante. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 20 m a O dell'interconnessione B.P., ad una quota di 192 m s.l.m.; l'interconnessione B.P. in quest'area (km 22+125) si trova ad una quota di circa 165,9 m s.l.m.. E' una cavità ad andamento verticale costituita da un unico pozzo di 9,9 metri. l'ingresso è sovrastato e completamente contornato da grossi banchi calcarei che disegnano una caratteristica forma triangolare. Il fondo è costituito da materiale detritico ed abbondante terriccio. E' probabile un proseguimento di questa morfologia in profondità, anche se con vuoti di dimensioni limitate (diametro di alcuni metri).

Grotta a N del Locavaz. N° Cat. Reg. 6730, pozzo semplice con crolli e concrezioni. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 22 m a NE della galleria N, ad una quota di 107 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 13+278) si trova ad una quota di circa 56,5 m s.l.m. Si tratta di una modesta cavità con un pozzo di accesso di 3 metri. Consiste in un unico vano che si sviluppa in due direzioni (NE e S) con il fondo ostruito da depositi di crollo e concrezioni. E' probabile un proseguimento di questa morfologia in profondità, anche se con vuoti di dimensioni limitate (diametro di alcuni metri). Al di fuori dalla striscia data dall'interspazio fra le due gallerie e i due buffer laterali di 50 metri, ma con geometria tale da poter potenzialmente interessare il tracciato, sono le quattro cavità di seguito illustrate. Si rammenta anche in questo caso, che l'ubicazione degli ingressi è derivata dai dati del Catasto regionale delle Grotte del FVG e che dovrà essere controllata.

Caverna presso S. Pelagio. N° Cat. Reg. 438, galleria. La cavità si apre 125 m a E della galleria N e dall'interconnessione B.D., ad una quota di 234 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 21+442) si trova ad una quota di circa 158,5 m s.l.m. E' una galleria adattata per fini bellici che si approfondisce in direzione O con dimensione media dei vani intorno ai 4x4 m e fondo costituito da materiale detritico. Visti la direzione di sviluppo e l'approfondimento, non si esclude un'interazione con il tracciato con vani anche di notevole dimensione.

Grotta Vittoria. N° Cat. Reg. 526, cavità complessa. La cavità si apre 85 m a NE della stazione di Aurisina, ad una quota di 175 m s.l.m.; il tratto AV in quest'area (km 23+379) si trova ad una quota di circa 165,5 m s.l.m. La cavità è costituita da un livello di gallerie posto circa 20 m sotto il piano campagna da cui dipartono alcuni pozzi che raggiungono una quota di 53 m s.l.m. Un ramo della cavità si sviluppa in direzione SO al di sotto dell'attuale Stazione ferroviaria di Aurisina, orientativamente alla quota di 155 m s.l.m.. La grotta forma un unico complesso con le vicine N°1369 (Grotta Elsa) e N°3260 (Grotta della Vittoria Seconda)

Pozzo ad W di Medeazza. N° Cat. Reg. 700, pozzo complesso. Il pozzo di accesso alla cavità si apre 58 m a NE della galleria N, ad una quota di 159 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 14+320) si trova ad una quota di circa 69,5 m s.l.m. Si tratta di una cavità adattata per fini bellici consistente in una successione di pozzi coalescenti con sviluppo preferenziale lungo la direttrice NE-SW. La quota del fondo si attesta a circa 100 m

s.l.m. dove una strettoia impedisce il passaggio (distanza dal tracciato circa 30 m). E' probabile un proseguimento di questa forma ipogea, seppur con vani di modeste dimensioni (5x5 m), in profondità e lateralmente, con l'eventuale interazione con il tracciato

Grotta Renata. N° Cat. Reg. 5803, galleria a forra con riempimenti di concrezione e crolli. La cavità si apre in un campo solcato ad O di San Pelagio, 78 m a O dell'interconnessione B.P., ad una quota di 190 m s.l.m.; l'interconnessione B.P. in quest'area (km 22+080) si trova ad una quota di circa 165,8 m s.l.m. Un pozzo profondo 18 m immette in una galleria che si sviluppa con un orientamento EO, una larghezza variabile dai 5 agli 8 m ed un'altezza che raggiunge i 10 m. E' probabile che la galleria si sviluppi ulteriormente in direzione O fino ad interagire con il tracciato.

3.2.2 Inquadramento Geologico

Il Carso appartiene, per quanto attiene l'evoluzione geologica in senso lato, alla "piattaforma carbonatica carsico-friulana", propaggine settentrionale della "placca Adria". Dal punto di vista litologico (Martinis, 1962; Cucchi et al., 1987; Tentor et al., 1994), la piattaforma è data da una potente successione di rocce prevalentemente carbonatiche, di età da triassica nella zona di radice a eocenica al tetto; la successione carbonatica è sovrastata da una potente successione clastica quarzoso-feldispato-calcarea (Flysch) eocenica. Dal punto di vista strutturale in senso più stretto, il Carso, come in precedenza accennato, fa parte di un'ampia unità geologica detta "Piattaforma di Comeno", caratterizzata da un'anticlinale debolmente asimmetrica con asse a direzione NW-SE (dinarica) complicata da una serie di pieghe secondarie (ad asse sub parallelo a quello principale) e da alcune faglie. Di queste ultime, le principali sono orientate parallelamente alla struttura maggiore e dislocano parte dei fianchi individuando modesti graben e horst sub paralleli. Altre, trasversali (antidinariche), complicano di poco il fronte di avanzamento (Sovrascorrimento -o Thrust- del Carso). Il tracciato corre per un ampio tratto sui o nei termini intermedi della successione carbonatica cretacica a struttura quasi monoclinalica a direzione dinarica (NW-SE) ed immersione degli strati verso SW. In corrispondenza del rilievo del Monte Ermada attraversa una zona caratterizzata da alcune faglie ad andamento prevalentemente antidinarico (NE-SW), ereditate da fasi tettoniche intracretaciche, riguardo alle quali non è segnalata attività più recente. Si tratta di linee tettoniche sub verticali che condizionano i dettagli morfologici della zona. Al limite, potrebbe trattarsi di semplici master joints, cioè di importanti fratture che agevolano i processi erosivi e corrosivi, dato anche il debole rigetto che le caratterizza. Solo la struttura principale (Faglia del Monte Ermada) disloca marcatamente i limiti tra le formazioni mesocretacee e i calcari tardo cretacei dei Calcari di Aurisina. Proseguendo, il tracciato incontra la Faglia di Sistiana, importante struttura a cinematica trascorrente che ha agito anche durante la messa in posto del Thrust del Carso come tear fault (faglia trasversale allo sviluppo del thrust che sblocca tra di loro diverse parti dello stesso) che ne disloca il fronte. Il tratto tra Aurisina e Trieste, correndo quasi tutto nel sottosuolo incontra i Calcari di Aurisina, intensamente carsificati, la Formazione Liburnica, i Calcari ad Alveoline e Nummuliti, i livelli di transizione (Marne e i Calcari marnosi eocenici) e, infine, il Flysch di Trieste. I livelli carbonatici più recenti costituiscono il fronte dell'anticlinale di rampa del Thrust del Carso: sono molto inclinati sino alla verticale e, specie là dove particolarmente rigidi, hanno reagito alla deformazione fagliandosi con cinematica inversa e fratturandosi. La fratturazione è a tratti molto fitta e si associa a quella prodotta dai processi di formazione dell'Avanfossa Dinarica nel Paleocene-Eocene. Il Flysch depositato nell'Avanfossa e costituito da alternanze tra arenarie e marne siltose, è in parte solidale al fronte del Thrust del Carso, in parte gli soggiace. Il fronte è stato ulteriormente deformato da piccoli thrust che rappresentano una fase tardiva di deformazione della catena, probabilmente miocenica. Il Flysch associato al fronte del thrust ha subito limitati retroscorrimenti che lo portano a sovrapporsi ai livelli più antichi, come nella zona di Contovello tagliata dal tracciato, mente il Flysch soggiacente è deformato dal fronte principale e da quelli secondari in una serie di strutture di trascinamento che spesso rendono caotico l'assetto della formazione torbiditica. Essa conserva anche tracce di una deformazione in pieghe isoclinali regolari risalenti alle prime fasi di movimentazione del Thrust del Carso: Il tutto è complicato da importanti tear fault a cinematica trascorrente che spostano il fronte del thrust stesso e condizionano la morfologia dei pendii in Flysch sottostanti. Le tear fault, presenti anche nei thrust minori e numerose nella zona, costituiscono spesso vie preferenziali per le acque di percolazione.

Per quanto riguarda la litologia, il tracciato interessa nei primi km i depositi alluvionali quaternari e successivamente intercetta i termini carbonatici approssimativamente secondo questa successione:

- dalla progressiva di inizio progetto alla pk 7+615 i ***Depositi Alluvionali della Piana dell'Isonzo*** (ghiaie, in matrice sabbiosa debolmente limosa)
- dalla progressiva 7+ 615 alla pk 10+865 i ***Calcari di Monte Coste*** (Calcari fango-sostenuti grigio nocciola, alternanze di micriti grigio scure laminate e livelli brecciati, micriti; unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media carsificabilità);
- dalla progressiva 10+865 alla pk 10+950 le alternanze di dolomie e calcari della ***Formazione di Monrupino*** (Brecce a cemento e clasti dolomitici, dolomie da grigio chiare a grigio scure, dolomie calcaree grigio chiare, alternanze calcareo-dolomitiche; unità dalle caratteristiche geomeccaniche complessive da buone a non molto buone e dalla bassa carsificabilità);
- dalla progressiva 10+ 950 alla pk 11+795 i ***Calcari di Monte Coste*** (idem);
- dalla progressiva 11+795 alla pk 13+890, la ***Formazione di Monrupino*** (idem);
- dalla 13+890 alla pk 17+230 i ***Calcari di Monte Coste*** (idem);
- dalla progressiva 17+230 alla pk 21+950 la ***Formazione di Monrupino*** (idem);
- dalla progressiva 21+950 alla pk 27+350 i ***Calcari a Rudiste*** (wackestone e packstone grigio chiari ricchi in rudiste (radiolitidi e hippuritidi), con variazioni latero-verticali a unità più micritiche; unità complessivamente dalle ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla alta se non altissima carsificabilità);
- dalla progressiva 27+350 alla progressiva 27+520 i calcari dell'intervallo inferiore della ***Formazione Liburnica*** (Calcari tipo wackestone e packstone (prevalenti verso la parte alta) grigi o nocciola molto fossiliferi (Lb). Calcari con frammenti di Radiolitidi, cui si sovrappongono mudstone e wackestone fossiliferi con livelli di breccia, associati a fenomeni pedogenetici; calcari fango sostenuti grigio scuri a foraminiferi; unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media carsificabilità);
- dalla progressiva 27+520 alla pk 28+520 i calcari dell'intervallo superiore della ***Formazione Liburnica*** (idem);
- dalla progressiva 28+520 fino alla pk 28+800 i ***Calcari ad Alveoline e Nummuliti*** (Calcari grigi, packstone prevalenti, fossiliferi, ricchi in macroforaminiferi. Nella parte superiore sono presenti wackestone e packstone e alternanze calcareo-marnose; al top della successione si hanno frequenti conglomerati a clasti arrotondati, inglobati in matrice marnosa; unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media se non medio alta carsificabilità);
- dalla progressiva circa 28+800 in poi il ***Flysch***, (Depositi torbiditici costituiti da alternanze di arenarie e marne siltose (FT). Nella porzione basale si possono rinvenire livelli di marne, marne calcaree e calcari argilloso-marnosi; unità dalle caratteristiche geomeccaniche estremamente variabili, non carsificabile).

In sintesi, si sono riconosciute sul terreno e mappate (Carta Geologica allegata, rif. doc. L34400R69G4GE0001001-4A) le seguenti unità litostratigrafiche:

Calcari di Monte Coste (MC) *(Aptiano inferiore p.p.-Albiano superiore).* La successione di piattaforma carbonatica corrispondente al Calcare di Monte Coste rappresenta i termini più antichi della successione affiorante sul Carso. La base di questo membro affiora in Slovenia e i depositi più antichi in territorio italiano, si seguono lungo il Confine di stato. Nel tratto studiato sono presenti solamente le unità superiori di questa

formazione che è potente alcune centinaia di metri. In particolare si hanno unità caratterizzate da litofacies prevalentemente fango-sostenute; *wackestone* grigio-nocciola a peloidi, foraminiferi tra cui Miliolidi, e qualche intraclasto a stratificazione decimetrica. A volte sono riconoscibili laminazioni trattive, laddove la bioturbazione non le oblitera. Questa litofacies suggerisce una deposizione su tranquilli fondali di bassa profondità in aree con circolazione abbastanza ristretta. Segue un'alternanza di micriti grigio scure spesso laminate e talvolta bioturbate a potenza metrica e livelli brecciati con clasti angolosi di micrite nocciola e nera. Spesso gli stessi clasti si rinvengono in piccoli filoni sedimentari di chiara origine tettonica dove la matrice è dolomitica. Segue ancora un'unità a micriti nere con faune pressoché assenti, laminate, a stratificazione centimetrico-decimetrica. A volte nelle micriti si riscontrano strutture di tipo lenticolare, cioè strutture miste da decantazione e trazione, che si formano quando la corrente è in fase calante e quindi di deposizione. I tipici prodotti delle fluttuazioni di energia idrodinamica sono l'alternanza sabbia-fango; nel caso della stratificazione di tipo lenticolare si riscontra un allineamento di ripples discontinui o sottoalimentati. Nell'unità sopra citata i ripples si rinvengono sotto forma di lenti isolate convesse millimetrico-centimetriche di calcarenite immerse nella micrite. La tematica deposizionale di queste litofacies suggerisce la deposizione in ambienti tranquilli, riparati con scarsa circolazione. Una fase tettonica sin-deposizionale, che sarà un "motivo" ricorrente in tutto l'Aptiano, l'Albiano e il Cenomaniano, causa l'apertura di filoni sedimentari, la deposizione di brecce di slope e, laddove l'energia è smorzata, brecciature in situ. Salendo nella successione si riscontra nuovamente l'unità a *storm-layer* descritta in precedenza e l'alternanza di micriti grigio scure laminate e talvolta bioturbate a potenza metrica e livelli brecciati sempre descritti in precedenza. Si segnalano alcuni strati e banchi di brecce e brecciole, talvolta silicizzate, di spessore da decimetrico a metrico. I calcari dell'Albiano sono costituiti da predominanti wackestone, packstone, mudstone intraclastici, fossiliferi e pelletiferi di colore grigio e nerastro, localmente con strutture di disseccamento e silt vadoso. Nel tratto superiore della successione albiana è presente un livello potente 4-5 m di silt quarzoso. Dolomicriti e calcari dolomitizzati sono abbastanza frequenti in questa parte della successione dove sono presenti anche rari floatstone a rudiste (Requienidi). Alla sommità di CCS è osservabile un orizzonte dolomitico con strutture paleocarsiche (cavità centimetriche-decimetriche riempite da calcite rossastra, siderite bruna e limonite ocracea). Il membro di Monte Coste si chiude infatti con sedimenti neri bioturbati in strati decimetrico-metrici; numerose sono però le eteropie di facies. Lateralmente si possono trovare unità costituite da cicli subtidali a *wackestone-packstone* a peloidi, foraminiferi e bioclasti; livelli centimetrici di brecce di micrite nerastra angolosi; alternanze calcareo-dolomitiche con strutture paleocarsiche (cavità centimetrico- decimetriche riempite da calcite rossastra, siderite bruna e limonite ocracea).

Dal punto di vista geomorfologico a questi litotipi, compete una carsificabilità da media a medio bassa. Nel tratto interessato dal tracciato, la carsificazione risulta medio bassa e cavità e doline non sono numerose. Data la stratificazione netta e frequente a monoclinale è sede di carsismo diffuso, con morfologie in grande abbastanza morbide: le doline sono subcircolari simmetriche, a fondo piatto e fianchi poco acclivi, frequenti sono le grize, più rari i campi solcati e le piccole forme. Le cavità, non frequenti e di limitate dimensioni, hanno morfologia accidentata.

Formazione di Monrupino ***(FM)*** *(Cenomaniano p.p.).* Alla base dell'unità si riscontrano livelli di brecce monogeniche o poligeniche con cemento dolomitico e clasti da dolomitici a dolomitico-calcarei da millimetrici a decimetrici a stratificazione indistinta. I clasti sono generalmente spigolosi, subordinatamente arrotondati, e solitamente sono costituiti da wackestone dolomitizzati, mudstone, mudstone laminati dolomitizzati, wackestone pelletiferi. Tale livello di brecce rappresenta un marker stratigrafico che rappresenta il principale elemento distintivo che permette la collocazione del limite con l'unità sottostante. Nella parte inferiore, le brecce sono probabilmente derivate da frequenti emersioni, smantellamenti e modesto trasporto in zone relativamente più depresse, in concomitanza di una fase tettonica di durata relativamente ampia. La matrice fangosostenuta si presenta come un packstone fine dolomitizzato. Nella parte superiore, i depositi sono prevalentemente dolomitici e caratterizzati da dolomie grigio-chiare grossolane; dolomie calcaree grigio-chiare; dolomie grigio scure, con laminazioni nerastre piano-parallele o irregolari; dolomie nere cristalline a grana minuta, spesso fetide alla percussione. Sono frequenti tasche di dolomie e calcari micritici rosso-giallastri (paleo suoli) ed

alternanze calcareo-dolomitiche; sono talora presenti dicchi sedimentari riempiti da breccia e rari livelli a Rudiste. Nelle dolomie si riconoscono, talora, fantasmi di Gasteropodi e Radiolitidi. Lo spessore complessivo del corpo di breccia, dei livelli calcareo-dolomitici, come pure l'alternarsi delle due principali litologie è variabile da zona a zona. La stratificazione ha potenza da decimetrica a metrica. Presso il colle della Rocca, la Cava Romana (Monfalcone) e il colle di Moschenizza (poco a est di Monfalcone), in corrispondenza della riduzione più o meno netta dei livelli dolomitici, si osservano dei calcari nerastri fittamente stratificati con liste e noduli di selce nera, contraddistinti dalla parziale conservazione delle tessiture originarie. L'intervallo sovrastante le alternanze calcareo-dolomitiche è caratterizzato da livelli di calcari scuri (mudstone, wackestone e packstone) fossiliferi a radiolitidi e Chondrodonta joannae, talora in grado di originare piccole banchi. La stratificazione ha potenza prevalentemente decimetrica. Seguono calcari grigi compatti ricchi di forme planctoniche (wackestone e packstone a Calcisphaerulidae e rari foraminiferi planctonici) a testimonianza di un evento trasgressivo che ha determinato il momentaneo annegamento della piattaforma. Il limite superiore viene posto in corrispondenza di detto evento trasgressivo. Questo evento si è concretizzato in un intervallo a packstone a Calcisphaerulidae e rari foraminiferi planctonici.

Nel complesso dal punto di vista geomorfologico a questa unità litostratigrafica compete una carsificabilità molto bassa. I litotipi dolomitici sono poco solubili e danno spesso una coltre di alterazione superficiale terroso-sabbiosa. Alcune cavità e doline interessano peraltro l'areale di affioramento: le doline sono poco profonde, dai fianchi poco acclivi e il fondo piatto, le piccole forme sono assenti. Le cavità, molto poche in verità e limitate, hanno morfologie dissolutivo-erosive molto interessanti. Vale la pena sottolineare che, una quindicina di chilometri più a oriente, le grandi gallerie in cui scorre il fiume Timavo ipogeo scoperte in corrispondenza dell'Abisso di Trebiciano e della Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko, così come i pozzi di accesso ai vani, sono interamente scavati in questi litotipi dolomitici. Comunque sia, sulla base delle considerazioni litologiche legate all'areale di interesse, dal punto di vista geomorfologico questa Unità può essere definita poco carsificabile.

Calcari di Aurisina ***(CA)*** *(Cenomaniano sup.- Senoniano sup.).* La parte inferiore dei Calcari di Aurisina è caratterizzata da wackestone e packstone grigio chiari con abbondanti fossili interi e in frammenti (essenzialmente radiolitidi, nei livelli cenomaniani, e radiolitidi e hippuritidi, a partire dal Turoniano). I depositi sovrastanti sono caratterizzati dalla sovrapposizione di diversi strati di tempesta organizzati in cicli prevalentemente metrici che rielaborano frammenti di rudiste, intraclasti, numerosi foraminiferi tra cui prevalgono le Miliolidi. Seguono calcari prevalentemente micritici con ridotto contenuto fossilifero; quindi si passa a wackestone-packstone a ricchissima frazione fossile, caratterizzata soprattutto da rudiste (radiolitidi e hippuritidi) organizzate in banchi. L'ambiente era a medio/alta energia con sviluppo di banchi a rudiste con geometria da tabulare a lievemente convessa, di spessore metrico (2 - 3 m), che spesso progradavano su areniti a lamine trattive parallele adiacenti. All'interno di questi banchi le rudiste sono prevalentemente disposte con un fabric di tipo open e sono stati interpretati come concentrazioni primarie. Queste unità sono organizzate in cicli di spessore medio intorno ai 6 metri, di tipo coarsening upward che registrano l'evoluzione delle diverse fasi di progradazione dei banchi a rudiste sui sedimenti circostanti, fino alla loro morte, a causa del colmamento dell' accommodation e conseguente erosione da parte del moto ondoso della parte alta del banco. Frequenti variazioni verticali e laterali a unità più micritiche talora ricche di sostanza organica. Nella parte inferiore, sono particolarmente frequenti livelli fossiliferi a Neithea, Acteonelle, Nerineidi, Coralli ed Echinidi. Ben rappresentate sono le Radiolitidi, che a partire dal Turoniano sono associate a Hippuritidi. Nella parte superiore si individuano livelli fossiliferi a macroforaminiferi (Keramosphaerina tergestina). Il tetto dei Calcari di Aurisina è sigillato da una superficie di emersione della piattaforma con evidenze di paleo carsismo (tra cui breccia bianco-rosea a Microcodium).

E' in questa Unità litostratigrafica, affiorante al centro dell'altopiano del Carso, che si sviluppano i fenomeni carsici più importanti ed estesi. L'altissima carsificabilità giustifica le numerosissime doline ampie e profonde dalle diverse morfologie (a piatto, a ciotola, di crollo, dai fianchi acclivi, con terre rosse o detriti al fondo, ecc.), spesso coalescenti ad abbozzi di ampie ed articolate uvala, i campi solcati estesi e ricchi di tutte le piccole forme

possibili. Numerosissime le cavità, anche notevolmente sviluppate, con pozzi ampi e profondi, gallerie estese e vaste caverne; sono veramente abbondanti tutte le diverse morfologie ipogee, sia dissolutive che di deposito, tanto da meritare al territorio l'appellativo di "Carso classico".

Formazione Liburnica ***(L)*** *(Campaniano superiore p.p. – Thanetiano p.p).* Un nuovo evento trasgressivo riporta la piattaforma emersa del Calcare di Aurisina in condizioni marine. Al di sopra della superficie di unconformity si ha la deposizione di strati di tempesta a frammenti di Radiolitidi a cui, verso l'alto, si sovrappongono laminazioni piane parallele di tipo trattivo. Superiormente sono presenti mudstone, talora con strutture di disseccamento e wackestone ad intraclasti, contraddistinti dalla presenza di Discorbidae e Gasteropodi. Seguono wackestone fossiliferi grigio chiari con biota marini e mudstone-wackestone fossiliferi con alcuni livelli di breccia, associati a fenomeni pedogenetici. Verso il limite K/T, i fenomeni pedogenetici diventano più intensi e diventa più frequente Microcodium. L'intervallo appartenente al Daniano è caratterizzato da calcari fangosostenuti grigio scuri a foraminiferi, gasteropodi, bivalvi alghe calcaree, tra cui Dasycladaceae e successivamente Characeae, con ritmo della stratificazione da centimetrico a decimetrico. Alla base si ritrovano cicli peritidali, la cui unità subtidale presenta alla base la classica brecciolina basale; verso l'alto passa invece a wackestone scarsamente fossiliferi; la parte inter-sopratidale è invece costituita da microbialiti, sheet-cracks e mud cracks e, talora, paleosuoli rossastri. L'intervallo superiore è caratterizzato da facies prevalentemente subtidali lagunari a dimostrazione di un moderato approfondimento della colonna d'acqua e/o di apertura delle lagune. I calcari sono dapprima wackestone o packstone molto fossiliferi (Miliolidae, gasteropodi e alghe Dasycladaceae). La parte alta dell'intervallo presenta calcari grigi o nocciola scuri molto fossiliferi (prevalentemente packstone), ricchi di foraminiferi, soprattutto Miliolidi e le prime forme coniche (Fallotella, Coskinon, ecc.), alghe Corallinaceae e gasteropodi ornamentati, a conferma della tendenza all'approfondimento o dell'apertura della piattaforma. La stratificazione è decimetrico-metrica.

A questa unità litostratigrafica, dal punto di vista geomorfologico, compete una carsificabilità variabile, in funzione dei diversi litotipi che la caratterizzano: medio-bassa nei termini inferiori, medio-alta in quelli superiori. Abbondanti e varie le forme carsiche in grande ed in piccolo, oltre che quelle ipogee.

Per queste ragioni, e sulla base di considerazioni litologiche, dal punto di vista geomorfologico questa unità può essere conglobata con la seguente, la formazione del Calcare ad Alveoline e Nummuliti.

Calcare ad Alveoline e Nummuliti ***(AN)*** *(Thanetiano superiore (?) – Ilerdiano (?) - Cuisiano medio).* La parte bassa dei Calcari a Alveoline e Nummuliti presenta calcari grigi molto fossiliferi (prevalentemente packstone), ricchi di macroforaminiferi (Alveoline e rarissime Nummuliti) che si associano a Miliolidi, alghe Corallinaceae, coralli ed echinidi. Questa parte è sostanzialmente analoga alla parte alta della Formazione Liburnica e rappresenta litofacies che si depositano in un ambiente di piattaforma aperta in debole approfondimento. Nella parte alta sono presenti litofacies di piattaforma aperta, quali wackestone/packstone ricchi di alveoline, nummuliti e Orbitolites, nonché altre caratterizzate da una discreta energia idrodinamica tipica di ambiente di shoal (grainstone bioclastici con strutture trattive in strati metrici). Nonostante la discreta energia dell'ambiente si depositava sempre una modesta frazione argillosa, che nell'intervallo superiore del membro da origine ad alternanze calcareo marnose organizzate in cicli di tipo thickening and coarsening upward dello spessore di 3 m. Le coppie calcari-marne rappresentano una nuova unità mai descritta prima nei Calcari ad Alveoline e Nummuliti. Il trend coarsening-up è registrato dalla seguente transizione verticale di facies: da calcisiltiti peloidali con foraminiferi planctonici di base ciclo si passa a calcareniti-calciruditi bioclastiche con strutture da corrente trattiva al top. Sono presenti piani di strato ondulati e strutture nodulari. Al top della successione si trovano frequentemente uno o più livelli conglomeratici, caratterizzati da clasti monogenici arrotondati di grainstone a macroforaminiferi provenienti probabilmente dalla facies di tetto ciclo del trasgressive system tract. I clasti sono inglobati in una matrice marnosa, presentano un fabric caotico e il range dimensionale va da 3 a 10 cm. Alcuni clasti presentano un cortice ben sviluppato e possono essere interpretati come noduli diagenetici, precedentemente cementati, rimaneggiati da movimenti gravitativi. Per gli altri clasti invece l'origine tettonica

sembra essere la più verosimile. La tettonica particolarmente attiva nel periodo in questione potrebbe essere il motore dei movimenti gravitativi.

Dal punto di vista geomorfologico a questa Unità litostratigrafica compete una carsificabilità media o medio-alta, evidenziata dalle numerose doline che in essa si aprono, dalle piccole forme estesamente presenti, dalle profonde ed articolate cavità che in essa si sviluppano.

Per queste ragioni, e sulla base di considerazioni litologiche, dal punto di vista geomorfologico questa Unità è stata conglobata con la precedente.

Successione torbiditica del Flysch di Trieste ***(FT)*** *(Luteziano p.p.).* La sedimentazione carbonatica si esaurì nell'Eocene inferiore, con l'annegamento della piattaforma carbonatica testimoniato anche dalla comparsa di facies rimaneggiate al top della sequenza. Si forma l'avanfossa che inizia ad essere interessata da apporti terrigeni in facies torbiditica. Per un certo tratto facies pelitiche, già presenti negli ultimi livelli della successione carbonatica si intercalano talvolta alle prime torbiditi (strati transizionali, "transitional beds"). Nel passaggio tra gli strati della piattaforma carbonatica a quelli della formazione terrigena troviamo localmente, ed in particolare nella zona della Val Rosandra, depositi di calcari argilloso-marnosi, marne calcaree e marne. Il livello è stato cartografato nelle zone dove l'areale di affioramento è significativo e gli strati sono stati chiamati informalmente "Strati transizionali" in accordo con le recenti definizioni usate anche nella terminologia della bibliografia internazionale. Per quanto riguarda i depositi terrigeni veri e propri si è scelto di adottare preliminarmente e in via informale il nome di "Flysch di Trieste". La Formazione è costituita da un'alternanza di livelli di marne siltose ed arenarie con spessori variabili. La potenza delle marne è estremamente variabile e va da millimetrica a decimetrica, quella delle arenarie va da centimetrica a metrica. Le arenarie solitamente predominano, sono discretamente classate con dimensione media dei granuli di 0.1 - 0.2 mm circa. In parte trattasi di arenarie ibride a cemento carbonatico con rari feldspati, miche, minerali pesanti (Cr-spinello e granato) e pirite definibili come grovacche spesso di tipo litico, ma sono frequenti anche vere e proprie arenarie litiche con significativa presenza di clasti carbonatici. Queste ultime sembrano prevalere nel flysch areanceo - marnoso e marnoso - arenaceo. Sono praticamente sterili, anche se oltre a rarissime Globigerine (rimaneggiate), sono stati rinvenuti rari echinidi e molluschi. Risultano mediamente composte per il 50% almeno di ossido di silicio (sotto forma di quarzo per il 43-53% e di selce per il 6-11%) e per il resto da feldspati (18-26%) fra cui predominano i plagioclasi, miche (4-6%) con clorite e muscovite predominanti sulla biotite, carbonati (16-20% tanto come cemento quanto come clasti spesso notevolmente alterati) e da una serie di minerali accessori in minima quantità (Cr-spinello, ossidi di ferro, glauconite, tormalina, granati, zircone, rutilo, per percentuali cumulative da 1% a 3%). Le marne, dalla tipica composizione mineralogica data da micrite, argilla e una percentuale variabile di silt, sono talvolta ricche di Foraminiferi planctonici del tipo Globigerine. All'interno della formazione sono riconoscibili facies arenacee, arenaceo – marnose e facies prevalentemente pelitiche. Anche nelle facies più ricce di livelli arenacei potenti, raramente si osservano sequenze di Bouma complete. Rarissimi sono gli intervalli gradati, di gran lunga più frequenti gli intervalli laminati. Molti livelli marno-siltosi rappresentano l'intervallo pelitico della torbidite.

In linea di massima la formazione è da ritenere non carsificabile e complessivamente impermeabile. Alcune bancate o pacchi di strati arenacei possono rappresentare acquiferi permeabili per fratturazione, con ritenzione d'acqua in conseguenza a particolari situazioni strutturali.

Le formazioni rocciose sono irregolarmente coperte da più tipi di depositi o terreni di età genericamente quaternaria, genericamente riconducibili a depositi alluvionali, depositi residuali, depositi di versante, depositi eluvio-colluviali e palustri.

Nello specifico sono state rappresentate:

Unità di Gorizia *(g) (Pleistocene superiore).* Appartengono a questa unità i depositi alluvionali del conoide Pleistocenico superiore dell'Isonzo, formatosi presumibilmente durante il LGM (Last Glacial Maximum). Si tratta della porzione di pianura tardo-pleistocenica che è rimasta preservata dall'azione di terrazzamento e seppellimento operata dalle alluvioni postglaciali a partire dalla fine del LGM. I depositi in questione sono costituiti prevalentemente da ghiaie, in matrice sabbiosa debolmente limosa, a stratificazione orizzontale ed incrociata, talvolta con intercalati livelli, lenti e lingue di sabbie e peliti nelle porzioni distali. Le ghiaie sono mediamente classate. I clasti sono arrotondati-subarrotondati con dimensioni medie-massime di 1,5-25 cm passanti a 1-15 cm nella porzione più distale. I depositi sono mediamente addensati. La tessitura è a supporto di clasti. Nell'ambito dell'area rilevata lo spessore massimo dell'unità è di circa 30 m.

Unità di Grado *(Olocene - Attuale).* Questa unità raggruppa in modo indifferenziato i depositi dei bacini principali sedimentati durante il postglaciale, ovvero dalla fase successiva al ritiro dei ghiacciai pleistocenici fino all'Attuale. Rientrano in questa unità i depositi alluvionali che costituiscono i sistemi deposizionali telescopici del Torre, del Natisone e dell'Isonzo, formatisi a partire dalla fase di incisione postglaciale. Nell'unità di Grado sono state distinte la **subunità di Aquileia (q)**, che comprende i depositi dell'Olocene fino all'epoca romana, e la **subunità di Monastero (m)** a cui sono stati attribuiti i depositi legati ai percorsi di Isonzo, Torre e Natisone attivi dal periodo post-romano all'attuale. I depositi sono costituiti da ghiaie in matrice sabbiosa e ghiaie sabbiose a stratificazione da orizzontale a inclinata, sono intercalati livelli, lenti e lingue di sabbia e sabbia limosa la cui frequenza aumenta verso le parti distali dei sistemi deposizionali. Soprattutto nelle alluvioni distali del Torre la frazione sabbioso limosa può prevalere su quella ghiaiosa. Le ghiaie passano da mediamente a ben classate nella direzione del trasporto. I clasti sono da subarrotondati a arrotondati con dimensioni medie-massime che diminuiscono nel senso del trasporto passando da 3-25 cm a <1-10 cm. La tessitura può essere a supporto di clasti o di matrice. Le sabbie e le ghiaie talvolta mostrano una laminazione parallela o incrociata a basso angolo. Nella composizione delle alluvioni del Torre, per quanto prevalgano nettamente le litologie carbonatiche e terrigene mesozoico-terziarie proprie del bacino e dei suoi affluenti, sono comunque rappresentate anche quelle paleozoiche indicatrici dell'alto bacino del Tagliamento riciclate dall'erosione sulle unità più antiche, mentre quelle del Natisone rispecchiano le litologie affioranti nel bacino. I depositi della GRA sono facilmente distinguibili da quelli delle unità più vecchie adiacenti e sottostanti per la marcata differenza di alterazione superficiale e di tessitura dei terreni. Lo spessore dell'unità in esame è stimato variabile da 5 a 10 metri.

Unità dei "depositi ubiquitari" *(u) (Pleistocene sup. - Attuale).* Vengono distinti in questo ambito corpi sedimentari che, pur non essendo necessariamente delimitati da discontinuità di estensione regionale, hanno comunque una loro individualità ben definita. Tali corpi non sono differenziati in base al bacino di appartenenza e concettualmente si riferiscono alla litostratigrafia. Sono costituiti da particolari litofacies: depositi alluvionali, depositi palustri, prodotti residuali, depositi di origine mista, detrito di versante, per le quali il processo di formazione è slegato dall'evoluzione dei bacini in cui ricadono. Si tratta di depositi caotici costituiti da ghiaie e sabbie limose, e limi sabbiosi. I depositi sono prevalentemente mal classati, poco addensati, con tessitura prevalentemente a supporto di matrice; i clasti sono generalmente angolosi, costituiti dal litologie locali; le dimensioni medie dei clasti sono di 3 cm, le massime attorno ai 30 cm. Tali depositi sono legati alla dinamica di versante ed al trasporto di acque torrentizie e ruscellanti lungo i versanti dei rilievi collinari; in corrispondenza di avvallamenti sono presenti impaludamenti che hanno determinato una decantazione di tipo palustre.

Coltre eluvio-colluviale, depositi colluviali e terre rosse *(ec).* Sono qui compresi i prodotti della degradazione superficiale del substrato pre-quaternario e dei depositi quaternari. I depositi possono essersi evoluti in posto o aver subito trasporto lungo i versanti principalmente per mezzo di acque ruscellanti. Sono molto diffusi in corrispondenza dei rilievi in flysch: si tratta di prodotti prevalentemente a supporto di matrice, con matrice argilloso-limosa, clasti eterometrici da angolosi a subarrotondati. Lo spessore è variabile, da decimetrico a metrico sui versanti, può essere plurimetrico alla base dei versanti. Sono attribuibili a questa unità i depositi che si rinvengono generalmente come lembi isolati alla base dei versanti dei rilievi del Carso o sul fondo delle doline, derivati a loro volta dall'alterazione prolungata delle formazioni calcaree con un'abbondante

componente quarzoso feldispatica dovuta al trasporto eolico dalle vicine fonti di suolo marnoso arenaceo del Flysch. Essi sono riconducibili alle cosiddette "terre rosse": si tratta di depositi essenzialmente limosi rossastri, con rari clasti di selce da angolosi a subarrotondati di piccole dimensioni (max. 5 cm); lo spessore di questi depositi è discontinuo (da poche decine di cm a qualche metro). L'alterazione, sottraendo il carbonato di calcio, ha ulteriormente arricchito indirettamente in silice questi depositi. Depositi superficiali di questo tipo affiorano con debole potenza in alcune aree fra Sistiana ed Aurisina e, talvolta anche con potenza notevole, sul fondo delle doline. Sono diffusi, con potenza variabile da pochi centimetri ad alcuni metri, anche sul fianco meridionale dell'altopiano, da Prosecco a Trieste.

***Depositi palustri* (p).** Consistono in depositi organici massivi e poco addensati tipici di aree con difficoltà di drenaggio, costituiti da limi ed argille. Depositi di questo tipo riempiono il fondo delle depressioni allagate (conca e lago di Pietrarossa, conca di Moschenizze e del Lisert).

Nella carta geologica allegata (rif. doc. L34400R69G4GE0001001-4A) i depositi dell'unità di Gorizia, e dell'unità di Grado sono stati accorpati come **"Alluvioni della piana orientale dell'Isonzo" (A),** mentre tutti gli altri depositi quaternari sono stati accorpati come **"Coperture indifferenziate" (C).**

Faglie importanti nelle assise calcaree non dovrebbero essere incontrate; piani di faglia a limitato rigetto orizzontale e verticale e zone a fratturazione più intensa sono comunque da mettere in preventivo, specialmente in alcuni settori ove le caratteristiche strutturali generali suggeriscono la presenza di disturbi tettonici minori.

In corrispondenza dell'imposta occidentale del viadotto alla progressiva 10+950, una faglia, la cui presenza non inficia di molto le caratteristiche geotecniche della massa rocciosa, mette a contatto le dolomie della Formazione di Monrupino (a Ovest) con i Calcari di Monte Coste (a Est). La faglia è subverticale a carattere debolmente trascorrente con debolissima componente verticale (dell'ordine della decina di metri).

Il tracciato incontrerà spessori interessati da faglia o master joint a debolissima componente di spostamento, con un aumento locale del grado di suddivisione della massa rocciosa, alle progressive circa 14+135 (nelle dolomie della Formazione di Monrupino), alle progressive circa 15+340, 15+840, 16+740 (nei Calcari di Monte Coste), alla progressiva 20+100 (nelle dolomie della Formazione di Monrupino). Si tratta in genere di faglie a debole componente trascorrente sinistra (dell'ordine della decina di metri), piano subverticale debolmente ondulato e, talora, debolissima componente verticale.

Nel Flysch, le faglie sono più numerose e sono essenzialmente di due tipi: trascorrenti subverticali a deboli rigetti orizzontali e/o verticali e piani di sovrascorrimento o retroscorrimento a basso angolo. Anche l'assetto strutturale può variare di molto, con pieghe ad ampio raggio complicate da pieghe a piccolissimo raggio.

3.3 Valutazione delle interferenze e degli interventi di mitigazione

Date le caratteristiche del tracciato, che si sviluppa in buona parte in sotterraneo, si può dire che sono quasi del tutto assenti i rapporti tra la linea in progetto e le forme superficiali legate all'evoluzione morfologica dell'area.

Per quanto riguarda la zona di pianura isontina, la quale presenta un grado di discreta maturità, si rileva la presenza dei dossi fluviali, per cui è necessario valutare le caratteristiche evolutive di tali morfotipi nei confronti della linea.

Per quanto riguarda le forme carsiche ipogee, il tracciato di progetto potrebbe intersecare le seguenti "cavità" (come approfondito nel paragrafo precedente):

- Grotta fra Slivia e Precenico. N° Cat. Reg. 1619

- Grotta presso Aurisina. N° Cat. Reg. 3945

- Grotta Sorpresa. N° Cat. Reg. 4399

- Grottina a W di Bristie. N° Cat. Reg. 4786

- Jama v skrlivcu 1. N° Cat. Reg. 4918 e Jama v skrlivcu 2. N° Cat. Reg. 4919

- Grotta della spalla. N° Cat. Reg. 6586

- Caverna presso S. Pelagio. N° Cat. Reg. 438

- Pozzo ad W di Medeazza. N° Cat. Reg. 700

- Grotta Renata. N° Cat. Reg. 5803,

- Pozzo presso il Viadotto ferroviario di Aurisina. N° Cat. Reg. 538.

L'esercizio dell'opera ferroviaria non determina forme di impatto per la componente suolo e sottosuolo, se non quella legata a rischi potenziali in caso di incidenti rilevanti. Tutte le problematiche connesse all'interferenza con la matrice ambientale esaminata possono essere pertanto ricondotte alla fase realizzativa ed ai relativi capitoli di trattazione. E' da segnalare come gli ulteriori approfondimenti di indagine programmati per le successive fasi di progettazione possano ulteriormente consolidare le argomentazioni già estesamente trattate negli elaborati geologici allegati al progetto preliminare, in modo da circoscrivere maggiormente le potenziali interferenze già minimizzate mediante le scelte progettuali adottate.

La realizzazione dell'opera comporta però una, se pur modesta, sottrazione di suolo, con particolare riferimento ai primi chilometri del tracciato, dove la linea corre, in rilevato, nella Piana dell'Isonzo. Si evidenzia che lungo tale porzione di tracciato essa si sviluppa comunque in affiancamento alla linea esistente.

Per quanto riguarda le problematiche legate ad eventuali siti contaminati, la consultazione del "Sistema informativo dei siti inquinati" della regione Friuli Venezia Giulia, aggiornato al 2 novembre 2010, ha consentito di verificare che non sono presenti, nell'area interessata dal tracciato, siti contaminati noti ovvero siti per i quali sia stata attivata la procedura tecnico/amministrativa ai sensi del D.Lgs. 152/2006.

Non sono pertanto previsti per la componente ambientale in esame interventi di mitigazione propriamente detti.

3.4 Bibliografia

Bibliografia citata

Cucchi F. (1994) – Geologia dell'area di San Giovanni al Timavo. Atti e Memorie Comm Grotte "E. Boegan", Vol. 31, 49-58, Trieste.

Cucchi F., Marinetti E., Mihevec A., Pugliese N., Sebela S., Zini L. (2000) – Il carsismo epigeo ed ipogeo. Soc. Geol. It., 80ª riunione estiva, Guida alle escursioni-Escursione B2. Trieste, settembre 2000.

Cucchi F., Pirini Radrizzani C & Pugliese N. (1987) – The stratigraphic sequence of the karst of Trieste. Mem. Soc. Geol. It., Vol. XI, 33-44, Trieste.

Cucchi F., Zini L. (2000) – Le acque del Carso Classico. Mem. dell'Istituto Italiano di Speleologia, II, Vol. XIX, 33-40.

D'Ambrosi C. (1953) – Carta geologica delle Tre Venezie. Foglio Trieste 1:100000 – Uff. Idrograf. Mag. Acque Venezia, Firenze.

D'Ambrosi C. (1955) – Note illustrative della Carta geologica delle Tre Venezie. Foglio Trieste 1:100000 – Padova: 85 pp.

D'Ambrosi C. (1961) – Studio e caratteristiche geologiche della serie stratigrafica del Carso Triestino – Boll. Soc. Adriatica Sc., 51: 145-164.

Martinis B. (1962) – Ricerche geologiche e paleontologiche nella regione compresa fra il torrente Judrio ed il fiume Timavo. Mem. Riv. Ital di Paleont. E Strat., VII, 1-200.

Miall A.D. (1996) – The geology of fluvial deposits: sedimentary facies, basin analysis, and petroleum geology. New York, Springer, 582 pp.

Placer L. (1981) – Geological structure os SW of Slovenia. Geologija, Vol. 24/1, 27-60, Ljiubljana

Regione Friuli Venezia Giulia, Direzione Centrale Ambiente e Lavori Pubblici - Servizio Geologico (2005) - Carta geologico-tecnica 1:5000 – Fogli 088142, 088143, 088152, 088153.

Stache G. (1920 a) – Goerz und Gradisca (1:75.000) – Geol. Spezialkarte der im Reichsraete vertreten Koenigreiche und Lander Oesterreichische-Ungarischen Monarchie. Geol Bundensandst, Wien.

Stache G. (1920 b) – Triest und Capodistria (1:75.000) – Geol. Spezialkarte der im Reichsraete vertreten Koenigreiche und Lander Oesterreichische-Ungarischen Monarchie. Geol Bundensandst, Wien.

Tentor M.,Tunis G. & Venturini S. (1994) – Schema stratigrafico e tettonico del Carso Isontino. Natura nascosta, 9, pp 32, Monfalcone.

Bibliografia di riferimento per il Carso

CUCCHI F. (1975): I diagrammi nello studio delle cavità. Supplemento a Atti e Memorie della Comm. Grotte "E. Boegan", vol. XV: 1-13.

CUCCHI F., FORTI F., SEMERARO R. (1975): Studio geomorfologico della Grotta di Padriciano. Atti e Memorie della Comm. Grotte "E .Boegan", vol. XV: 21-55.

CUCCHI F., FORTI F., ULCIGRAI F. (1975): Relazioni tra tettonica e morfogenesi di doline del Carso triestino e monfalconese. Atti e Memorie della Comm. Grotte "E. Boegan", vol. XV: 57-71.

CUCCHI F. (1977): Note di geospeleologia. Atti del 3° Convegno di Speleologia del Friuli-Venezia Giulia; Gorizia, novembre 1977: 215-218.

CUCCHI F. (1977). Indizi di neotettonica in cavità. Atti del 3° Convegno di Speleologia del Friuli-Venezia Giulia; Gorizia, novembre 1977: 219-222.

CUCCHI F. (1978): Indagini strutturali su alcune cavità del Montello nordorientale. Mondo Sotterraneo, Nuova Serie, anno II, n° 1: 11-24.

CUCCHI F., FORTI F. (1979) Lo studio di attività tettonica recente in cavità carsiche a supporto della Carta Neotettonica d'Italia. Atti del IV Convegno di Speleologia del Friuli-Venezia Giulia; Pordenone, novembre 1979: 243-248.

CUCCHI F., FORTI F., SEMERARO R. (1979): Indizi di neotettonica in cavità della Val Rosandra. Atti e Memorie della Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XVIII: 105-111. (Pubbl. n° 25O, P.F. Geodinamica - S.P. Neotettonica)

BERLASSO G., CUCCHI F., GIORGETTI F., ULCIGRAI F. (1981): Prospezioni geofisiche in aree carsiche. Uno studio per la zona industriale di Trieste. Rassegna Tecnica del F.-V.G., N° 4-1981: 19-25

CUCCHI F., FINOCCHIARO F. (1981): Note sul carsismo ipogeo dell'altopiano di Gerchia (PN). Atti e Memorie della Comm. Grotte "E.Boegan", Vol. XXI: 19-29.

CUCCHI F., FORTI F. (1981). La "cattura" del Timavo superiore a Vreme. Atti e Memorie della Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXI: 55-64.

CUCCHI F., FORTI F. (1982). Esempio di carta della carsificabiltà epigea. Geologia Applicata e Idrogeologia, vol. XVII, 1982, Parte II: 495-505. Proc. 2° Symp. Int. "Utilisation of Karst areas", Bari, maggio 1982.

CUCCHI F., FORTI F., FORTI P. (1982): Movimenti recenti nel Carso triestino da analisi di concrezioni stalagmitiche. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 6 (1), 1983: 43-47.

CUCCHI F., FORTI F., FORTI P. (1982): Neotettonica nel Carso triestino da analisi di concrezioni stalagmitiche. Atti del V Convegno Regionale di Speleologia del F.-V.G., ottobre 1991, Trieste, 141-15.

CUCCHI F., ULCIGRAI F. (1982): Raffronti tra diverse metodologie di studio di un'area carsica. Geologia Applicata e Idrogeologia, vol. XVII, 1982, Parte II: 485-493. Proc. 2° Symp. Int. "Utilisation of Karst areas", Bari, maggio 1982.

CUCCHI F., FORTI F. (1983): Primi risultati dello studio di alcune sorgenti carsiche marine presso San Giovanni di Duino (TS). Mondo Sotterraneo, n.s. anno VII - n° 2, ottobre 1983. Atti del 6° Convegno regionale di Speleologia del F.-V.G., Udine, aprile 1983.

CUCCHI F., FORTI F., FORTI P. (1983): I paleodepositi di riempimento della "Grotta dell'ultimo Dinosauro" (TS). Atti e Memorie della Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXIII (1983): 35-46.

BERLASSO G., CUCCHI F., GIORGETTI F., ULCIGRAI F. (1984): Procèdes géophysiques sur terrains karstiques. Annales de la Société Géologique de Belgique, T. 108-1985: 141-146. Comptes rendus du "Colloque Int. de Karstologie appliquée", Liège, 31 may-3 juin 1984.

BRAMBATI A., CUCCHI F., ULCIGRAI F. (1984): Studio geologico-tecnico dell'area Opicina-Trebiciano-Fernetti. St. trent. Sc. nat., Vol. 5, Acta Geologica: 59-91.

CUCCHI F., FORTI F., FORTI P., PUGLIESE N. (1984): Dati speleologici a supporto della geologia. Natura Alpina, Vol. 36 - 1985, n° 2-3: 79-83. Atti del "VIII Convegno Regionale di Speleologia del Trentino-Alto Adige", Rovereto, dicembre 1984.

CUCCHI F., PUGLIESE N. (1984). Fenomeni paleocarsici al passaggio Cretacico-Terziario nel Carso triestino. St. trent. Sc. nat., Vol. 5, Acta Geologica: 95-100.

CUCCHI F. (1985): Note geomorfologiche e geologiche sul Carso goriziano e monfalconese: in Autori vari: "Il Carso isontino tra Gorizia e Monfalcone". Ed. LINT (I edizione e ristampa), Trieste: 37-53.

CUCCHI F. (1985). Contributi della speleologia a ricostruzioni paleoambientali. Il Carso, N.U., Gorizia 1985: 33-36.

BINI A., CUCCHI F., SAURO U. (1986). Karst phoenomena researches in Italy from 1977 to 1985. In: Caving in Italy, A. Cigna editor. Supplemento a: Speleologia, n°15, giugno 1986: 14-17.

CUCCHI F. (1986): Il Parco ed il Castello di Miramar. Morfologia e geologia. in: Autori vari: "Un giardino in riva al mare" Il parco di Miramar ieri e domani. Ed. Dedolibri, Trieste: 55-58.

CUCCHI F. (1986): L'imaginaire karstique. in: Autori vari: "L'imaginaire scientifique", Trouver Trieste - AISA - ISSA. Ed. La Editoriale Libraria, Trieste: 62-65.

CUCCHI F. (1986): Considerazioni sulla tettonica dell'area di Sistiana (Carso Triestino). Quad. Museo Geologico-Paleontologico. Monfalcone, N.S., Quad. 1986: 9-11.

CUCCHI F., FORTI F. (1986): Misure di dissoluzione di rocce carbonatiche: le ricerche a Trieste. Atti e Memorie della Comm. Grotte "E. Boegan", vol. XXV, Trieste 1986: 97-102.

CUCCHI F., FORTI P. (1986): Karst areas in Italy. Supplemento a: Grotte d'Italia, s.4, vol. 12, 1986: 1 tav.

CUCCHI F., GERDOL S. (a cura di) (1986): I marmi del Carso triestino. Ed. Camera di C.I.A.A. di Trieste: 1-195.

CUCCHI F., MELIS R., PALLINI M., PIRINI RADRIZZANI C., PUGLIESE N., ULCIGRAI F. (1986): Il passaggio Cenomaniano-Turoniano nell'area di Monrupino (Carso Triestino). Quad. Museo Geologico-Paleontologico. Monfalcone, N.S., Quad. 1986: 13-24.

BERLASSO G., CUCCHI F., GIORGETTI F., ZIZA W. (1987): L'utilizzo delle misure di resistività e di polarizzazione indotta nello studio dell'anisotropia delle rocce carbonatiche. Atti e Memorie della Comm. Grotte "E.Boegan", Vol. XXVI, Trieste 1987: 73-87.

BOCCALON G., CUCCHI F., FORTI P. (1987): The Hydrogeology of the Montello Karst area (Italy) Geolis, Vol. I (1987): 62-78. Acta do IV Symposio de Geologia Aplicada e do Ambiente - "Sistemas carsicos do Litoral Atlantico", Tomar (Portogal) 7-12 march 1987.

CUCCHI F., FINOCCHIARO F., VAIA F. (1987): Stop n°5, Val Rosandra area. Guidebook of excursion, Int. Symp. "Evolution of the karstic carbonate platform", Trieste, 1st-6th June 1987: 31-32

CUCCHI F., FORTI F. (1987): Misure in situ di corrosione di rocce carbonatiche. Atti XV Congr. Naz. Speleologia, Castellana Grotte, 1989, 623-634.

CUCCHI F., FORTI F., FINOCCHIARO F. (1987): Carbonate surface solution in the Classical Karst. Int. J. Speleology, 16 (3-4, 1987): 125-138.

CUCCHI F., FORTI F., STEFANINI S., ULCIGRAI F. (1987): Mesures de dégradation de roches carbonatées et d'accroissement de stalagmites. Spelunca Mémoires, n° 14: 87-90. Actes des "Journées Internationales de Karstologie", Metz-France, mai 1985.

CUCCHI F., PIRINI RADRIZZANI C., PUGLIESE N., CAFFAU M., IACONISSI D., PROTTI M., STOCCA G. (1987): Stop n° 4, Monte Grisa area. Guidebook of excursion, Int. Symp. "Evolution of the karstic carbonate platform" Trieste, 1st-6th June 1987: 25-30.

CUCCHI F., PUGLIESE N. (1987): Trzaski Kras: geologija in stratigrafia. (Il Carso triestino: geologia e stratigrafia). In "Clovek in trta" (L'uomo e la vite), Ed. Provincia Trieste, 108-113.

CUCCHI F., PUGLIESE N. (1987): The Karst of Trieste. Guidebook of excursion, Int. Symp. "Evolution of the karstic carbonate platform" Trieste, 1st-6th June 1987: 2-6.

CUCCHI F., PUGLIESE N., COLIZZA E., COSTA R;, MELIS R., PIRINI RADRIZZANI C., REBEZ A., ZUCCHI STOLFA M.L. (1987): Stop n°1, Zolla-Monrupino area. Guidebook of excursion, Int. Symp. "Evolution of the karstic carbonate platform" Trieste, 1st-6th June 1987: 7-12

CUCCHI F., PUGLIESE N., CAFFAU M., COLIZZA E., COSTA R., KNEZAUREK G., ULCIGRAI F. (1987): Stop n°2, San Pelagio area. Guidebook of excursion, Int. Symp. "Evolution of the karstic carbonate platform" Trieste, 1st-6th June 1987: 13-18.

CUCCHI F., PUGLIESE N., CAFFAU M., KLINGENDRAT A., ZUCCHI STOLFA M.L. (1987): Stop n°3, Cava Romana area. Guidebook of excursion, Int. Symp. "Evolution of the karstic carbonate platform" Trieste, 1st-6th June 1987: 19-23

STEFANINI S., ULCIGRAI F., FORTI F., CUCCHI F. (1987): Résultats expérimentaux sur la dégradation des principaux lithotypes du Karst de Trieste (Italie). Spelunca Memoires: n° 14, 91-94. Actes des "Journées Internationales de Karstologie", Metz-France, mai 1985.

CUCCHI F. (1988): Carsismo e speleologia negli studi per la valutazione di impatto ambientale. in SSI-CAI, Problemi di inquinamento e salvaguardia delle aree carsiche. Nuova Editrice Apulia, 1989:, 95-111.

CUCCHI F. (1988): L'attività della Società Speleologica Italiana nella cartografia carsica. Bollettino dell'A.i.c., n.13, 72-73-74 gen.-dic.1988, 325-338.

CUCCHI F., FORTI F. (1988): La stazione di misura della dissoluzione superficiale a Borgo Grotta Gigante (Carso triestino, Italia). Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXVIII: 87-93.

CUCCHI F., FORTI P. (1988): Speleogenetic evolution of the "Fiume Vento" karst system (San Vittore Genga, Marche, Italy). Int. Symp. on physical, chemical and hydrological research of Karst, Kosice - Czechoslovakia, May 1988, S.S.S. CSSR 1989: 193-199.

CUCCHI F., GERDOL S. (1988): Le cave del Carso triestino. Atti Conv., Naz. A.N.I.M. "Attività estrattiva, Pianificazione delle risorse e salvaguardia dell'ambiente", 200-202.

BINI A., CUCCHI F., FORTI P:, PANZICA LA MANNA M. (1989): Evoluzione speleogenetica con particolare riguardo alla Grotta di Santa Ninfa. Mem. Ist. It. Speleol., mem. 3, s. II, 161-167.

COLIZZA E., CUCCHI F., ULCIGRAI F. (1989): Caratteristiche geolitologiche e strutturali del "Membro di Rupingrande" della "Formazione dei Calcari del Carso Triestino". Bollettino Soc. Adriatica di Scienze, Vol. LXXI-1989, 21°ns: 29-46.

COLIZZA E., COSTA R., CUCCHI F., KNEZAUREK G., PIRINI RADRIZZANI C., PUGLIESE N., ULCIGRAI F., ZUCCHI STOLFA M.L. (1989): The geology of the San Pelagio area (Karst of Trieste, Italy). Mem. Soc. Geol. Ital., Vol. XL (1987), Trieste: 45-51. Proc. of "Int. Symp. on "Evolution of the karstic carbonate platform", Trieste, 1st-6th June 1987.

CUCCHI F. (1989): Analisi delle caratteristiche morfostrutturali delle cavità dell'area di S. Ninfa. Mem. Ist. It. Speleol., mem. 3, s. II, 93-100.

CUCCHI F. (1989): Preliminary map of the impact of man on karstic environments in Italy. Carta in scala 1:1.000.000.

CUCCHI F., FINOCCHIARO F., VAIA F. (1989): The geology of T. Rosandra Valley (Karst of Trieste, Italy). Mem. Soc. Geol. Ital., Vol. XL (1987) Trieste: 67-72. Proc. of "Int. Symp. on "Evolution of the karstic carbonate platform", Trieste, 1st-6th June 1987.

CUCCHI F., GRIFFI G., PUGLIESE N. (1989): Considerazioni sul Membro di Monte Coste (area di Sales - Carso triestino). Rend. Soc. Geol. It., 11 (1988): 239-240.

CUCCHI F., PIRINI RADRIZZANI C., PUGLIESE N. (1989): The carbonate stratigraphic sequence of the Karst of Trieste (Italy). Mem. Soc. Geol. Ital., Vol. XL (1987), Trieste: 35-44. Proc. of "Int. Symp. on "Evolution of the karstic carbonate platform", Trieste, 1st-6th June 1987.

CUCCHI F., PUGLIESE N., ROSSI G. (1989): Geologia dell'area di Monte Spaccato (Carso triestino). Rend. Soc. Geol. It., 11 (1988): 237-238.

CUCCHI F., FORTI P. (1990): Prime datazioni assolute su una stalagmite del Carso triestino. Acta Carsologica (Krasoslovni Zbornik), XVIII (1989), Ljubljana: 53-64.FORTI P. (1990): Evoluzione speleogenetica del complesso carsico Grotta del Fiume-Grotta del Vento (San Vittore Genga-Marche). in "Il carsismo della Gola di Frasassi" a cura di S. Galdenzi e M. Menichetti. Mem. Ist. It. Speleol., mem. 4, s.II, 143-154.

CUCCHI F., PUGLIESE N., ULCIGRAI F. (1990): Il carso triestino: note geologiche e stratigrafiche. Int. J. Speleol., 18 (1-2), 1989: 49-64.

CUCCHI F., RADOVICH N., SAURO U. (1990): I campi solcati di Borgo Grotta Gigante nel Carso triestino. Int. J. Speleol., 18 (3-4), 1989: 117-144, 1 f.t.

CARULLI G.B., CUCCHI F. (1991): Proposta di interpretazione strutturale del Carso triestino. Atti Ticinensi di Scienze della Terra, vol. 34 (1991):, 161-166.

COLIZZA E., CUCCHI F., ULCIGRAI F. (1991): Note sull'evoluzione tardo-cretacica della piattaforma carbonatica del Carso triestino. Rend. Soc. Geol. It., 14(1991), fasc.1, 35-36.

CUCCHI F., FINOCCHIARO F., PRINCIVALLE F. (1992): Yellow sands with gibbsite in sediments of the Pocala Cave: paleoenvironmental considerations. Acta carsologica, XXI (1992), Ljubljana: 157-165.

CUCCHI F., FORTI P., ULCIGRAI F. (1993): Valori di dissoluzione di rocce carbonatiche. Video VHS, P&F Action Video – Trieste, 13 minuti.

CUCCHI F. (1994): Geologia dell'area di San Giovanni al Timavo. Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXXI (1992-1993): 49-58.

CUCCHI F., FORTI P., PICCINI L. (1994): Il sistema carsico di Pietrasecca. Carta a 2 colori 100x70cm scala 1:1000 in "L'area carsica di Pietrasecca (Carseoli-Abruzzo), Mem. Ist. It. Speleol., mem 5, s.II.

CUCCHI F., FORTI F., ULCIGRAI F. (1994). Znizevanje krskega povrsja zaradi korozije (Valori di abbassamento per dissoluzione di superfici carsiche). Acta Carsologica, XXIII (1994), 55-61, Ljubljana.

CUCCHI F., GIORGETTI F., PILLININI F. (1994): Risultati di indagini elettromagnetiche eseguite sul Carso triestino. Atti e Memorie Comm. Grotte "E .Boegan", Vol. XXXI (1992-1993), 85-92.

CUCCHI F., ULCIGRAI F. (1994): Evoluzione del carsismo ipogeo dell'area di Pietrasecca (Abruzzo, Italia Centrale): il condizionamento geostrutturale. Mem. Ist. It. Speleol., mem. 5, s.II: 55-60.

CAFFAU M., CUCCHI F., DROBNE K., GALVANI R., PLENICAR M., PUGLIESE N., TURNSEK D. (1995): Stop 3: Padriciano. Atti Riunione Gruppo Informale CNR "Paleobenthos", Mus. Geol. Paleont. Monfalcone, Quad. spec. 3: 123-133, Monfalcone.

CIVITA M., CUCCHI F., EUSEBIO A., GARAVOGLIA S., MARANZANA F. VIGNA B. (1995): The river Timavo: an important supplementary water resource which needs to be protected and regained. Acta Carsologica, XXIV, 1995, 169-186, Ljubljana.

COVELLI S., CUCCHI F., MOSCA R. (1995): Il chimismo delle acque di stillicidio della Grotta Gigante (Trieste, Italia). Proc. of Int. Symp. on touristic caves and monitoring,(a cura di A. Cigna), Frabosa Soprana (Cuneo, mar.'95), 231-240.

CUCCHI F. (1995): L'acqua e il Carso. In "Carso, geologia, biologia, preistoria". Ed. Laboratorio Immaginario Scientifico, 4-33, Trieste.

CUCCHI F. (1995): Condizionamento litologico-strutturale delle cavità nei gessi di S.Ninfa. Atti 1° Conv. Reg. Speleologia della Sicilia (Ragusa, dic. '90), Vol. 1°: 36-46

CUCCHI F. (1995): Il carsismo con riferimenti al carsismo del Montello. Montello e carsismo, ed. Montelliana, Nervesa della Battaglia, 41-53..

CUCCHI F., FORTI F., MARINETTI E. (1996): Surface degradation of carbonate rocks in the Karst of Trieste (Classical Karst, Italy). in Karren Landforms, Joan J. Formos i A. Ginés Ed., Palma, 1996, 41-51.

DOLENEC R., CUCCHI F., GIACOMICH R., MARTON E., OGORELEC B. (1995): Abiotic characteristics of carbonate rocks from the K/T boundary on the Karst area (isotopes, geochemistry, geochronology and paleomagnetism). in Montanari & Coccioni Eds. 4th Int. Workshop of ESF on "Impact Cratering and Evolution of Planet earth" (Ancona, may 12-17): 68-69,

ERASO A., CUCCHI F., FERNANDEZ J., de la ORDEN J.A., TORELLI L. (1995): Application of the directional prediction method to the drainage of the Reka-Timavo underground river. Acta Carsologica, XXIV (1995), Ljubljana: 187-202.

OGORELEC B., DOLENEC T., CUCCHI F., GIACOMICH R., DROBNE K., PUGLIESE N. (1995): Sedimentological and geochemical characteristics of carbonate rocks from the K/T boundary to Lower Eocene on the Karts area (NW Adriatic platform). Proc. of 1st Croatian Geol. Congress (Opatija), 415-42,. Zagreb.

BENEDETTI G., CUCCHI F. (1996): Cavità del Monte Pal Piccolo (Alpi Carniche - Italia). in Alpine Caves: alpine karst systems and their environmental context, 61-69.

BRAZZATI T., CAFFAU M., COZZI A., CUCCHI F., DROBNE K., PUGLIESE N. (1996): Padriciano section (Karst of Trieste, Italy). in K. Drobne, S. Gorica, B. Kotnik Eds. The role of Impact processes in the geological and biological evolution of Planet earth: 189-198.

CUCCHI F., GIACOMICH R., COSLOVICH C., GIACOMICH P., VASCOTTO M. (1996): Il Radon nei calcari e nelle cavità del carso triestino. Stato delle conoscenze. Boll. Soc. Adriatica di Scienze, vol. LXXVII (1996), 31-47.

CUCCHI F., PUGLIESE N: (1996): Karst of Trieste. in K. Drobne, S. Gorica, B. Kotnik Eds. The role of Impact processes in the geological and biological evolution of Planet earth: 133-136.

ZANOLLA C., COREN F., CUCCHI F., GIORGETTI F., LOVO M. (1996): Elaborazione dei dati gravimetrici in corrispondenza della Grotta gigante (Carso classico, Trieste, Italia). Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXXIII (1995), 17-24.

CUCCHI F., FORTI F., HERBRETEAU P. (1997): Misure sulla dissoluzione carsica: la stazione di Pradis (Prealpi Carniche). Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXXIV (1996), 49-54.

CUCCHI F., GEMITI F., MANCA P., SEMERARO R. (1997): Underground water tracing in the east part of the karst of Canin massif (Western Julian Alps). Ipogea, n.2 (1997), 141-150.

CUCCHI F., GIORGETTI F., MARINETTI E., KRANJC A: (1997): Experiences in monitoring Timavo River (Classical Karst). Tracer Hydrology 97, Kranic (ed.), 1997 Balkema-Rotterdam, 213-218.

CUCCHI F., MIHEVC A., FERRARESE F., SAURO U. (1997): Guide for the excursion Classical karst (Meeting IUS 1997). Suppl. Geogr. Fis. Dinam. Quat., III T.2, 167-180, 19 figg.

VASCOTTO M., CUCCHI F., GIACOMICH R., GIACOMICH P. (1998): Radioattività naturale sul Carso triestino. Alpi Giulie, 92/1, 39-54.

COVELLI S., CUCCHI F., MOSCA R. (1998): Monitoring of percolation water to discriminate surficial inputs in a karst aquifer. Environmental Geology 36, (3-4) December 1988, 296-304, Springer-Verlag,Germany. Pubbl. n°1666 del GNDCI, LR4.

CUCCHI F., POTLECA M., ZINI L. (1998): Origin and development of cave system in the Rosandra Valley (Classical Karst – Italy). Acta Carsologica, Vol. 27/2, 1998, 63-74, Ljubljana.

FORTI P., CUCCHI F. (1998): Study of the intrinsic vulnerability for the catchment areas of two large karst springs in the Brescia Pre-Alps (Italy). Proceedings of 2nd Int. Symposium on Karst Water Resources. Teheran-Kermanshah, I.R..Iran, July 1998, ed. A.Afrasabian, 34-78, Tehran. Pubbl. n°1882 del GNDCI, LR4.

CUCCHI F., MARINETTI E., ZINI L. (1999). Monitoraggio in continuo delle acque carsiche presso le sorgenti del Livenza e Timavo. Atti "Convegno nazionale sull'inquinamento delle grotte e degli acquiferi carsici e possibili ricadute sulla collettività", Ponte di Brenta, settembre 1998, 63-72, Padova. Pubbl. n°2055 del GNDCI, LR4.

CASAGRANDE G., CUCCHI F., MANCA P., ZINI L. (1999): Deep hypogean karst phenomena of Mt. Canin (Western Julian Alps): a synthesis of the state of present research. Acta Carsologica. 28/1, 1999, 57-69, Ljubljana.

CREVATIN G., CUCCHI F., MARINETTI E., ZUPPIN C. (1999): Strumentazione per il monitoraggio in continuo di acque carsiche; Mondo Sotterraneo, n.s., anno XXI, n°1-2 aprile-ottobre 1997: 13-24, Udine. Pubbl. n°1878 del GNDCI, LR4.

FORTI P., CUCCHI F. (1999): Recent development in "Classical Karst" hydrogeological knowledge. Book of Abstract Int. Workshop "Groundwater pollution in Karst", Ljubljana 4-6 Novembre 1999. 12-13.

FORTI P., CUCCHI F., Piccini L., Picotti V., Fustini R., Marinetti E., Massari, G. Zini L. (1999): Integrated Vulnerability Map of Paitone and Botticino Karst Springs (Brescia, Italy) by the Point Count System model SINTACS. Proc. Int. Symp. Engineering Geology, Kathmandu, Nepal, J. Nepal Geol. Soc. 20, p. 122

FORTI P., CUCCHI F., Piccini L., Picotti V., Fustini R., Marinetti E., Massari, G. Zini L. (1999): Carta della vulnerabilità integrata all'inquinamento degli acquiferi carsici delle porzione meridionale delle Prealpi Bresciane 1:10.000. DBmap Firenze, Pubbl. n. 1971 del GNDCI, LR4.

MONTAGNARI KOKELJ E., CUCCHI F., GUIDI P., ARIAS C., BOSCHIAN G. (1999): "Progetto Grotte": un approccio interdisciplinare. Atti VIII Conv. Reg. Speleologia F.-V.G., 229-232.

CUCCHI F. (2000): Il carsismo epigeo ed ipogeo – Escursione B2. In "Guida alle escursioni della 80a Riunione Estiva della SGI", Ed. Università di Trieste, 207-234.

CUCCHI F., CASAGRANDE G., MANCA P. (2000): Le forme glacio-carsiche – Escursione A, 3a giornata. In "Guida alle escursioni della 80a Riunione Estiva della SGI", Ed. Università di Trieste, 90-96

CUCCHI F., CASAGRANDE G., MANCA P. (2000): Chimismo ed idrodinamica dei sistemi sorgivi del massiccio del M. Canin (Alpi Giulie Occidentali). Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXXVII (1999), 93-123. Pubbl. n°2164 del GNDCI, LR4.

CUCCHI F., CASAGRANDE G., GEMITI F., MANCA P. Predonzan S., Vigna B. (2000): Nuove prove con traccianti sul massiccio carsico del M. Canin: metodologie e risultati. Gortania, Vol. 22 (2000), 39-58, Udine. Pubbl. n°2203 del GNDCI, LR4.

CUCCHI F., FURLANI S., MARINETTI E. (2000): Monitoraggio in continuo del livello del lago di Doberdò. Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. XXXVII (1999), 143-153. Pubbl. n°2165 del GNDCI, LR4.

CUCCHI F., FORTI P., MARINETTI E., ZINI L. (2000): Recent developments in knowledge of the hydrogeology of the "Classical Karst". Acta Carsologica, Vol. 29, No. 1-4, Ljubljana 2000, 55-78

CUCCHI F., MARINETTI E:, MASSARI G., ZINI L. (2000): Carta della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero carsico triestino ed isontino. Le Grotte d'Italia, s.V, 1 (2000), 21-31. Pubbl. n°1938 del GNDCI, LR4.

BRATUS A., CUCCHI F. (2000): Le classificazioni geomeccaniche nello studio di fattibilità delle gallerie in area carsica. Rassegna Tecnica del Friuli-Venezia Giulia, anno LI, gen-feb 2000, 31-34.

CIGNA A., CUCCHI F., FORTI P. (2000): Engineering problems in developing and managing show caves. Journal of Nepal Geological Society, 2000, Vol. 22, 85-94, Katmandu, Nepal.

CUCCHI F., CASAGRANDE G:, MANCA P. ZINI L: (2001): La Grotta Meravigliosa di Lazzaro Yerko: Geologia e geomorfologia, note preliminari. Progressione 43, anno XXIII, n. 2, dicembre 2000, 57-61, Trieste.

CUCCHI F., CASAGRANDE G:, MANCA P. ZINI L. (2001): Il Timavo ipogeo tra l'Abisso di Trebiciano e la Grotta Meravigliosa di Lazzaro Yerko (Carso Classico triestino, Italia). Le Grotte d'Italia, s. V, 2 (2001), 39-48, Iesi.

ANDRIANI F., CUCCHI F., MARINETTI E., ZINI L., (2001): Doline di crollo e doline di dissoluzione nel Carso triestino. Studi Trentini di Scienze Naturali – Acta Geologica, v. 77 (2000), pp. 119-126, Trento 2001.

AYUB S., CUCCHI F., FORTI P., ZINI L., (2001): Pollution Integrate Vulnerability Map for the acquifer of the Perolas – Santana, Grilo and Zezo karst systems (Sao Paulo, Brazil). Carta a colori 100x140cm, alla scala 1:10.000. Editoriale San Giusto, Trieste. Pubbl. n°2415 del GNDCI, LR4.

FORTI P., CUCCHI F., AYUB S. (2001): Le "marmitte di corrosione" della Grotta Perolas (San Paolo, Brasile). Le Grotte d'Italia, s. V, 2 (2001), 15-24, Iesi.

AYUB S., CUCCHI F., FORTI P., ZINI L., (2001): Avaliacao da vulnerabilitade intrinseca a poluicao de aquiferos carsticos em ambientes tropicais atraves da utilizacao do programa SINTACS. Proceedings of SpeleoBrazil 2001, 301-310, Brasilia 2001. Pubbl. n°2238 del GNDCI, LR4.

CUCCHI F. (2002): Il carsismo. In Alpi e Prealpi Carniche e Giulie. Guide Geologiche Regionali – S.G.I., 107-108, BE-MA ed., Milano.

CUCCHI F., PIANO C. (2002): Ipercarsismo nelle evaporiti del Friuli-Venezia Giulia. In Le voragini catstrofiche. Un nuovo problema per la Toscana. Edizioni Regione Toscana, 35-46, Firenze 2002.

CUCCHI F., PUGLIESE N. (2002): Prima parte Itinerario 2: dal Carso alle Prealpi Giulie Meridionali. In Alpi e Prealpi Carniche e Giulie. Guide Geologiche Regionali – S.G.I., 136-141, BE-MA ed., Milano

CUCCHI F., ZINI L. (2002): Underground Timavo River monitoring (Classical Karst). Acta Carsologica, Vol. 31/1, 2002, 75-84, Ljubljana. Pubbl. n° 2503 del GNDCI, LR4

CUCCHI F. & ZINI L. (2002): Considerations on the speleogenesis in the Trieste Classical Karst. Mem. Soc. Geol. It., 57 (2002), 481-486, 5ff. Pubbl. n° 2305 del GNDCI, LR4

CUCCHI F., ZINI L. (2002): Rosandra Valley, S. Lorenzo: geological framework. In: EMM'2002, Field excursion Guide., 34-35, DiSGAM-UNITS Ed., Trieste.

CUCCHI F. & ZINI L. (2002): Carta geomorfologica e strutturale del Carso Triestino alla scala 1:50.000. Field Excursion Guide of the Third Int. Congr. "Environmental Micropaleontology, Microbiology and Meiobenthology" - EMMM'2002. Ed. J. Hohenegger, R. Melis, P. Pervesler, N. Pugliese, 45 pp., Trieste.

CUCCHI F., CASAGRANDE G., MANCA P. (2002): Il contributo della speleologia alle conoscenze geologiche ed idrogeologiche del Massiccio del M. Canin (Alpi Giulie, ITA-SLO). Mem. Soc. Geol. It., 57 (2002), 471-480, 8ff. Pubbl. n° 2241 del GNDCI, LR4

CUCCHI F., MARINETTI E., POTLECA M., ZINI L. (2002): Influence of geostructural conditions on the speleogenesis of the Trieste Karst (Italy). Geologica Belgica 2001 (vol. Karst & Tectonics) 4/3-4: 241-250, Brussels, Belgium. Pubbl. n°2213 del GNDCI, LR4

CUCCHI F., PIANO C. (2003): Il carsismo nei gessi delle Regioni Italiane: Friuli Venezia Giulia. In: "Le aree carsiche gessose d'Italia", a cura di G. Madonia e P Forti, Ist. It. di Speleologia, Mem. XIV, s. II, 149-154.

CUCCHI F., ZINI L. (2003): Gypsum karst of Zagros Mountains (I.R. Iran). Acta Carsologica, Vol. 32, No. 1, Ljubljana 2003, 69-82.

MONTAGNARI KOKELJ E., CUCCHI F., MAZZOLI T., MEREU a., ZINI L. (2003): GIS and caves: an example from the Trieste Karst (Nort-Eastern Italy). British Archaeological Reports (BAR), Int. Series 1145-2003, 63-71.

CUCCHI F. (2004): 58. Forme del carsismo classico. In: ITALIA Atlante dei tipi geografici. Ed. Istituto Geografico Militare, Firenze 2004, 300-302.

DEL NEGRO D., ZINI L., MOCCHIUTTI A., CUCCHI F., FORTI P. (2004): "Contamination Integrate Vulnerability Map for the Karst Aquifer of Mt. Covria (Avasinis, Friuli, Italy)" Carta a Colori 100 x 70 cm, alla scala 1:10.000 con al rovescio: "The Hydrogeological Map for the Karst Aquifer of Mt. Covria). Stella Arti grafiche s.r.l., Trieste, Pubbl. n. 2861 del GNDCI, LR4.

FORTI P., CUCCHI F., DEL NEGRO D., ZINI L. (2004): "The SINTACS method to evaluate the vulnerability to contamination map for the karst area of Mt. Covria (Avasinis, Friuli, Italy)". In: Proceedings of the International Transdisciplinary Conference on Development and Conservation of Karst Regions Trans-KARST 2004. Hanoi, Vietnam, 13-18 September 2004.

CUCCHI F., FORTI P., ZINI L. (2005): The vulnerability of complex karst hydrostructures: Problems and perspectives. Geofisica Internacional (2004), Vol. 43, Num. 4, pp533-540.

CUCCHI F., MEREU A., OBERTI S., PIANO C., ROSSI A. & Zini L. (2005): Geology and geomorphology of the "Rosandra" valley for a cultural enhancement. Il Quaternario, 18(1), 2005, 185-196.

BORSATO A., CUCCHI F., FRISIA S., MIORANDI R., PALADINI M., PICCINI L., POTLECA M., SAURO U., SPOTL C., TUCCIMEI P., VILLA I.M., ZINI L. (2005): Ricostruzione climatica degli 17.000 anni da una stalagmite della Grotta Savi (Trieste, Italia). Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol., 80 (2003), 111-125.

CASAGRANDE G., CUCCHI F., ZINI L. (2005): Hazard connected to railway tunnel construction in karstic area: applied geomorphological and hydrogeological surveys. Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 5, Num. 2, 2005, pp 243-250.

FRISIA S., BORSATO A., SPOTL C., VILLA I.M., CUCCHI F., (2005): Climate variability in the SE Alps of Italy over the past 17000 years reconstructed from a stalagmite record. Boreas 34 (2005), 445-455.

SAMEZ D., CASAGRANDE G., CUCCHI F., ZINI L. (2005): Idrodinamica dei laghi di Doberdò e di Pietrarossa (Carso Classico, Italia): relazioni con le piene dei fiumi Isonzo, Vipacco e Timavo. Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan", Vol. 40 (2004), 13-152.

STOYKOVA D., SHOPOV Y., SAURO U., BORSATO A., CUCCHI F., FORTI P., (2005): High-resolution luminescence speleothemi records from Savi Cave, Trieste, NE Italy. Studi Trent. Sci. Nat., Acta Geol., 80 (2003), 169-173.

ZINI L., CUCCHI F., CASAGRANDE G. (2005): Monitoring of Timavo springs karst area in order to plan the advance of a tunnel boring machine (tbm). Proceedings of "Aquifer Vulnerability and Risk - 2nd Workshop and 4th National Congress on the Protection and Management of Groundwater", Reggia di Colorno (PR), ITALY, 21–23 September 2005. ID 186, CD allegato agli Abstract, Section Monitoring to support decisions, 7 pp, 3 fig.

CUCCHI F., FORTI F., FURLANI S. (2006): Lovering rates of limestone along the Western Istrian shoreline and the Gulf of Trieste. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 29 (2006), 61-69, 6 figg., 2 tabb.

ZINI L., FORTI P., CUCCHI F. (2006): La carta delle vulnerabilità intrinseca ed integrata alla contaminazione per l'area carsica del Monte Covria (Friuli, Italia). IGEA - Ingegneria e Geologia degli Acquiferi, n. 21-2006, 19-26.

CUCCHI F., ZINI L. (2007). Le acque del Carso Classico. In L'acqua nelle aree carsiche in Italia, a cura di F. Cucchi, P. Forti & U. Sauro, Mem. Ist. It. Spel., serie II, Vol. XIX, 33-40, Bologna 2007.

CASAGRANDE G., CUCCHI F. (2007). L'acquifero carsico del Monte Canin, spartiacque tra Adriatico e Mar Nero. In L'acqua nelle aree carsiche in Italia, a cura di F.Cucchi, P.Forti & U.Sauro, Mem. Ist. It. Spel., serie II, Vol. XIX, 57-64, Bologna 2007.

BENSI S., FANUCCI F., JERNEJ PAVSIC, TUNIS G. & CUCCHI F., (2007): Nuovi dati biostratigrafici, sedimentologici e tettonici sul Flysch di Trieste. Rend. Soc. Geol. It., 4 (2007), Nuova Serie, 145.

FURLANI S., CUCCHI F., FORTI F., ROSSI A. (2009): Comparison between coastal and inland Karst limestone lowering rates in the northeastern Adriatic Region (Italy and Croatia). Geomorphology 104 (2009), 73-81.

ZINI L. & CUCCHI F., FRANCESCHINI G., TREU F. (2009): Caratteristiche idrologiche e geochimiche delle riserve acquifere sotterranee della pianura del Friuli Venezia Giulia. Gortania, 30 (2008), 5-30.

CUCCHI F. & ZINI L. (a cura di) (2009): Paesaggi carsici nel Friuli Venezia Giulia. Ed. DiSGAM_Università di Trieste – R.A. Friuli Venezia Giulia, Tipografia Stella Arti Grafiche, Trieste,112 pp.

DE WAELE J., FORTI P., PICOTTI V., GALLI E., ROSSI A., BROOK G, ZINI L., CUCCHI F. (2009) "Cave deposits in Cordillera De La Sal (Atacama, Chile)". In: Geological Constraints on the Onset and Evolution of an Extreme Environment: the Atacama Area, GeoActa, Sp. Publ. 2, 97-111, Bologna.

DE WAELE J., PICOTTI V., ZINI L., CUCCHI F. AND FORTI P. (2009). "Karst phenomena in Cordillera De La Sal (Atacama, Chile)". In: Geological Constraints on the Onset and Evolution of an Extreme Environment: the Atacama Area, GeoActa, Sp. Publ. 2, 113-127, Bologna.

CUCCHI F., FURLANI S., BURELLI G., ZINI L., TRETIACH M. (2009): Variazioni microtopografiche di superfici carbonatiche colonizzate da licheni endolitici (Carso giuliano, Maiella). Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan",, Vol. 42, pp. 67-84.

FURLANI S. BIOLCHI S., CUCCHI F., BENSI S., BURELLI G. (2009): Surveying of a submerged flysch outcrop at Sistiana-Duino (Gulf of Trieste, Italy). Atti e Memorie Comm. Grotte "E. Boegan",, Vol. 42, pp. 85-94.

FURLANI S., CUCCHI F. & ODORICO R. (2010): A new method to study microtopographical changes in the intertidal zone: one year of TMEM measurements on a limestone removable rock slab (RRS). Zietschrift für Geomorphologie, Vol. 2, Suppl. 2, 137-151, Stuttgard, März 2010.

3.5 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte sono costituite:

- dai proprietari delle aree che subiranno espropri per la realizzazione dell'opera;

- le associazioni impegnate nella tutela del territorio e nell'attività speleologica;
- dagli enti pubblici preposti alla difesa del territorio ed in particolare degli elementi caratterizzanti del carsismo.

Con riferimento in particolare a questi ultimi ci si attende che la componente ambientale in questione risulti estremamente significativa.

4 RUMORE

4.1 Riferimenti legislativi

Vengono di seguito riportati i principali riferimenti normativi attualmente vigenti sull'inquinamento acustico.

4.1.1 Normativa Nazionale

4.1.1.1 DPCM 1 marzo 1991

Il DPCM 01/03/91 è stato redatto con l'obiettivo di stabilire *«...i limiti di accettabilità dei livelli di rumore, validi su tutto il territorio nazionale, quali misure immediate ed urgenti di salvaguardia della qualità ambientale e dell'esposizione urbana al rumore, in attesa dell'approvazione dei decreti attuativi della Legge Quadro in materia di tutela dell'inquinamento acustico, che fissi i limiti adeguati al processo tecnologico ed alle esigenze emerse in sede di prima applicazione del presente decreto».*

Il Decreto individua sei classi di aree in cui suddividere il territorio dal punto di vista acustico (Tab. 4.1), fissando inoltre i limiti massimi di accettabilità di livello sonoro equivalente, ponderato A, LEQ in dB(A), per ciascuna delle sei classi, distinguendo tra il periodo diurno (dalle ore 06.00 alle ore 22.00) ed il periodo notturno (dalle ore 22.00 alle ore 06.00) (Tab. 4.2).

La zonizzazione acustica deve essere redatta dai Comuni sulla base di indicatori di natura urbanistica e territoriale, quali ad esempio la densità di popolazione, la tipologia dei ricettori, la presenza di attività produttive, la presenza e le caratteristiche delle infrastrutture di trasporto, ecc.

L'obiettivo di tale zonizzazione dovrebbe essere quello di prevenire il deterioramento di zone del territorio comunale non ancora inquinate, dal punto di vista acustico, oltre a quello di risanare le aree in corrispondenza delle quali sono attualmente riscontrabili livelli sonori elevati, e/o comunque non compatibili con le caratteristiche dei ricettori presenti.

CLASSE I **Aree particolarmente protette** Rientrano in questa classe le aree nelle quali la quiete rappresenta un elemento di base per la loro utilizzazione: aree ospedaliere, scolastiche, aree destinate al riposo e allo svago, aree residenziali rurali, aree di particolare interesse urbanistico, parchi pubblici, ecc.
CLASSE II **Aree destinate ad uso prevalentemente residenziale** Rientrano in questa classe le aree urbane interessate prevalentemente da traffico veicolare locale con bassa densità di popolazione, con limitata presenza di attività commerciali ed assenza di attività industriali ed artigianali.
CLASSE III **Aree di tipo misto**

Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da traffico veicolare locale e di attraversamento, con media densità di popolazione con presenza di attività commerciali, uffici, con limitata presenza di attività artigianali e con assenza di attività industriali; aree rurali interessate da attività che impiegano macchine operatrici.
CLASSE IV **Aree di intensa attività umana** Rientrano in questa classe le aree urbane interessate da intenso traffico veicolare, con alta densità di popolazione, con elevata presenza di attività commerciali e uffici, con presenza di attività artigianali; le aree in prossimità di strade di grande comunicazione e di linee ferroviarie; le aree portuali; le aree con limitata presenza di piccole industrie.
CLASSE V **Aree prevalentemente industriali** Rientrano in questa classe le aree interessate da insediamenti industriali e con scarsità di abitazioni.
CLASSE VI **Aree esclusivamente industriali** Rientrano in questa classe le aree esclusivamente interessate da attività industriali e prive di insediamenti abitativi

Tab. 4.1 - DPCM 1/3/91: Definizione delle classi di zonizzazione acustica del territorio

DESTINAZIONE D'USO TERRITORIALE		**DIURNO 6:00÷22:00**	**NOTTURNO 22:00÷6:00**
I	Aree protette	50	40
II	Aree residenziali	55	45
III	Aree miste	60	50
IV	Aree di intensa attività umana	65	55
V	Aree prevalentemente industriali	70	60
VI	Aree esclusivamente industriali	70	70

Tab. 4.2 - DPCM 1/3/91 - Limiti di immissione di rumore per comuni che adottano una zonizzazione acustica del territorio

In attesa che i Comuni redigano la zonizzazione acustica, l'Art. 6 del citato Decreto prevede, per le sorgenti sonore fisse, l'immediata applicabilità di limiti transitori, ripresi dal Decreto Ministeriale del 2/4/1968, che sono stati determinati in funzione della densità abitativa, dell'altezza degli edifici e della distanza degli stessi, dei rapporti massimi tra gli spazi destinati agli insediamenti abitativi e produttivi e gli spazi pubblici.

Tali limiti di accettabilità sono di seguito riportati:

ZONA	DIURNO 6:00÷22:00	NOTTURNO 22:00÷6:00
Tutto il territorio nazionale	70	60
Zona A	65	55
Zona B	60	50
Zona esclusivamente industriale	70	70

Tab. 4.3 - DPCM 1/3/91 - Limiti di accettabilità di rumore per Comuni che non hanno ancora adottato una zonizzazione acustica del territorio

Zona A - Comprende le parti del territorio interessate da agglomerati urbani che rivestono carattere storico, artistico o di particolare pregio ambientale, o di porzioni di essi, comprese le aree circostanti, che possono considerarsi, per tali caratteristiche, parte integrante degli agglomerati stessi.

Zona B - Comprende le parti del territorio totalmente o parzialmente edificate, ma diverse da A; si considerano parzialmente edificate le zone in cui la superficie coperta degli edifici esistenti non sia inferiore al 12.25% della superficie fondiaria della zona, e nelle quali la densità territoriale sia superiore ad 1,25 mc/mq.

Per le zone non esclusivamente industriali, un altro criterio di valutazione indicato dal DPCM 01/03/91 è quello contenuto nell'Art. 6 comma 2, vale a dire il «Criterio differenziale», che valuta il disturbo rispetto all'incremento che genera sul rumore di fondo e non sulla sua intensità assoluta.

Il Decreto stabilisce che le differenze da non superare tra il livello del rumore ambientale e quelle del rumore residuo, sono rispettivamente di 5 dB(A) per il periodo diurno e di 3 dB(A) per il periodo notturno.

4.1.1.2 Legge quadro sul rumore, n. 447/95

La «*Legge Quadro sul Rumore n.447*» del 26/10/1995, pubblicata sulla G.U. del 30/10/1995 n. 254, è una legge di principi, che rimanda a successivi strumenti attuativi la definizione puntuale delle norme tecniche e dei parametri di riferimento.

Nell'Art. 2 vengono introdotte le definizioni di valore di attenzione e valore di qualità, da aggiungere a quello di valore limite indicato dal precedente Decreto.

Nell'Art. 4 si richiamano i Comuni a procedere alla redazione delle zonizzazioni acustiche nel loro territorio, secondo i criteri indicati dal DPCM 01/03/91.

La Legge n. 447 stabilisce che le Regioni, entro un anno dalla sua entrata in vigore, devono definire i criteri del territorio comunale, fissando il divieto di contatto diretto di aree, anche appartenenti a comuni confinanti, quando i valori di qualità si discostano in misura superiore a 5 dB(A).

L'adozione della zonizzazione acustica è il primo passo concreto con il quale il Comune esprime le proprie scelte, in relazione alla qualità acustica da preservare o da raggiungere nelle differenti porzioni del territorio comunale e, altresì, costituisce il momento che presuppone la tempestiva attivazione delle funzioni pianificatorie, di

programmazione, di regolamentazione, autorizzatorie, ordinatorie, sanzionatorie e di controllo nel campo del rumore indicate dalla Legge Quadro.

I Comuni che presentano rilevante interesse paesaggistico o turistico hanno la facoltà di assumere valori limite di emissione ed immissione, nonché valori di attenzione e di qualità inferiori a quelli stabiliti dalle disposizioni ministeriali, nel rispetto delle modalità e dei criteri stabiliti dalla legge regionale.

La Legge prescrive, inoltre, l'obbligo di adozione del piano di risanamento acustico, nel rispetto delle procedure e degli eventuali ulteriori criteri stabiliti dalla Legge Regionale, nei casi di superamento dei valori di attenzione o di contatto tra aree caratterizzate da livelli di rumorosità eccedenti i 5 dB(A).

I Comuni sono quindi tenuti ad adeguare i regolamenti locali di igiene e di polizia municipale, con l'introduzione di apposite norme contro l'inquinamento acustico, con particolare riferimento all'abbattimento delle emissioni sonore derivanti dalla circolazione degli autoveicoli e da sorgenti fisse, ed all'adozione di regolamenti per l'attuazione della disciplina statale e regionale in materia di tutela dell'inquinamento acustico.

In sede di istruttoria delle istanze di concessione edilizia relative ad impianti ed infrastrutture adibite ad attività produttive, sportive o ricreative, per servizi commerciali polifunzionali abilitati all'uso degli immobili e delle licenze o autorizzazioni all'esercizio delle attività, il Comune è tenuto alla verifica del rispetto della normativa per la tutela dell'inquinamento acustico, anche considerando la zonizzazione acustica comunale.

I Comuni sono tenuti a richiedere e valutare la documentazione di impatto acustico relativamente all'elenco di opere indicate dalla Legge Quadro, ed inoltre a predisporre e valutare la documentazione previsionale del clima acustico delle aree interessate dalla realizzazione di interventi ad elevata sensibilità.

Compete inoltre, ai Comuni, il rilascio delle autorizzazioni per lo svolgimento di attività temporanee, manifestazioni, spettacoli, l'emissione di ordinanze in relazione ad esigenze eccezionali di tutela della salute pubblica e dell'ambiente, l'irrogazione delle sanzioni amministrative per la violazione delle disposizioni dettate localmente in materia di tutela dell'inquinamento acustico.

La Legge Quadro assegna infine, ai Comuni, il controllo del rumore generato dal traffico e dalle sorgenti fisse, dall'uso di macchine rumorose e da attività all'aperto, oltre il controllo di conformità alle vigenti disposizioni delle documentazioni di valutazione dell'impatto acustico e di previsione del clima acustico, relativamente agli interventi per i quali ne risulta prescritta la presentazione.

4.1.1.3 DPCM 14 novembre 1997

Il DPCM del 14/11/97, relativo alla "*Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore*", pubblicato sulla G.U. n. 280 del 01/12/97, in attuazione alla Legge Quadro sul rumore (Art. 3, Comma 1, lettera a), definisce per le sei classi di destinazione d'uso del territorio individuate dal DPCM 1/3/91 (vedi Tabella 4.1 precedentemente riportata) i seguenti valori:

- valori limite di emissione;
- valori limite di immissione;
- valori di attenzione;
- valori di qualità.

Con riferimento alle varie classi di destinazione d'uso, vengono individuati i **valori limite di emissione** riportati nella seguente Tabella 4.4, che fissano il valore massimo di rumore che può essere emesso da una sorgente sonora, misurato in prossimità della sorgente stessa.

I valori limite si applicano a tutte le aree del territorio circostanti la sorgente di rumore secondo le rispettive classificazioni in zone; nel decreto, non viene specificato l'ambito spaziale di applicabilità del limite, essendo evidentemente correlato alla magnitudo della fonte di emissione ed alla tipologia del territorio circostante. I rilevamenti e le verifiche sono effettuati in corrispondenza degli spazi utilizzati da persone e comunità.

I limiti indicati non sono applicabili alle fasce di pertinenza delle infrastrutture di trasporto in corrispondenza delle quali è compito dei Decreti Attuativi fornire indicazioni.

Per ogni classe di destinazione d'uso del territorio vengono individuati i **valori limite di immissione** indicati nella Tabella 4.5 di seguito riportata; vale a dire il valore massimo assoluto di rumore che può essere immesso da una o più sorgenti sonore nell'ambiente esterno, misurato in prossimità del ricettore.

Nel caso di infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime, aeroportuali e di tutte le altre sorgenti regolate da Regolamenti di Esecuzione di cui all'Art. 11 della 447/95, i limiti non si applicano all'interno delle rispettive fasce di pertinenza. All'esterno delle fasce di rispetto tali sorgenti concorrono, viceversa, al raggiungimento dei limiti assoluti di rumore.

I valori limite differenziali di immissione sono determinati con riferimento alla differenza tra il livello equivalente di rumore ambientale ed il rumore residuo, e vengono fissati all'interno degli ambienti abitativi in ragione di:

- 5 dB per il periodo diurno (06:00 – 22:00);
- 3 dB per il periodo notturno (22:00 – 06:00).

Tali valori non si applicano:

- nelle aree classificate nella classe VI;
- se il rumore ambientale a finestre aperte sia inferiore a 50 dB(A) di giorno e 40 dB(A) di notte;
- se il rumore ambientale a finestre chiuse sia inferiore a 35 dB(A) di giorno e 25 dB(A) di notte;
- al rumore prodotto da infrastrutture stradali, ferroviarie, aeroportuali e marittime;
- al rumore indotto da attività e comportamenti non connessi con esigenze produttive, commerciali e professionali;
- al rumore prodotto da servizi e impianti fissi dell'edificio adibiti ad uso comune, limitatamente al disturbo provocato all'interno dello stesso.

Il rumore ambientale può essere definito come il livello equivalente continuo di pressione sonora ponderato A prodotto da tutte le sorgenti di rumore esistenti in un dato luogo e durante un determinato tempo. In pratica, è costituito dall'insieme del rumore residuo e di quello prodotto dalla specifica sorgente disturbante.

Il rumore residuo costituisce invece il livello equivalente continuo di pressione sonora ponderato A che si rileva quando si escludono le specifiche sorgenti disturbanti.

Classi di destinazione d'uso del territorio	PERIODO DI RIFERIMENTO	
	Diurno (06:00 – 22:00)	Notturno (22:00 – 06:00)
I - Aree particolarmente protette	45	35
II - Aree prevalentemente residenziali	50	40
III - Aree di tipo misto	55	45
IV - Aree di intensa attività umana	60	50
V - Aree prevalentemente industriali	65	55
VI - Aree esclusivamente industriali	65	65

Tab. 4.4 - Valori limite di emissione in dB(A) (Tab. B - Art. 2 dell'Allegato al DPCM 14.11.97)

Classi di destinazione d'uso del territorio	PERIODO DI RIFERIMENTO	
	Diurno (06:00 – 22:00)	Notturno (22:00 – 06:00)
I - Aree particolarmente protette	50	40
II - Aree prevalentemente residenziali	55	45
III - Aree di tipo misto	60	50
IV - Aree di intensa attività umana	65	55
V - Aree prevalentemente industriali	70	60
VI - Aree esclusivamente industriali	70	70

Tab. 4.5 - Valori limite di immissione in dB(A) (Tab. C - Art. 3 dell'Allegato al DPCM 14.11.97)

I **valori di attenzione** rappresentano il livello di rumore che segnala la presenza di un potenziale di rischio per la salute umana o per l'ambiente:

- se riferiti a 1 ora sono uguali ai valori di immissione, aumentati di 10 dB(A) per il giorno e di 5 dB(A) per la notte;
- se relativi all'intero periodo di riferimento, sono uguali ai valori di immissione.

I valori di attenzione non si applicano alle fasce territoriali di pertinenza delle infrastrutture stradali, ferroviarie, marittime ed aeroportuali.

Con riferimento alle varie classi di destinazione d'uso, vengono infine individuati i **valori di qualità** indicati nella Tabella 4.6 di seguito riportata. Tali valori rappresentano i livelli di rumore da conseguire nel breve, nel medio e nel lungo periodo con le tecnologie e le metodiche di risanamento disponibili, per realizzare gli obiettivi di tutela previsti dalla Legge Quadro.

Classi di destinazione d'uso del territorio	PERIODO DI RIFERIMENTO	
	Diurno (06:00 – 22:00)	Notturno (22:00 – 06:00)
I - Aree particolarmente protette	47	37
II - Aree prevalentemente residenziali	52	42
III - Aree di tipo misto	57	47
IV - Aree di intensa attività umana	62	52
V - Aree prevalentemente industriali	67	57
VI - Aree esclusivamente industriali	70	70

Tab. 4.6 - Valori di qualità in dB(A) (Tab. D - Art. 7 dell'Allegato al DPCM 14.11.97)

In attesa che i Comuni provvedano alla zonizzazione acustica e all'adozione del piano di risanamento (e degli altri adempimenti previsti dall'Art. 6 della L. 447/95), l'Art. 8 Comma 1 del DPCM 14/11/97 conferma l'applicabilità dei limiti di cui all'Art. 6 del DPCM 1 marzo 1991 (fatta eccezione per i provvedimenti successivi come ad esempio il Decreto Attuativo 18 novembre 1998, n. 459 in materia di rumore ferroviario.

4.1.1.4 D.P.C.M. 31 marzo 1998

Il decreto costituisce un atto di indirizzo e di coordinamento relativo all'esercizio dell'attività del tecnico competente in acustica, idoneo a svolgere le seguenti prestazioni professionali:

- misurazioni in ambiente esterno;
- verifica dell'ottemperanza ai valori definiti dalle norme vigenti;
- redazione dei piani di risanamento acustico;
- svolgimento delle attività di controllo.

La legge quadro determina i requisiti che i soggetti interessati ad ottenere il riconoscimento di tecnico competente da parte delle Regioni debbono possedere.

Tra i criteri affermati dalla legge quadro occorre evidenziare oltre al criterio della separazione delle funzioni in forza del quale i soggetti che effettuano i controlli debbono essere diversi da quelli che svolgono le attività sulle

quali deve essere effettuato il controllo, il criterio territoriale in virtù del quale il controllo dell'inquinamento acustico implica l'adozione di misure appropriate di pianificazione urbanistica, attraverso la classificazione delle diverse zone acustiche, a tal scopo prevedendo il divieto di contatto diretto di aree eterogenee per differenziale di livello sonoro, e l'adozione di piani di risanamento acustico laddove lo scarto sia superiore a 5 dB(A), garantendo altresì il collegamento tra il rilascio della concessione edilizia, delle autorizzazioni amministrative per l'esercizio di attività produttive e tutela dall'inquinamento acustico (la legge quadro non prevede alcun procedimento amministrativo specifico ma, come è stato efficacemente notato, "inserisce la valutazione dell'ammissibilità delle sorgenti sonore nel contesto dei procedimenti amministrativi già esistenti, quali quelli urbanistico – edilizi ovvero quelli produttivi o ambientali"; a tal fine, la legge prevede che alle relative istanze sia allegata la documentazione comprovante l'impatto acustico).

La legge quadro prevede una nuova figura di ordinanza contingibile ed urgente, che consente l'adozione temporanea di speciali forme di contenimento o di abbattimento delle emissioni sonore, inclusa l'inibitoria totale o parziale di determinate attività. Sono legittimati ad adottare tali ordinanze il Sindaco, il Presidente della Provincia, il Presidente della Giunta regionale, il Prefetto, il Ministro dell'Ambiente, Il Presidente del Consiglio dei Ministri.

4.1.1.5 Decreto attuativo 18 novembre 1998, n. 459

Le disposizioni del Decreto Attuativo per la regolamentazione dei limiti di immissione delle infrastrutture ferroviarie del 18/11/98 n° 459, relativo al "Regolamento recante norme di esecuzione dell'articolo 11 della legge 26 ottobre 1995, n° 447, in materia di inquinamento acustico derivante da traffico ferroviario", si applicano:

- a infrastrutture di nuova realizzazione con velocità di progetto superiore a 200 km/h;
- a infrastrutture esistenti, alle loro varianti, alle infrastrutture di nuova realizzazione in affiancamento di infrastrutture esistenti, alle infrastrutture di nuova realizzazione con velocità di progetto non superiore a 200 km/h.

Per le infrastrutture di nuova realizzazione con velocità di progetto superiore a 200 km/h è prevista una fascia di pertinenza ferroviaria pari a 250 m per ciascun lato a partire dalla mezzeria dei binari esterni.

Nello studio di impatto acustico è inoltre necessario considerare tutti i ricettori presenti all'interno di un corridoio di 250 m per lato misurati a partire dalla mezzeria del binario esterno, esteso a 500 m per lato in presenza di ricettori particolarmente sensibili quali scuole, ospedali, case di cura e riposo.

Per tali infrastrutture, all'interno dell'intera fascia di pertinenza ferroviaria, valgono i limiti specificati nel seguito:

- 50 dB(A) Leq diurno e 40 dB(A) Leq notturno per ospedali, case di cura e riposo;
- 50 dB(A) Leq diurno per le scuole;
- 65 dB(A) Leq diurno e 55 dB(A) Leq notturno per gli altri ricettori.

Per le nuove linee in affiancamento a linee esistenti, per le infrastrutture esistenti, per le loro varianti e per le infrastrutture di nuova realizzazione con velocità di progetto inferiore a 200 km/h, è prevista una fascia di pertinenza ferroviaria pari a 250 m per ciascun lato a partire dalla mezzeria dei binari esterni (questo è il caso della linea ferroviaria oggetto del presente studio).

Tale fascia viene suddivisa in due parti: la prima, più vicina all'infrastruttura ferroviaria della larghezza di 100 m, fascia A; la seconda, più distante dall'infrastruttura ferroviaria della larghezza di 150 m, fascia B.

Per tali infrastrutture valgono i limiti specificati nel seguito:

- all'interno dell'intera fascia di pertinenza ferroviaria:

- 50 dB(A) Leq diurno e 40 dB(A) Leq notturno per ospedali, case di cura e riposo;
- 50 dB(A) Leq diurno per le scuole;

• all'interno della fascia A:

- 70 dB(A) Leq diurno e 60 dB(A) Leq notturno per gli altri ricettori;

• all'interno della fascia B:

- 65 dB(A) Leq diurno e 55 dB(A) Leq notturno per gli altri ricettori.

Qualora i suddetti valori non siano tecnicamente conseguibili, ovvero qualora in base a valutazioni tecniche, economiche o di carattere ambientale, si evidenzi l'opportunità di procedere a interventi diretti sui ricettori, deve essere assicurato il rispetto dei seguenti limiti:

- 35 dB(A) Leq notturno per ospedali, case di cura e case di riposo;
- 40 dB(A) Leq notturno per tutti gli altri ricettori;
- 45 dB(A) Leq diurno per le scuole.

Tali valori devono essere rispettati al centro della stanza più esposta, a finestre chiuse, a 1,5 m di altezza dal pavimento.

4.1.2 Normativa Regionale

A livello regionale, le norme di riferimento sono:

- Legge Regionale del 10 maggio 1999, n. 21 "Norme in materia di inquinamento acustico". L'articolo 4 di tale norma prevede che la Regione adotti le disposizioni attuative della legge quadro e in particolare individui modalità e criteri per la redazione della documentazione di impatto acustico
- Delibera del Direttore Generale n. 3 del 2008 ARPAV ha approvato il documento "Linee guida per la elaborazione della documentazione di impatto acustico ai sensi dell'articolo 8 della L. Q. n. 447/95".

4.2 Descrizione dello stato attuale

4.2.1 Caratteristiche fisiche del rumore

Il rumore è un fenomeno fisico (acustica), definibile come un'onda di pressione che si propaga attraverso un gas.

Nell'aria le onde sonore sono generate da variazioni della pressione sonora sopra e sotto il valore statico della pressione atmosferica, e proprio la pressione diventa quindi una grandezza fondamentale per la descrizione di un suono.

La gamma di pressioni è però così ampia da suggerire l'impiego di una grandezza proporzionale al logaritmo della pressione sonora, in quanto solamente una scala logaritmica è in grado di comprendere l'intera gamma delle pressioni.

In acustica, quando si parla di livello di una grandezza, si fa riferimento al logaritmo del rapporto tra questa grandezza ed una di riferimento dello stesso tipo.

Al termine livello è collegata non solo l'utilizzazione di una scala logaritmica, ma anche l'unità di misura, che viene espressa in decibel (dB). Tale unità di misura indica la relazione esistente tra due quantità proporzionali alla potenza.

Si definisce, quindi, come livello di pressione sonora, corrispondente ad una pressione p, la seguente espressione:

$Lp = 10 \log (P/p_o)^2$ dB $= 20 \log (P/p_o)$ dB

dove p_o indica la pressione di riferimento, che nel caso di trasmissione attraverso l'aria è di 20 micro pascal, mentre P rappresenta il valore RMS della pressione.

I valori fisici riferibili al livello di pressione sonora non sono, però, sufficienti a definire l'entità della sensazione acustica. Non esiste, infatti, una relazione lineare tra il parametro fisico e la risposta dell'orecchio umano (sensazione uditiva), che varia in funzione della frequenza.

A tale scopo, viene introdotta una grandezza che prende il nome di intensità soggettiva, che non risulta soggetta a misura fisica diretta, e che dipende dalla correlazione tra livello di pressione e composizione spettrale.

I giudizi di eguale intensità a vari livelli e frequenze hanno dato luogo alle curve di iso-rumore, i cui punti rappresentano i livelli di pressione sonora giudicati egualmente rumorose da un campione di persone esaminate.

Dall'interpretazione delle curve iso-rumore deriva l'introduzione di curve di ponderazione, che tengono conto della diversa sensibilità dell'orecchio umano alle diverse frequenze; tra queste, la curva di ponderazione A è quella che viene riconosciuta come la più efficace nella valutazione del disturbo, in quanto è quella che si avvicina maggiormente alla risposta della membrana auricolare.

In acustica, per ricordare la curva di peso utilizzata, è in uso indicarla tra parentesi nell'unità di misura adottata, che comunque rimane sempre il decibel, vale adire dB(A).

Allo scopo di caratterizzare il fenomeno acustico, vengono utilizzati diversi criteri di misurazione, basati sia sull'analisi statistica dell'evento sonoro, che sulla quantificazione del suo contenuto energetico nell'intervallo di tempo considerato.

Il livello sonoro che caratterizza nel modo migliore la valutazione del disturbo indotto dal rumore è rappresentato dal livello continuo equivalente di pressione sonora ponderato A, **Leq**, definito dalla relazione analitica:

$$Leq = 10 \cdot Log[1/T \int_0^T (p(t)/p_0)^2 dt]$$

essendo:

p(t) = valore istantaneo della pressione sonora seconda la curva A;

p_0 = valore della pressione sonora di riferimento, assunta uguale a 20 micro pascal in condizioni standard;

T = intervallo di tempo di integrazione.

Il Leq costituisce la base del criterio di valutazione proposto sia dalla normativa italiana che dalla raccomandazione internazionale I.S.O. n. 1996 sui disturbi arrecati alle popolazioni, ed inoltre viene adottato anche dalle normative degli altri paesi.

Il livello equivalente continuo costituisce un indice dell'effetto globale di disturbo dovuto ad una sequenza di rumore compresa entro un dato intervallo di tempo; esso corrisponde cioè al livello di rumore continuo e costante che nell'intervallo di tempo di riferimento possiede lo stesso "livello energetico medio" del rumore originario.

Il criterio del contenuto energetico medio è basato sull'individuazione di un indice globale, rappresentativo dell'effetto sull'organo uditivo di una sequenza di rumori entro un determinato intervallo di tempo; esso in sostanza commisura, anziché i valori istantanei del fenomeno acustico, l'energia totale in un certo intervallo di tempo.

Il Leq non consente di caratterizzare le sorgenti di rumore, in quanto rappresenta solamente un indicatore di riferimento; pertanto, per meglio valutare i fenomeni acustici è possibile considerare i livelli percentili, i livelli massimo e minimo, il SEL.

I livelli percentili (L1, L5, L10, L33, L50, L90, L95, L99) rappresentano i livelli che sono stati superati per una certa percentuale di tempo durante il periodo di misura:

- l'indice percentile L1 connota gli eventi di rumore ad alto contenuto energetico (livelli di picco);
- l'indice percentile L10 è utilizzato nella definizione dell'indicatore "clima acustico", che rappresenta la variabilità degli eventi di rumore rilevati;
- l'indice L50 è utilizzabile come indice di valutazione del flusso autoveicolare;
- l'indice percentile L95 è rappresentativo del rumore di fondo dell'area;
- il Livello massimo (L max), connota gli eventi di rumore a massimo contenuto energetico;
- il Livello minimo (L min), consente di valutare l'entità del rumore di fondo ambientale;
- il SEL rappresenta il livello sonoro di esposizione ad un singolo evento sonoro.

4.2.2 Il rumore ferroviario

Numerosi studi hanno evidenziato che, a parità di Leq, il rumore ferroviario viene valutato meno negativamente del rumore stradale tanto che, a parità di disturbo, il Leq del rumore ferroviario può mediamente essere di 4÷5 dB(A) superiore al Leq del rumore stradale.

Questo fatto è probabilmente attribuibile alla diversa composizione spettrale del rumore ferroviario e di quello stradale: essendo più ricco di toni gravi, il rumore stradale presenta un maggiore contenuto energetico, ovvero un più alto livello sonoro lineare. Nel rumore ferroviario, inoltre, sono scarsamente presenti le componenti impulsive.

La migliore accettabilità del rumore ferroviario è legata parzialmente anche a fattori fisio-psicologici, quali la migliore "immagine" sociale della ferrovia e la maggiore costanza e "prevedibilità" del segnale acustico.

Il rumore ferroviario ha invece un maggiore impatto sulla comprensione del parlato rispetto al rumore stradale: ciò è dovuto alla maggiore presenza, nello spettro del rumore di un treno, di componenti tonali di frequenza medio-alta, da cui soprattutto dipende l'intelligibilità del linguaggio. L'interferenza del rumore con il sonno dipende sia dal livello sonoro massimo, sia dalla durata del rumore, sia ancora dal clima acustico della località.

Uno studio effettuato in Francia sulle reazioni istantanee al passaggio di veicoli (treni, vetture o autocarri) ha permesso di stabilire che, sebbene l'adattamento fisiologico al rumore non sia migliore per il traffico ferroviario rispetto a quello stradale, i treni causano un minore disturbo sul sonno in quanto, a parità di Leq risulta minore il numero di eventi disturbanti.

Bisogna infine tenere presente che per l'effetto della ponderazione in curva A, utilizzata in tutte le misure di rumore che si propongono di prevedere i possibili effetti sull'uomo, le basse frequenze "pesano" in misura limitata sullo spettro complessivo in emissione dai convogli. Il rumore di natura aerodinamica dunque, caratterizzato sostanzialmente da basse frequenze, influisce in misura ridotta sul livello equivalente. che rappresenta il contenuto energetico sonoro riferito alla sensazione umana.

Si possono formulare in conclusione tre ordini di considerazioni:

- il rumore ferroviario ha un impatto sulla popolazione complessivamente minore di quello stradale;
- non si ha alcuna evidenza che il rumore ambientale (e quello ferroviario in particolare) abbia conseguenze di rilevanza sanitaria, anche se il disturbo sulle popolazioni può essere molto significativo, soprattutto per l'interferenza con la comprensione del linguaggio;
- l'indicatore di rumore livello equivalente continuo Leq in dB (A), utilizzato per la previsione di impatto della linea in esame e il successivo dimensionamento delle opere di mitigazione, è rappresentativo del disturbo effettivamente recato alla popolazione.

4.2.3 Il censimento dei ricettori

Il censimento dei ricettori è stato effettuato allo scopo di localizzare e caratterizzare, dal punto di vista territoriale ed acustico, gli edifici che si trovano nella fascia di 250 m per lato dalla mezzeria del binario esterno della linea esistente, oltre che ad individuare i principali ricettori sensibili (scuole, ospedali, case di cura e case di riposo) compresi nella fino a 500 m per lato.

I ricettori sono stati individuati dall'analisi della cartografia esistente e verificati mediante sopralluogo durante il quale sono state effettuate delle riprese fotografiche e sono state annotate le caratteristiche più rilevanti.

Per ogni ricettore è stata inoltre redatta una scheda identificativa di censimento, riportata nell'elaborato L344 00 R 22 SH SA000A 001-007A – "*Schede di censimento dei ricettori*".

I ricettori sono rappresentati inoltre nelle tavole L344 00 R22 P6 SA000A 001÷009 A - "*Localizzazione dei ricettori*".

In totale sono stati censiti 1819 ricettori, così ripartiti:

- 12 in comune di Turriaco;
- 310 in comune di San Canzian D'Isonzo;
- 478 in comune di Ronchi Dei Legionari;
- 850 in comune di Monfalcone;
- 22 in comune di Doberdò del Lago;
- 130 in comune di Duino-Aurisina.

Ad ogni ricettore è stato assegnato un limite di riferimento secondo le categorie previste dal DPR 459/98, individuando le fasce di pertinenza ferroviarie a partire dalla mezzeria del binario più esterno. Oltre al limite di riferimento è stato individuato anche un livello di soglia, che tiene conto della eventuale concorsualità acustica di altre infrastrutture di trasporto; nel caso specifico è stato considerato il contributo della S.S. N.14 Della Venezia Giulia.

Tale infrastruttura stradale rientra nella classe acustica "B – Strade extraurbane principali", secondo quanto previsto nella tab. 2 (Strade esistenti) del DPR 142/04, e prevede le seguenti fasce di pertinenza acustica, con i relativi limiti acustici:

- Fascia A, da 0 a 100m dal bordo stradale, con limiti diurni/notturni pari a 70/60 dBA

- Fascia B, da 100 a 250m dal bordo stradale, con limiti diurni/notturni pari a 65/55 dBA
- Per i ricettori sensibili valgono i limiti diurni/notturni pari a 50/40 dBA

Nel caso di sovrapposizione delle fasce di pertinenza ferroviaria e stradale, i valori limite di riferimento sono stati calcolati imponendo che la somma dei contributi *egualmente ponderati* non superi il valore della sorgente avente massima immissione, secondo una formulazione più generale di quella riportata nell'Allegato 4 del DM 29/11/2000, che risulta valida anche nel caso di valori limite diversi (e che coincide con quella originale nel caso di valori limite uguali):

$$\max(L_1, L_2, ..., L_N) = 10 \cdot \log\left(\sum_{i=1}^{N} 10^{\frac{L_i - \Delta}{10}}\right),$$

con $L_1, L_2, \ldots, L_N$ i singoli valori limite delle N infrastrutture coinvolte

Δ = riduzione egualmente ponderata dei singoli valori limite

4.2.4 Stato della classificazione acustica

L'area interessata dell'intervento ricade nei comuni di Turriaco, San Canzian D'Isonzo, Ronchi Dei Legionari, Monfalcone, Doberdò del Lago, Duino-Aurisina, Trieste.

I suddetti Comuni non risultano ancora dotati del Piano di Classificazione Acustica.

4.3 Valutazione delle interferenze

4.3.1 Metodologia di analisi dell'impatto acustico in fase di esercizio

4.3.1.1 Impostazione

Lo studio di impatto acustico è stato eseguito con l'obiettivo di stimare i livelli di rumore in facciata agli edifici ricettori, nella configurazione che prevede attiva la nuova linea ferroviaria AC/AV Venezia Trieste, nella tratta Ronchi dei Legionari – Trieste, relativamente allo scenario di esercizio finale della stessa.

Considerando sempre il lato più esposto al rumore ferroviario, sono stati quindi previsti i valori di pressione sonora equivalente ad ogni piano degli edifici considerati. I valori sono espressi in dBA, e fanno riferimento ai periodi di esposizione diurno (06-22) e notturno (22-06).

La simulazione si compone essenzialmente di 2 fasi:

- la stima delle sorgenti di rumore presenti lungo la linea ferroviaria
- la simulazione di come il rumore emesso dalle sorgenti si propaga nello spazio circostante.

La previsione delle sorgenti di rumore prende come dato di input il modello di esercizio ferroviario e, in base alla quantità e alla tipologia di treni indicati nel modello, assegna una determinata potenza sonora alle sorgenti. L'assegnazione della potenza sonora può essere affidata a un programma di simulazione acustica, che utilizzi qualche metodo standard (come ad esempio Shall 03) o contenga al suo interno un database generale delle emissioni per le varie tipologie di treno, oppure ottenuta da misure sperimentali eseguite su linee ferroviarie e un parco circolante analoghi a quello di progetto.

In questo studio si è scelto di utilizzare i dati di input specifici per la realtà ferroviaria italiana e, in particolare, per la specifica linea in esame; di conseguenza, sono stati considerati:

- il modello di esercizio previsto da RFI per la linea di progetto: tipologia di convogli, numero di transiti, velocità, nei due diversi scenari di riferimento;
- gli spettri di emissione del parco circolante forniti da RFI e riportati nel documento 'Stima dei livelli sonori ai sensi del DM Ambiente 29/22/00', redatto nel 2002 dalla direzione tecnica RFI
- la stessa regola di variazione del SEL con la velocità adottata nel piano di risanamento RFI per normalizzare le misure: $SEL_v = SEL_{vrif} + 20*Log(v/v_{rif})$, con $v_{rif} = 100$ Km/h.

La simulazione della propagazione nello spazio è stata invece eseguita utilizzando il modello di calcolo Soundplan.

Una volta stimati i livelli in facciata ai ricettori (ad ogni piano, sul lato più esposto alla sorgente), questi valori sono stati confrontati con i limiti previsti dalla normativa vigente e, ove fossero presenti superamenti, sono state dimensionate le opere di bonifica necessarie e mitigare l'impatto.

4.3.1.2 Descrizione del modello di calcolo

Soundplan è un pacchetto software multistandard, dedicato alle simulazioni acustiche ambientali con varie tipologie di sorgenti: traffico stradale, traffico ferroviario, rumore industriale. Al suo interno sono presenti soluzioni conformi alle diverse normative di riferimento nazionali

Il sistema di calcolo fa dipartire dal ricevitore una serie di raggi, ciascuno dei quali analizza la geometria della sorgente e quella del territorio, le riflessioni e la presenza di schermi. Ad ogni raggio che parte dal ricettore viene associata una porzione di spazio e così, via via, viene coperto l'intero territorio.

Quando un raggio incontra la sorgente, il modello calcola automaticamente il livello prodotto della parte intercettata. Pertanto, sorgenti lineari come strade e ferrovie vengono discretizzate in tanti singoli punti sorgente, ciascuno dei quali fornisce un contributo. La somma dei contributi associati ai vari raggi va quindi a costituire il livello di rumore prodotto dall'intera sorgente sul ricettore.

Quando un raggio incontra una superficie riflettente come la facciata di un edificio, il modello calcola il contributo dovuto alle riflessioni. A tal proposito l'operatore può stabilire il numero di riflessioni massimo che deve essere calcolato ovvero la soglia di attenuazione al di sotto della quale il calcolo deve essere interrotto.

La possibilità di inserire i dati sulla morfologia dei territori, sui ricettori e sulle infrastrutture esistenti ed in progetto mediante cartografia tridimensionale consente di schematizzare i luoghi in maniera realistica e dettagliata. Ciò a maggior ragione se si considera che, oltre alla conformazione morfologica, è possibile associare ad elementi naturali ed antropici, specifici comportamenti acustici.

Il modello prevede, infatti, l'inserimento di appositi coefficienti che tengono conto delle caratteristiche più o meno riflettenti delle facciate dei fabbricati o l'assorbimento dovuto alla presenza di aree boschive.

Soundplan ha implementato al suo interno diversi modelli previsionali per il rumore ferroviario, secondo le principali linee guida europee: Shall03 (Germania), OAL 30 (Austria), Nordic Train (Scandinavia), CoRwN (Regno Unito), JNGR (Giappone), SEMIBEL (Svizzera), RMR 2002 (Paesi Bassi).

Le recenti linee guida comunitarie indicano come modello di calcolo provvisorio a livello UE il metodo RMR utilizzato nei Paesi Bassi; tuttavia, per l'applicazione del modello suddetto, sarebbe necessaria una caratterizzazione delle sorgenti sonore che ancora non è stata realizzata per il parco circolante sulle ferrovie italiane. Nel presente studio è stato utilizzato il modello Shall 03 Tedesco, di cui si illustrano nel seguito le caratteristiche implementate dal software.

4.3.1.2.1 Simulazione dei livelli di emissione secondo il modello Shall 03

Il modello permette di calcolare, a partire dai dati di traffico, il livello di pressione sonora equivalente a 25 metri dal binario, nei vari periodi di riferimento (Day, Night, ed eventualmente Evening). Nel presente studio non si è fatto ricorso al modello Shall per stimare i livelli di emissione. Il procedimento di acquisizione dei dati di input è illustrato nel paragafo dedicato.

4.3.1.2.2 Simulazione della propagazione sonora secondo il modello Shall 03

Dal Leq alla distanza di riferimento di 25 m, il modello calcola la propagazione sul territorio. A tale scopo viene utilizzata la seguente relazione matematica:

$$L_{r,k} = L_{m,E,k} + 19.2 + C_{SectionLenght} + C_{Directivity} + C_{Spreading} + C_{Air} + C_{Ground} + C_{Screening} + C_{Bonus}$$

Dove:

$L_{r,k}$ è il livello di rumore prodotto presso il ricettore r-esimo dalla sezione k-esima di ferrovia;

$L_{m,E,k}$ livello di emissione assegnato al binario;

$C_{SectionLenght}$ è la correzione per la lunghezza della sezione in esame, calcolata con la relazione: $C_{SectionLenght} = 10 \times Log(L)$, dove L è la lunghezza della sezione;

$C_{Directivity}$ è la correzione dovuta alla direttività della sorgente: $C_{Directivity} = 10 \times Log(0.22 + 1.27 \times \sin^2 \delta_k)$, dove δ_k è l'angolo tra il raggio e l'asse del binario;

$C_{Spreading}$ è la correzione per divergenza geometrica calcolata in funzione della distanza ricettore-sorgente con la relazione: $C_{Spreading} = 10 \times Log(1/(2\pi D)^2) = -8 - 20 \times \mathrm{Log}(D)$, dove D è la distanza ricettore-sorgente;

C_{Air} è la correzione per l'assorbimento dell'aria calcolata in funzione della distanza ricettore-sorgente con la relazione: $C_{Air} = 1 - D/200$, dove D è la distanza ricettore-sorgente;

C_{Ground} è il fattore che tiene conto dell'attenuazione dovuta all'effetto suolo, dato dalla seguente relazione: $C_{Ground} = (H_{Media}/D) \times (34 + 600/D) - 4.8$, con D = distanza tra la sorgente e il ricevitore e H_{media} = altezza media della linea di vista sopra il terreno;

$C_{Screening}$La presenza degli schermi viene valutata in base alla variazione positiva del percorso d tra il ricettore e la sezione di sorgente in esame.

La correzione per la presenza di una barriera è calcolata con la seguente formula:

$C_{Screening} = -(10 + \log(3 + 60 * \delta * K_{w,k}) + C_{Ground}) < 0,$

Dove il fattore di correzione K_w è dato da:

$K_w = 10^X$, con $X = (-1 / 2.3 * 2000) * \mathrm{sqrt}((A * B * d) / (2 * \delta))$,

con:

A = raggio sorgente-barriera

B = raggio barriera-ricevitore

d= raggio diretto sorgente-ricettore

δ = S+B-d, differenza tra cammino diretto e cammino diffratto

Se si sommano i contributi di più barriere, la distanza tra le barriere è aggiunta al minore tra A e B per determinare K_w.

Si osservi che la formula contiene anche l'effetto suolo e che il risultato complessivo deve essere minore di zero; questo significa che l'algoritmo controlla che l'effetto della barriera sia superiore all'effetto suolo e, in caso contrario, considera nullo $C_{Screening}$.

C_{Bonus} La correzione per il Bonus è utilizzata dal modello tedesco per togliere 5 dB al rumore ferroviario, che è considerato meno disturbante per la popolazione. Tale correzione non è stata adottata nel presente studio, per cui $C_{Bonus}=0$.

4.3.1.3 Dati di input

4.3.1.3.1 Programma di esercizio

Nella tabella che segue sono indicati i transiti ferroviari previsti lungo la linea storica e lungo la nuova linea AC/AV.

Tratta Ferroviaria	Lunga Pecorr. (ETR)		Lunga Percorr. (Intercity)		Regionali		Merci	
	diurni	notturni	diurni	notturni	diurni	notturni	diurni	notturni
Linea Storica								
Cervignano Aquileia Grado - Aeroporto Ronchi dei L.	0	0	0	8	100	12	23	53
Aeroporto Ronchi dei L. - Bivio S.Polo/Monfalcone	8	0	0	8	100	12	2	4
Monfalcone - Bivio D'Aurisina	8	0	0	8	126	14	17	39
Bivio D'Aurisina - Gruppo scambi Barcola (da/per Trieste C.Marzio)	8	0	0	8	126	14	10	22
Gruppo scambi Barcola - Trieste Centrale	8	0	0	8	126	14	0	0
Gorizia - Bivio S.Polo/Monfalcone	0	0	0	0	25	3	21	49
Bivio D'Aurisina - Villa Opicina (da/per Monfalcone)	0	0	0	0	0	0	9	21
Bivio D'Aurisina - Villa Opicina (da/per Trieste C.Marzio)	0	0	0	0	0	0	2	4
Bivio D'Aurisina - Villa Opicina	0	0	0	0	0	0	11	25

Tratta Ferroviaria	Lunga Pecorr. (ETR)		Lunga Percorr. (Intercity)		Regionali		Merci	
	diurni	notturni	diurni	notturni	diurni	notturni	diurni	notturni
Linea AC/AV								
Aeroporto Ronchi dei Legionari – Aurisina	6	0	0	2	0	0	112	74
Aurisina - Trieste (Cintura merci)	0	0	0	0	0	0	53	35

Tab. 4.7 - Numero di convogli ferroviari linea storica e linea AC/AV Ronchi – Trieste

Le velocità di riferimento per la linea storica sono state desunte dal Fascicolo di Linea RFI, mentre, per quanto riguarda la linea AC/AV, sono state assunte le velocità massime riportate nella tabella seguente.

Tratta	Rango A (Merci)	Rango C (Intercity)	Rango P (ETR)
dal km 1+345 al km 18+437	120	200	200
dal km 18+437 al km 26+238	120	175	200

Tab. 4.8 - Velocità massime di percorrenza lungo la linea AC/AV

4.3.1.3.1.1 Spettri di emissione dei convogli

Gli spettri di emissione dei convogli sono desunti dalle indagini di caratterizzazione del materiale rotabile svolte da RFI nell'ambito del Piano di Risanamento Acustico. Nella tabella seguente sono riportati i valori di SEL a 25 m dal binario dei convogli ferroviari suddivisi per tipologia, normalizzati alla velocità di 100 Km/h.

SEL a 25 m dal binario normalizzati a 100 Km/h									
TIPO	**A**	**63Hz**	**125Hz**	**250 Hz**	**500 Hz**	**1KHz**	**2KHz**	**4KHz**	**8KHz**
ETR500	90.6	57.0	61.8	71.7	76.8	81.8	88.5	82.5	69.8
IC	94.9	60.5	65.8	75.7	81.0	87.7	92.5	85.6	74.1
REG	92.3	60.9	67.6	77.9	83.6	86.3	87.9	83.3	73.5
MERCI	102.5	65.3	77.1	87.7	95.5	97.7	96.3	91.9	79.8

Tab. 4.9 - SEL– riferito a punto di rilievo posto a 25m dall'asse del binario e 4.0 m dal piano del ferro. Fonte: "Stima dei livelli sonori ai sensi del DM Ambiente 29/22/00", redatto nel 2002 dalla direzione tecnica RFI

Per quanto concerne la dipendenza dalla velocità di transito, per riportare i livelli sonori dalla velocità di riferimento alle velocità di esercizio della linea si è utilizzata la seguente relazione:

$L(V_{tr}) = L(V_{rif}) + 20 \text{ Log } (V_{tr}/V_{rif})$

Si è proceduto quindi al calcolo del Livello equivalente tenendo conto del numero di transiti per ciascuna categoria di convoglio.

Ad ogni linea ferroviaria sono quindi stati associati i transiti di tutti i convogli, distribuiti sui due periodi di riferimento diurno (6-22) e notturno (22-6).

Nella attribuzione dei dati di emissione ai singoli binari nel modello di calcolo è stata considerata la normalizzazione dei livelli alla distanza di 25 metri dall'asse binario, che risulta necessaria per l'utilizzo dello standard Shall03.

4.3.1.3.2 Modello geometrico tridimensionale

Per poter simulare correttamente la propagazione del suono nell'area di studio, è stato realizzato un modello tridimensionale, che tenesse conto delle opere in progetto, della morfologia del terreno, dei manufatti e degli edifici esistenti.

Per questo motivo sono stati realizzati modelli 3D, utilizzando le seguenti fonti:

- la cartografia vettoriale "3D", riportante le altezze in gronda degli edifici e i punti quota del terreno
- la cartografia di progetto (planimetria, sezioni)
- le indagini e le fotografie raccolte sul campo

Il traffico ferroviario è stato quindi schematizzato sui diversi binari di progetto, ed ogni binario è stato caratterizzato con i relativi livelli di emissione valutati come illustrato in precedenza.

Riportiamo, a titolo di esempio, una vista dal modello 3D.

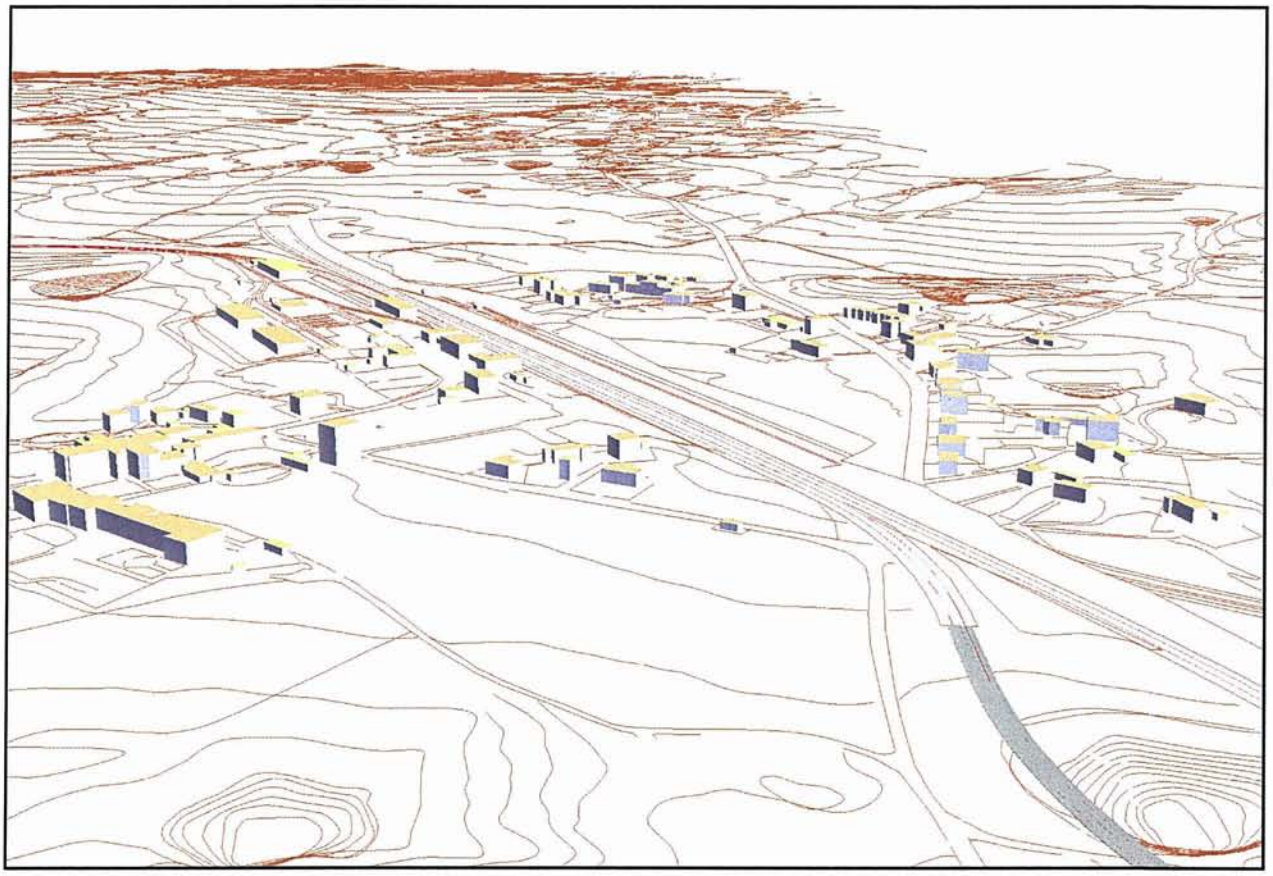


Fig.4.1 - V ista 3D della zona di Aurisina

4.3.1.3.3 Parametri di calcolo

I calcoli sono stati eseguiti utilizzando il modello Shall 03 descritto in precedenza, impostando il programma di simulazione con i seguenti parametri:

- Incremento angolare = 1
- Numero di riflessioni = 3
- Profondità riflessione = 1
- Lunghezza raggi = 1000 metri

Come già detto in precedenza, a maggior tutela dei ricettori, non è stata invece applicata la correzione di 5 dB (prevista dallo standard tedesco) che riduce l'impatto del rumore ferroviario. Inoltre, a differenza di quanto previsto dallo standard tedesco, è stata considerata la riflessione del raggio sonoro sulla facciata stessa del ricettore presso cui si stima il livello di pressione sonora.

4.3.2 Valutazione dell'impatto

Utilizzando il modello di calcolo e i dati di input precedentemente descritti, sono stati stimati i livelli di esposizione in facciata ai ricettori, sotto forma di livello di pressione sonora equivalente pesato A, nei due periodi di riferimento diurno (06-22) e notturno (22-06).

Per tutti i ricettori compresi nelle fasce A e B (rispettivamente entro 100 metri e tra 100 e 250 metri dalla mezzeria del binario esterno), sono stati stimati i livelli di rumore in facciata, considerando il lato più esposto di ogni piano. Naturalmente, per uno stesso edificio, può verificarsi il caso che ad alcuni piani siano rispettati i limiti e ad altri piani no; per questo l'elemento di maggior dettaglio esaminato nello studio è la coppia edificio/piano, denominata nel seguito "piano ricettore".

La simulazione effettuata ha evidenziato numerosi superamenti dei limiti previsti, soprattutto nel periodo notturno in cui la normativa prescrive, per i ricettori residenziali e sensibili, una soglia di 10 dB più bassa rispetto a quella per il periodo diurno.

Come si può osservare i superamenti si verificano principalmente in corrispondenza di ricettori residenziali per i quali il limite notturno risulta quello più stringente; per quanto concerne le altre destinazioni d'uso per le quali il riferimento è il periodo diurno trattasi degli edifici direttamente esposti alla linea ferrovia sul lato Nord per i quali non è stato possibile prevedere l'inserimento di una barriera.

I risultati di dettaglio della simulazione sono riportati in forma tabellare in Appendice A; gli output del software di simulazione acustica sono riportati in Allegato 2 (Stato di Progetto) e Allegato 3 (Stato di Progetto Post-Mitigazione).

4.3.3 Interventi di mitigazione

In base ai risultati della simulazione, sono state dimensionate opere di mitigazione lungo la linea ferroviaria, mediante barriere antirumore finalizzate a ricondurre entro i limiti di legge i livelli di pressione sonora in facciata ai ricettori.

In numerosi casi si stima che la riduzione dei livelli di pressione sonora conseguita mediante barriere antirumore non sia sufficiente ad assicurare il rispetto dei limiti in facciata, per la presenza di ricettori particolarmente sensibili, di ricettori residenziali posti nelle immediate vicinanze della linea ferroviaria o in posizione rialzata rispetto ad essa, o per effetto della concorsualità acustica con altre infrastrutture. Nei casi suddetti sono stati stimati gli interventi diretti sugli edifici per ottenere il rispetto dei limiti in ambiente interno.

4.3.3.1 Interventi lungo la linea

In base alle simulazioni effettuate sono state previste numerose barriere antirumore lungo la linea di progetto, in tutte le situazioni in cui si ritenga possibile il posizionamento delle stesse. Per il dimensionamento delle barriere si è fatto riferimento ai nuovi tipologici standard RFI, che prevedono 11 classi di barriere (da H0 ad H10), con altezza variabile compresa tra 2,00 m e 7,38 m.

Nella tabella seguente è riportato l'elenco delle barriere previste. Si osservi che le prime 3 barriere (codificate BA-00 a, b, c) fanno riferimento ad una tratta ferroviaria precedente l'inizio del progetto in esame, e verranno di conseguenza realizzate nell'ambito di un appalto diverso.

Codice	Linea e lato	Pk Inizio	Pk Fine	Lunghezza (m)	Tipologico	Altezza sul p.f. (m)
BA-00 a	VE-TS Pari	1+280	1+405	125	H5	4,93
BA-00 b	VE-TS Pari	1+405	1+600	200	H10	7,38
BA-00 c	VE-TS Dispari	1+400	1+600	200	H4	4,44
BA-01	VE-TS Pari	1+600	1+795	195	H5	4,93

Codice	Linea e lato	Pk Inizio	Pk Fine	Lunghezza (m)	Tipologico	Altezza sul p.f. (m)
BA-02	VE-TS Dispari	1+600	2+180	581	H4	4,44
BA-03	VE-TS Pari	1+795	2+905	1.108	H10	7,38
BA-04	VE-TS Dispari	2+180	2+700	525	H10	7,38
BA-05	VE-TS Dispari	2+700	2+940	235	H3	3,95
BA-06	VE-TS Pari	2+905	3+110	202	H3	3,95
BA-07	VE-TS Dispari	2+940	4+415	1.480	H10	7,38
BA-08	VE-TS Pari	3+110	3+355	246	H10	7,38
BA-09	VE-TS Pari	3+490	3+640	150	H10	7,38
BA-10	VE-TS Pari	4+150	4+620	472	H10	7,38
BA-11	VE-TS Pari	4+620	4+820	200	H5	4,93
BA-12	VE-TS Pari	4+380	5+755	373	H6	5,42
BA-13	VE-TS Dispari	5+590	7+520	1.928	H10	7,38
BA-14	VE-TS Pari	5+755	6+015	257	H10	7,38
BA-15	VE-TS Pari	6+015	6+185	171	H5	4,93
BA-16	VE-TS Pari	6+185	6+370	180	H10	7,38
BA-17	VE-TS Pari	6+320	6+920	615	H10	7,38
BA-18	VE-TS Pari	6+920	7+120	187	H2	2,98
BA-19	VE-TS LS Pari	7+120	7+380	254	H10	7,38
BA-20	VE-TS LS Pari	7+380	7+530	159	H7	5,91
BA-21	VE-TS AV Pari	7+490	7+690	200	H5	4,93
BA-22	VE-TS AV Dispari	7+195	7+630	335	H3	3,95
BA-23	VE-TS LS Pari	7+530	8+095	555	H0	2,00
BA-24	VE-TS LS Pari UD-TS LS Pari	8+095	2+880	1.615	H10	7,38
BA-25	UD-TS Pari	0+000	0+100	100	H3	3,95
BA-26	UD-TS Dispari	0+000	0+280	279	H3	3,95
BA-27	UD-TS Pari	0+100	0+170	70	H10	7,38
BA-28	UD-TS Pari	0+170	0+210	40	H3	3,95
BA-29	UD-TS Pari	0+210	0+400	190	H2	2,98
BA-30	UD-TS Dispari	0+280	0+390	110	H5	4,93
BA-31	UD-TS Dispari	0+390	0+640	248	H10	7,38

Codice	Linea e lato	Pk Inizio	Pk Fine	Lunghezza (m)	Tipologico	Altezza sul p.f. (m)
BA-32	VE-TS AV Dispari	12+300	12+500	199	H10	7,38
BA-33	VE-TS AV Pari	12+480	12+720	243	H5	4,93
BA-34	VE-TS AV Dispari	12+500	12+720	223	H8	6,40
BA-35	VE-TS AV Dispari	23+095	24+000	907	H10	7,38
BA-36	VE-TS AV Pari	23+500	24+110	447	H10	7,38
BA-37	VE-TS AV Dispari Via Opicina	23+735	23+110	189	H3	3,95
BA-38	VE-TS AV Dispari	24+110	24+180	70	H2	2,98

Tab. 4.10 - Dimensionamento barriere antirumore

È possibile che nelle successive fasi di progetto siano apportate modifiche al posizionamento delle barriere, sia in funzione delle eventuali varianti, sia in considerazione di eventuali interferenze non rilevate in fase preliminare, sia in funzione di un'analisi di dettaglio degli spazi disponibili.

Nella seguente tabella di sintesi si riporta un conteggio dei "piani ricettori" entro e fuori dai limiti, suddivisi a seconda della destinazione d'uso individuata, nello scenario di progetto bonificato. Per i piani ricettori che presentano esuberi residui, sono indicati anche i casi in cui potrebbe essere necessario il ricorso ad interventi diretti secondo i criteri specificati al paragrafo successivo.

DESTINAZIONE D'USO	TOTALE	ENTRO I LIMITI	OLTRE I LIMITI	INTERVENTI DIRETTI
Fascia A - Residenziale	1113	779	334	273
Fascia A - Commerciale Artigianale Uffici	48	46	2	0
Fascia B - Residenziale	1921	1159	762	45
Fascia B - Commerciale Artigianale Uffici	98	98	0	0
Industriale	33	33	0	0
Ospedale, casa di cura o di riposo	15	0	15	8
Scuola	13	4	9	0
TOTALE COMPLESSIVO	**3241**	**2119**	**1122**	**326**

Tab. 4.11 - Impatto piano/ricettori dopo la bonifica

Per alcuni edifici non è stato possibile mitigare completamente l'impatto mediante barriere antirumore, principalmente per le seguenti cause:

- intenso traffico ferroviario, in particolare in termini di transito di convogli merci in periodo notturno
- posizione elevata del ricettore rispetto alla linea;
- edificio con molti piani;

- edificio molto vicino alla linea;
- edificio particolarmente sensibile
- impossibilità di realizzare interventi di mitigazione a causa di interferenze con manufatti esistenti;

Per tali situazioni si valuta la necessità di prevedere di interventi diretti sui ricettori, mediante l'installazione di infissi antirumore.

4.3.3.2 Interventi diretti sui ricettori

4.3.3.2.1 Criteri per il dimensionamento degli interventi diretti sui ricettori

In corrispondenza dei ricettori presso i quali con l'adozione di barriere antirumore non è stato possibile garantire il rispetto dei limiti in facciata, è stata eseguita una stima degli interventi diretti sugli edifici (sostituzione degli infissi esistenti con appositi infissi fonoisolanti).

Al fine di stabilire una corrispondenza tra il sistema ambientale in cui sono previsti tali interventi di protezione passiva e le diverse soluzioni tecnologiche attualmente disponibili sul mercato, si è ritenuto conveniente operare una classificazione dei serramenti esterni.

Con riferimento alla norma UNI 8204 si sono stabilite tre classi R1, R2 e R3 per classificare i serramenti esterni a seconda del diverso grado di isolamento acustico Rw da questi offerto. La classe R1 include le soluzioni in grado di garantire un Rw compreso tra 20 e 27 dB(A); la classe R2 le soluzioni che garantiscono un Rw compreso tra 27 e 35 dB(A); la classe R3 tutte quelle soluzioni che offrono un Rw superiore a 35 dB(A). I serramenti esterni che offrono un potere fonoisolante minore di 20 dB(A) non sono presi in considerazione. In sede di progettazione degli interventi sono state considerate prestazioni acustiche pari a 20 dB(A) per la Classe R1, 27 dB(A) per la Classe R2 e 35 dB(A) per la Classe R3.

CLASSE R1 **20 ≤ Rw ≤ 27 dB(A)**	**CLASSE R2** **27 ≤ Rw ≤ 35 dB(A)**	**CLASSE R3** **Rw > 35 dB(A)**
Vetro semplice con lastra di medio spessore (4÷6 mm) e guarnizioni addizionali. Doppio vetro con lastre di limitato spessore (3 mm) e distanza tra queste di almeno 40 mm.	Vetro semplice con lastra di elevato spessore (8÷10 mm) e guarnizioni addizionali. Vetro stratificato antirumore con lastra di medio/elevato spessore (6÷8 mm) e guarnizioni addizionali. Doppio vetro con lastre di medio spessore (4÷6mm), guarnizioni addizionali e distanza tra queste di almeno 40 mm. Doppia finestra con vetri semplici di spessore medio (4÷6 mm) senza guarnizioni addizionali.	Vetro stratificato antirumore di elevato spessore (10÷12 mm) e guarnizioni addizionali. Vetro camera con lastre di medio spessore (4÷6 mm), camera d'aria con gas e guarnizioni addizionali. Doppia finestra con vetri semplici di spessore medio (4÷6 mm) e distanza tra le lastre di almeno 100 mm.

Tab. 4.12 - Classificazione UNI 8204 dei serramenti esterni in base alle prestazioni acustiche

Nella tabella precedente sono riportate per ciascuna di queste classi alcune delle soluzioni tecniche possibili in grado di garantire un fonoisolamento rientrante nell'intervallo caratteristico della classe. Gli obiettivi di mitigazione

adottati, espressi in termini di livello sonoro equivalente in ambiente interno (LeqLIMi), variano a seconda della destinazione d'uso del ricettore e del periodo di riferimento. Essi sono i seguenti:

Tutti i ricettori: Leq_{LIMi} = 40 dB(A) nel periodo notturno

Scuole: Leq_{LIMi} = 45 dB(A) nel periodo diurno

Ospedali e case di cura: Leq_{LIMi} = 35 dB(A) nel periodo notturno

La scelta della tipologia di serramento è stata effettuata verificando che il livello in ambiente interno, stimato in base al livello post operam mitigato in facciata ed alle caratteristiche di fonoisolamento del serramento, sia inferiore ai limiti suddetti.

Considerando che usualmente i valori misurati in ambiente interno risultano inferiori ai valori in facciata di oltre 20 dB anche con infissi di bassa qualità, si è scelto di stimare interventi diretti solo per i ricettori per cui il livello di esposizione equivalente in facciata fosse almeno 20 dB oltre il limite previsto per l'interno.

4.3.3.2.2 Interventi diretti previsti sui ricettori

Nonostante gli interventi di bonifica progettati lungo la linea ferroviaria, per molti ricettori si stimano livelli in facciata superiori ai limiti previsti dalla normativa. Applicando la valutazione esposta al capitolo precedente relativamente agli interventi diretti, si osserva che per, la maggior parte degli edifici, il rispetto dei limiti in ambiente interno può essere conseguito con infissi di categoria R1, come mostrato nella tabella seguente.

Di conseguenza, è possibile che, una volta realizzata l'opera e gli interventi di mitigazione acustica lungo le vie di propagazione del rumore, il ricorso agli interventi diretti sia necessario solo in alcuni dei casi suddetti, poiché le prestazioni di categoria R1 sono soddisfatte dalla maggior parte degli infissi attualmente sul mercato.

Dest. Uso \ Categoria Infisso	R1	R2	R3
Fascia A - Residenziale	245	20	8
Fascia B - Residenziale	45	0	0
Ospedale, Casa di Cura o di Riposo	8	0	0

Tab. 4.13 - Numero di Piani-Ricettori potenzialmente oggetto di interventi diretti sugli infissi, suddiviso per destinazione d'uso e categoria di infisso

4.4 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte per l'aspetto ambientale in questione sono costituite da tutti i cittadini che risiedono o svolgono attività nell'ambito della fascia di territorio interessata dalle emissioni di rumore della linea ferroviaria. Ad essi si uniscono gli enti pubblici preposti al controllo dell'inquinamento acustico.

Le problematiche di carattere acustico costituiscono indubbiamente uno dei temi di maggior rilievo per la popolazione che risiede in prossimità di una linea ferroviaria.

Nel caso in esame, visto l'elevato numero di superamenti previsti anche post-mitigazione, e per i quali si prevede l'adozione di interventi diretti sui ricettori, si prefigura una significativo interessamento della popolazione.

5 VEGETAZIONE, FLORA E FAUNA, ECOSISTEMI

5.1 Riferimenti legislativi

- L. del 5 agosto 1981, n.503 - "Ratifica ed esecuzione della convenzione relativa alla conservazione della vita selvatica e dell'ambiente naturale in Europa, con Allegati, adottata a Berna il 19 settembre 1979";
- L. del 11 febbraio 1992, n.157 - "Norme per la protezione della fauna selvatica omeoterma e per il prelievo venatorio. (G.U. 25 Febbraio 1992, n. 46 - Supplemento Ordinario)";
- L. del 7 Febbraio 1992, n.150 - "Disciplina applicativa della Convenzione di Washington sul commercio internazionale delle specie animali e vegetali in via di estinzione (CITES)";
- L. del 14 febbraio 1994, n.124 "Ratifica ed esecuzione della convenzione sulla biodiversità, con annessi, fatta a Rio de Janeiro il 5 giugno 1992";
- D.P.R. del 8 settembre 1997, n. 357 - "Testo aggiornato e coordinato al D.P.R. 12marzo 2003 n.120 – Regolamento recante attuazione della direttiva 92/43/CEE relativa alla conservazione degli habitat naturali e seminaturali, nonché della flora e fauna selvatica"

5.2 Stato attuale della componente

5.2.1 Il sistema delle aree protette

Il valore ambientale espresso dal territorio carsico ha dato luogo all'istituzione di numerose aree oggetto di protezione, riferibili alla Rete Natura 2000 - SIC e ZPS, a Riserve Naturali, ad aree di rilevante interesse ambientale (ARIA):

Siti di Interesse Comunitario e Zone di Protezione Speciale

- SIC IT3330005 - Foce dell'Isonzo Isola della Cona
- ZPS IT3331001 - Foce dell'Isonzo Isola della Cona
- SIC IT3340006 Carso triestino e goriziano
- ZPS IT3341002 Aree carsiche del Venezia Giulia

Riserve Naturali

- Riserva Naturale Foce dell'Isonzo
- Riserva Naturale dei Laghi di Doberdò e Pietrarossa

A.R.I.A. Aree di rilevante interesse ambientale

- n. 19 Fiume Isonzo

L'insieme delle aree protette che interessano il territorio di riferimento è illustrato nella "*Carta delle aree protette*" (elaborati L344 00 R22 P3 SA000P 001÷002 A), allegata al Quadro di Riferimento Programmatico.

5.2.1.1 Siti di Interesse Comunitario e Zone di Protezione Speciale

L'Unione europea si è dotata di una rete di aree naturali, notoriamente definite Aree Natura 2000, composta da Siti di importanza comunitaria (SIC), che tutelano habitat e specie animali e vegetali significative a livello europeo, e Zone di protezione speciale (ZPS), rivolte alla tutela degli uccelli e dei loro habitat; scopo dichiarato dell'Unione Europea è di salvaguardare la biodiversità mediante attività di conservazione attivate non solo all'interno di queste aree ma in tutto il territorio, con particolari misure di tutela delle specie più a rischio.

La costituzione della rete Natura 2000 è prevista dalla Direttiva 92/43/CEE relativa alla Conservazione degli habitat naturali e seminaturali e della flora e della fauna selvatiche, comunemente denominata Direttiva Habitat; le Zone di protezione speciale (ZPS) sono istituite con la Direttiva 79/409/CEE, comunemente conosciuta come Direttiva Uccelli.

Le aree di pregio naturalistico della Regione sono oggetto di tutela da parte di due disposizioni normative originali: la Legge nazionale 394 del 1991 "Principi fondamentali per l'istituzione e la gestione delle aree naturali protette" e il Decreto del Presidente della Repubblica 357/96 e sgg., recepimento nazionale delle Direttive 92/43 CEE "Habitat" e della Direttiva 79/409 CEE "Uccelli" che istituiscono la rete Natura 2000 di tutela della biodiversità europea.

La Regione Friuli ha provveduto, in attuazione del DPR 357/97, a specificare i Siti di Importanza Comunitaria e le Zone di Protezione Speciale, a predisporre le misure di conservazione generali e specifiche, a preparare i piani di gestione dei siti; la rete Natura 2000, infatti, prevede la conservazione degli habitat e delle specie indicate a livello comunitario attraverso criteri di gestione e di monitoraggio, e propone la continuità fra i siti attraverso la previsione di "direttive per la gestione delle aree di collegamento ecologico funzionale".

Con la DGR 217 dd. 8.2.2007, a conclusione di una lunga diatriba con la Comunità Europea, al fine "di dare indifferibile e completa esecuzione alla sentenza della Corte di Giustizia delle Comunità europee del 20 marzo 2003, relativa alla condanna della Repubblica italiana per non avere classificato in misura sufficiente come Zone di Protezione Speciale i territori più idonei, per numero e per superficie, alla conservazione delle specie di cui all'allegato I della direttiva 79/409/CEE", la Regione Friuli ha individuato, ai sensi e per gli effetti dell'art. 4 della direttiva 79/409/CEE cd. Uccelli, le seguenti aree:

- Zona di Protezione Speciale IT3341002 "Aree Carsiche della Venezia Giulia", corrispondente all'area IBA89 "041- Carso Triestino
- sito Natura 2000 IT3340006 "Carso triestino e goriziano" modificato, ai sensi del formulario standard Natura 2000 approvato con decisione della Commissione del 18 dicembre 1996, in sito di tipo G, ovvero sito di interesse comunitario di cui alla direttiva 92/43/CEE interamente contenuto in zona di protezione di speciale.

Tale individuazione ha assorbito (in quanto ricompresi nell'unificato perimetro) i seguenti SIC e ZPS originariamente individuati:

- SIC IT3330003 Laghi di Doberdò e Pietrarossa
- SIC IT3330004 Foce del Timavo
- SIC IT3340001 Falesie di Duino
- SIC IT3340002 Monte Lanaro
- SIC IT3340003 Monte Hermada

- SIC IT3340004 Val Rosandra e Monte Cocusso
- SIC IT3340005 Monte Orsario
- ZPS IT3301001 Carso

Alla DGR 217 dd. 8.2.2007 fa seguito il Decreto Ministeriale 2 agosto 2010 "Terzo elenco aggiornato dei siti di importanza comunitaria per la regione biogeografica continentale in Italia, ai sensi della direttiva 92/43/CEE".

5.2.1.2 Descrizione delle caratteristiche delle aree della Rete Natura 2000 interessate dal progetto

SIC IT3330005 - Foce dell'Isonzo Isola della Cona; ZPS IT3331001 - Foce dell'Isonzo Isola della Cona

Il SIC IT3330005 coincide con la ZPS IT3331001, motivo per cui vengono di seguito trattati in modo congiunto.

Il sito, di superficie complessiva pari a 2.668 ha, si estende lungo la parte terminale del fiume Isonzo comprendendone anche la foce, comunemente chiamata "Isola della Cona"; questa, deltizia in origine, è circondata da due rami della foce del fiume ed è connessa con la terra ferma da un breve argine.

Il sito è caratterizzato da ampie zone a palude di acqua dolce e terreni sommersi dalle maree e comprende habitat golenali, alofili e psammofili. Sono presenti numerosi isolotti ghiaioso-sabbiosi nella "barra di foce", ampie superfici a canneto dominate da Phragmites australis, zone golenali a carici, boschi igrofili ad Alnus glutinosa, tratti di bosco planiziale su duna fossile a Populus alba dominante, vaste piane di marea con praterie di Zostera noltii e Cymodocea nodosa nonché un'area recentemente ripristinata a zona umida con pascoli allagati, canali e ghebbi, canneti, isole arborate e nude.

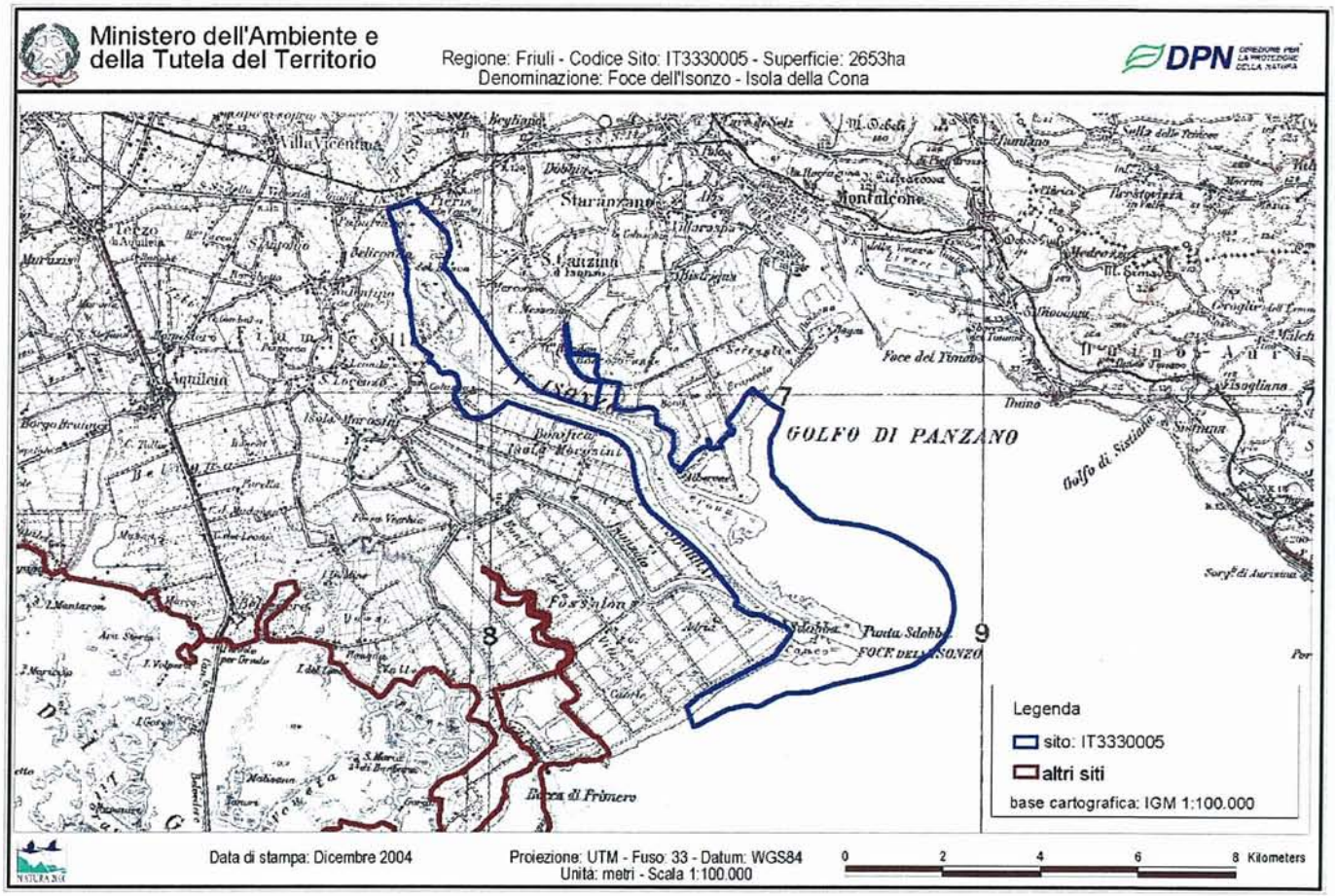


Fig. 5.1 - Il SIC IT3330005 (coincidente con la ZPS IT3331001)

Il sito racchiude tutto il corso inferiore e la foce del fiume Isonzo in cui sono rappresentati molti habitat prioritari e non spesso in uno stato di conservazione buono. E' presente una delle rarissime popolazioni di Bassia hirsuta (L.) Asch e di Limonium densissimum (Pign.) Pign.. E' presente inoltre Nymphoides peltata, specie di Lista Rossa, introdotta probabilmente dal vicino Veneto. L'area riveste importanza internazionale quale habitat per uccelli acquatici, come ad esempio: Anas penelope (fino a 25000 individui) e Anatidae svernanti (complessivamente oltre 30000). E' di primaria rilevanza anche per gli interventi di ripristino ambientale recentemente attuati nonché per il tipo di gestione che consente l'abbondante presenza di uccelli migratori in genere, fra i quali anche molti passeriformi oggetto di studi grazie all'esistenza di una stazione di inanellamento. La Stazione Biologica della Cona cataloga un totale di 311 specie di uccelli sinora segnalate. Le popolazioni di Mustela putorius in queste zone sono abbastanza floride. Comuni o molto comuni anche Emys orbicularis, Arvicola terrestris italicus, Hyla intermedia. Le presenze di Caretta caretta e Tursiops truncatus sono relativamente frequenti ma sempre episodiche e legate esclusivamente a questioni trofiche. Nelle aree salmastre, anche in quelle ricavate con interventi di ripristino, sono presenti specie ittiche eurialine come Pomatoschistus canestrinii, Knipowitschia panizzae e Aphanius fasciatus. Alosa fallax risale ancora l'Isonzo a partire dalla tarda primavera. Per la zona si conoscono catture sporadiche e non recenti di Acipenser naccarii. (Fonte: Formulario Rete Natura 2000).

Sotto il profilo faunistico l'area riveste importanza internazionale quale habitat per uccelli acquatici, come ad esempio *Anas penelope* (fino a 25.000 individui) e Anatidae svernanti (complessivamente oltre 30.000).

Il fischione (*Anas penelope*) non nidifica in Italia, salvo rare eccezioni, ma è comune e abbondante durante le migrazioni, a partire dagli ultimi decenni e in conseguenza della riduzione del disturbo venatorio, anche durante lo

svernamento. Piccoli gruppi sono presenti regolarmente anche come estivanti all'Isola della Cona e in alcune valli da pesca.

È di primaria rilevanza anche per gli interventi di ripristino ambientale recentemente attuati nonché per il tipo di gestione che consente l'abbondante presenza di uccelli migratori in genere, fra i quali anche molti passeriformi oggetto di studi grazie alla presenza di una stazione di inanellamento. La Stazione Biologica della Cona cataloga un totale di 311 specie di uccelli sinora segnalate.

Le popolazioni di *Mustela putorius* in queste zone sono abbastanza floride. Comuni o molto comuni anche *Emys orbicularis*, *Arvicola terrestris italicus*, *Hyla intermedia*.

Le presenze di *Caretta caretta* e *Tursiops truncatus* sono relativamente frequenti ma sempre episodiche e legate esclusivamente a questioni trofiche.

Nelle aree salmastre, anche in quelle ricavate con interventi di ripristino, sono presenti specie ittiche eurialine come *Pomatoschistus canestrinii*, *Knipowitschia panizzae* e *Aphanius fasciatus*. *Alosa fallax* risale ancora l'Isonzo a partire dalla tarda primavera. Per la zona si conoscono catture sporadiche e non recenti di *Acipenser naccarii*.

Esistono problemi di compatibilità tra turismo balneare e nautico nella zona di foce, nonché limitate interferenze dovute all'intensa presenza umana particolarmente lungo l'asta fluviale e sul canale Quarantia. Pesca e bracconaggio rappresentano un ulteriore limite alla presenza e consistenza di popolazioni faunistiche di rilevante importanza.

SIC IT3340006 Carso triestino e goriziano; ZPS IT3341002 Aree carsiche del Venezia Giulia

Il SIC Carso triestino e goriziano si estende sul territorio provinciale, ad esclusione delle aree marine, per circa 7.145 ha, pari al 33,7 del territorio. La superficie totale è pari a 9.648,00 ha.

La ZPS Aree carsiche del Venezia Giulia si estende su una superficie totale pari a 12.189,60 ha.

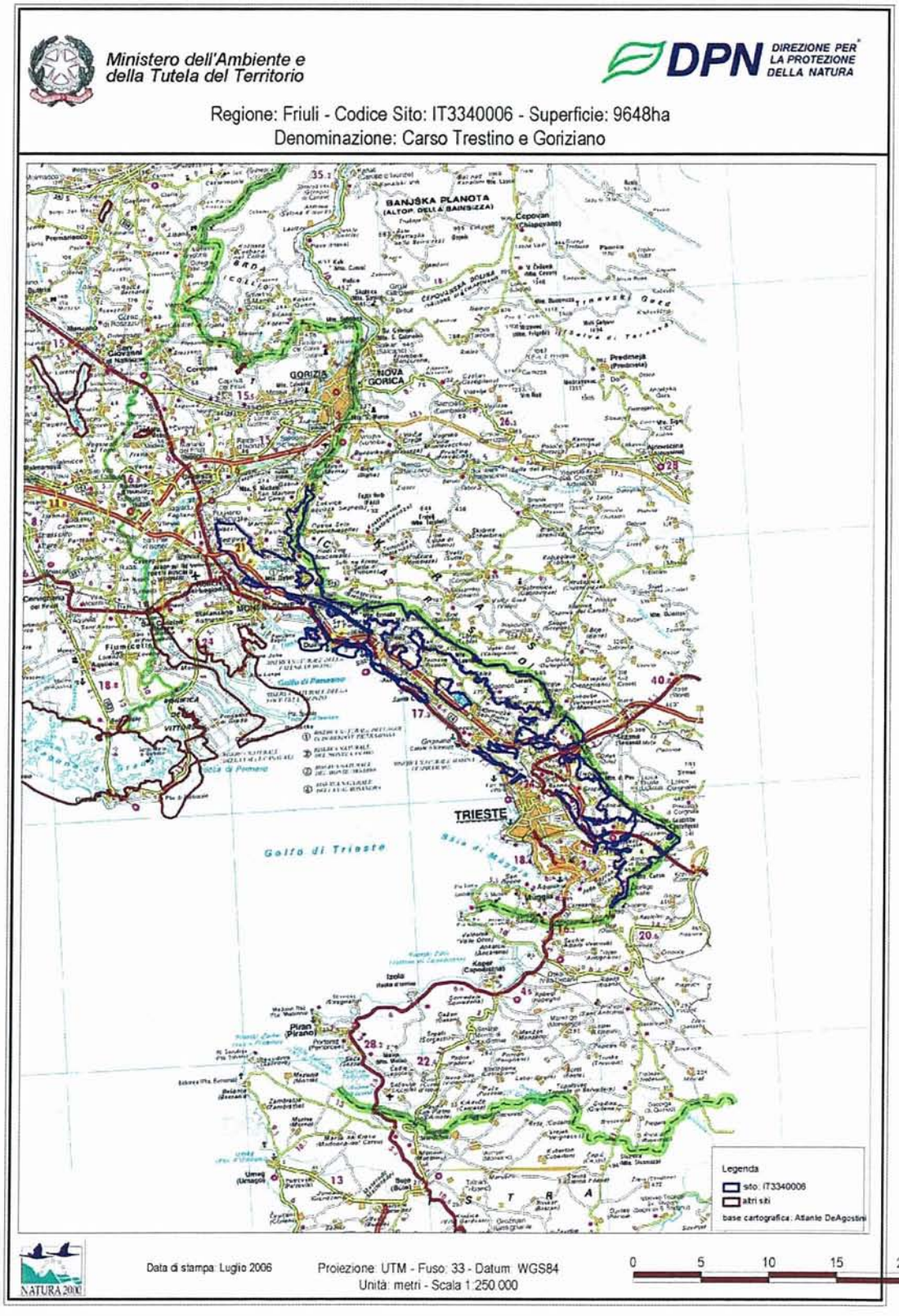


Fig. 5.2 - Il SIC IT3340006 Carso triestino e goriziano

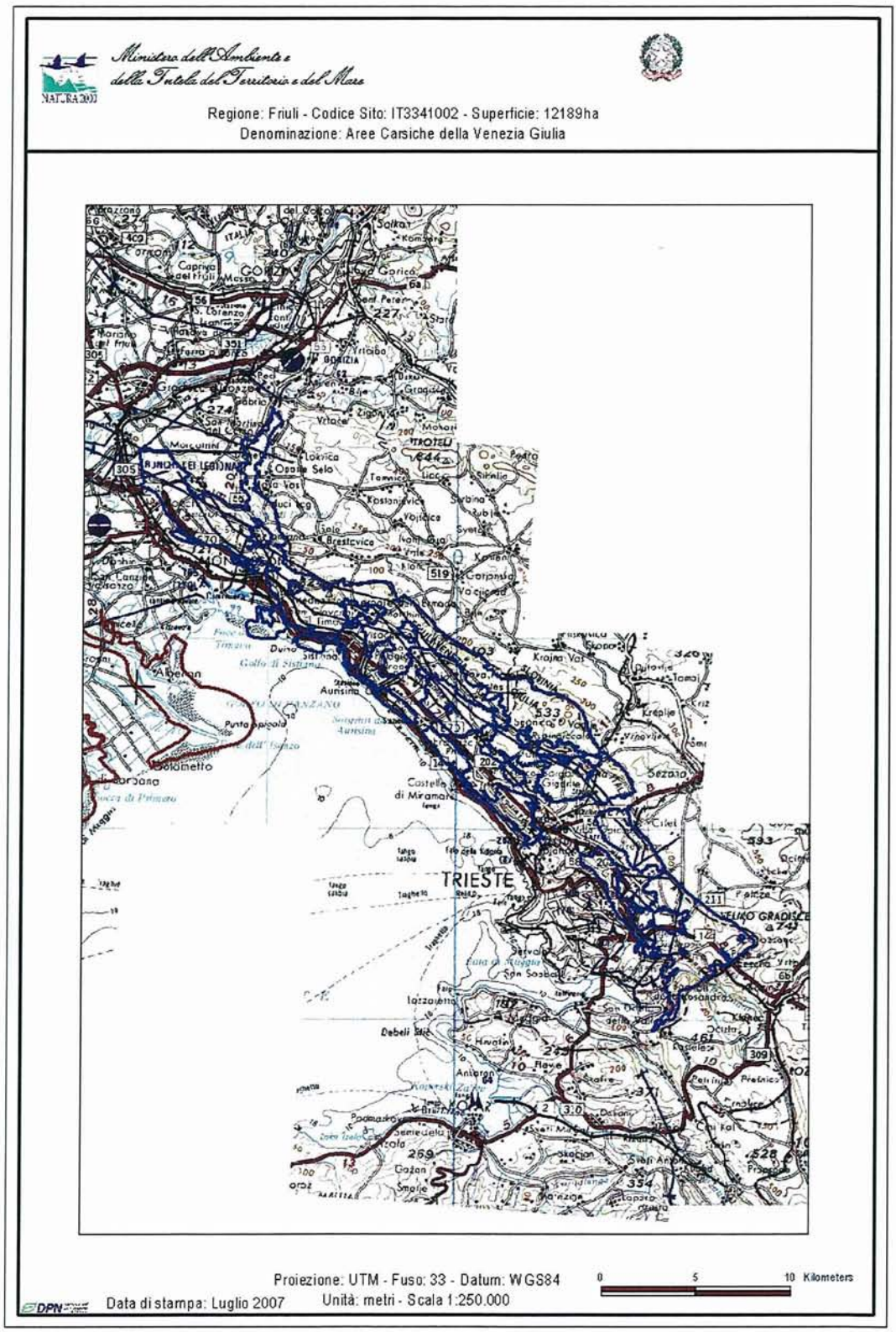


Fig. 5.3 - La ZPS IT3341002 Aree carsiche del Venezia Giulia

Il SIC Carso triestino e goriziano e la ZPS Aree carsiche del Venezia Giulia sono in gran parte coincidenti; la ZPS presenta un'estensione lievemente maggiore; per questa ragione si ritiene utile trattare le due aree Natura 2000 in modo congiunto.

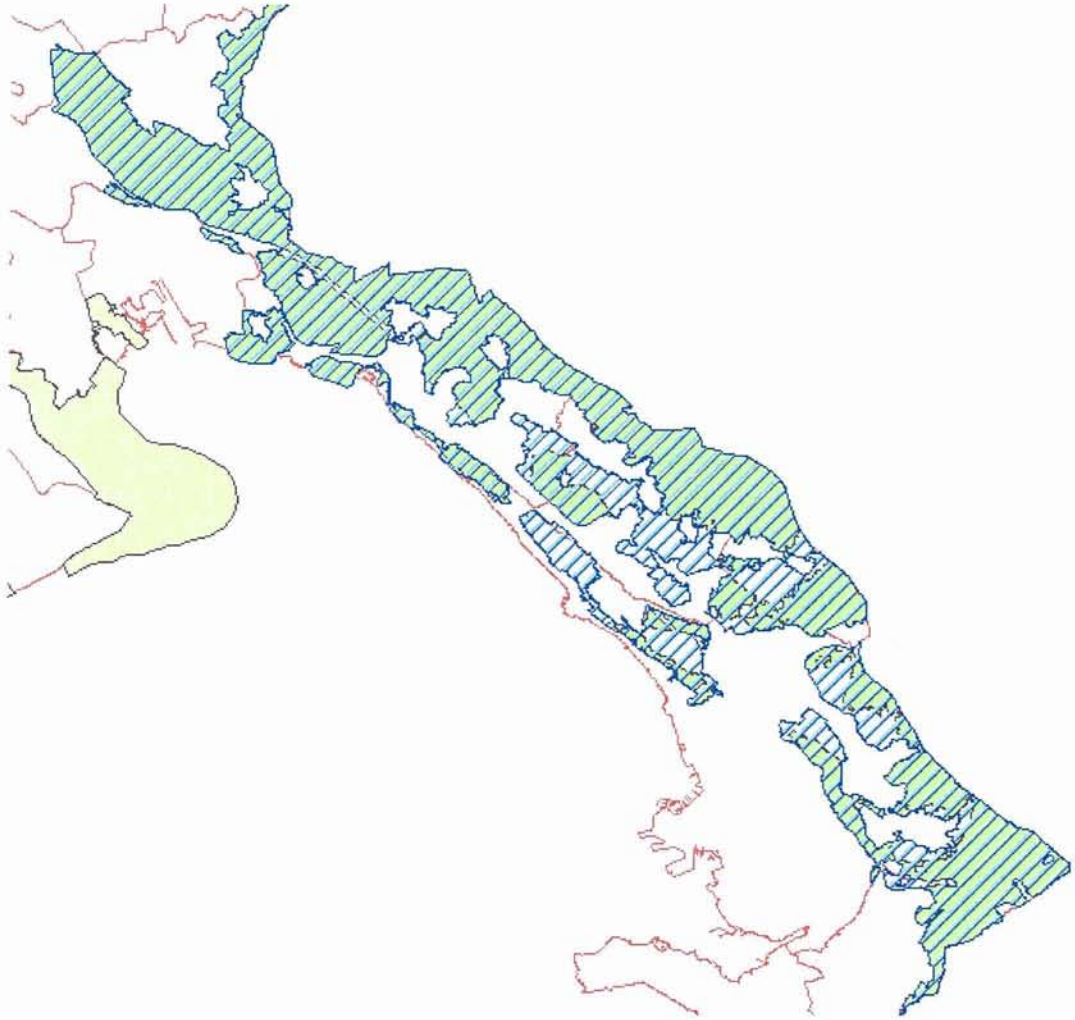


Fig. 5.4 - Confronto tra il perimetro del SIC IT3340006 (verde) e quello della ZPS IT3341002 (blu rigato)

Si tratta di un'area tipicamente carsica con rilievi collinari (la cima più alta è il Monte Cocusso con 670 m s.l.m.) e presenza di numerose doline e fenomeni carsici epigei ed ipogei; nella zona orientale è localizzata una valle fortemente incisa dal torrente Rosandra, unico corso d'acqua epigeo del carso italiano, attraversata da una faglia di contatto fra calcari e *flysch*.

Nella zona di contatto tra il Carso e la pianura alluvionale dell'Isonzo si trova il corso terminale del fiume Timavo, che rappresenta un fenomeno idrogeologico di rilevanza internazionale. Esso infatti nasce in territorio sloveno e dopo alcuni chilometri si inabissa per riaffiorare in territorio italiano nei pressi di S. Giovanni al Timavo e sfociare in mare dopo alcune centinaia di metri.

Nel tratto occidentale della linea ferroviaria vi sono, inoltre, due grandi depressioni carsiche parzialmente riempite dai laghi di Doberdò e di Pietrarossa, separate da una dorsale calcarea, che costituiscono l'unico esempio di sistema di specchi lacustri carsici alimentati da sorgenti sotterranee e suscettibili di notevoli variazioni del livello

dell'acqua. Questi fanno parte di un più ampio sistema idrologico cui appartengono anche la contigua area di Sablici, ove si trovano begli esempi di boschi paludosi, e le zone di risorgenza delle "Mucille".

Data la complessità dell'area sono presenti numerosi habitat anche molto eterogenei, fra cui numerosi habitat prioritari. Da ricordare le rupi ed i ghiaioni calcarei della Val Rosandra particolarmente ricchi in endemismi, l'unico esempio di scogliere alte della coste adriatiche settentrionali, habitat ideale per la stenoendemica Centaurea kartschiana che qui concentra la maggior parte della sua popolazione, la lecceta extrazonale della costiera triestina, la vegetazione acquatica e ripariale (fiume Timavo e laghi carsici) e le praterie alofile a salicornie annuali (Lisert) che qui raggiungono il limite più settentrionale del loro areale di distribuzione nel bacino mediterraneo. Tra le specie più significative e di pregio, molte delle quali endemiche e/o di Lista Rossa nazionale, sono da annoverare: Genista januensis (unica stazione dell'Italia nord-orientale, Daphne alpina, Genista holopetala, Moehringia tommasinii, Drypis spinosa ssp. jacquiniana, Melampyrum fimbriatum, una delle poche stazioni di Digitalis laevigata (anche sul M. Hermada) e di Lactuca quercina ssp. chaixii (anche sul M. Lanaro) nella zona della Val Rosandra; nella zona del M. Lanaro da segnalare Satureja subspicata ssp. liburnica (limite occidentale di distribuzione), Carex fritschii (unica stazione regionale), Orchis pallens, Paeonia mascula; nella zona del M. Hermada si rinvengono Sesleria juncifolia, Euphorbia fragifera e Onosma dalmatica (= O. javorkae), tutte specie che hanno qui il limite occidentale della loro distribuzione, ed una delle poche stazioni di Vicia loiseleurii. Sulle falesie di Duino vi è un'alta concentrazione di specie stenomediterranee ed endemiche oltre che le ultime stazioni nord-adriatiche di Urospermum picroides e Reichardia picroides.Nell'area dei laghi di Doberdò e Pietrarossa sono presenti stazioni di specie rare sia termofili sia di umidità quali Lens ervoides, Asterolinon linum-stellatum (uniche stazioni regionali), Crepis vesicaria e Rhagadiolus edulis, Bellevalia romana, Thelypteris palustris, Alisma lanceolatum, Leersia oryzoides, Scilla autumnalis, Viola elatior, Ranunculus velutinus, Ranunculus illyricus,Ranunculus lingua, Veronica catenata, Ophioglossum vulgatum, Linum strictum ssp. Corymbulosum, Zannichellia palustris e Utricularia australis. Nelle acque dei laghi sono concentrate ben cinque specie di Potamogeton (P. cripsus, P. lucens, P. nodosus, P. pectinatus e P. pusillus).). Il Sic del Carso raggruppa uno straordinario mosaico di zone umide e xerotermiche del Carso goriziano e triestino, e dev'essere considerato uno dei più importanti d'Italia anche dal punto di vista faunistico. In queste aree si incontrano numerose entità balcaniche, illirico-mediterranee (Carso triestino) ed italiche (Carso goriziano), in una comunità faunistica assolutamente unica nell'ambito europeo (Hyla arborea, Rana ridibunda, Algyroides nigropunctatus, Podarcis melisellensis, Telescopus fallax, Elaphe quatuorlineata, ecc.). Diffuso e localmente piuttosto comune Proteus anguinus, vertebrato stigobio di importanza prioritaria (dal 2003), che nella zona trova il suo limite occidentale di diffusione naturale. Fra le specie più importanti merita ricordare Austropotamobius pallipes, Triturus carnifex, Rana latastei, Emys orbicularis, Ursus arctos, Lynx lynx, ed un corteggio di uccelli davvero notevole (Accipiter gentilis, Bubo bubo, Strix uralensis, Otus scops, Picus canus, Dryocopus martius, Monticola solitarius, ecc.). Nella zona sono frequenti anche Zamenis longissimus, Podarcis sicula, Podarcis muralis, Felis silvestris, Canis aureus, Muscardinus avellanarius ed Erinaceus concolor, il quale in diverse zone del Carso italiano può coabitare con Erinaceus europaeus. Nei macereti è frequente Chionomys nivalis, che in queste zone si spinge quasi fino al livello del mare. Tra gli insetti merita segnalare la presenza di Leptodirus hochenwarti, conosciuto solo per alcune grotte di quest'area nell'ambito dell'intero territorio italiano, oltre che di Eriogaster catax, Euphydryas aurinia e Coenonympha oedippus. Nell'area sono presenti inoltre Lucanus cervus e Morimus funereus, mentre esistono alcune vecchie segnalazioni di Osmoderma eremita. (Fonte: Formulario Rete Natura 2000).

Data la complessità dell'area sono presenti numerosi habitat anche molto eterogenei, fra cui numerosi habitat prioritari; il SIC raggruppa uno straordinario mosaico di zone umide e xerotermiche e deve essere considerato uno dei più importanti d'Italia anche dal punto di vista faunistico.

Negli habitat presenti si incontrano numerose entità balcaniche, illiricomediterranee (Carso triestino) e italiche (Carso goriziano), in una comunità faunistica assolutamente unica nell'ambito europeo (*Hyla arborea*, *Rana ridibunda*, *Algyroides nigropunctatus*, *Podarcis melisellensis*, *Telescopus fallax*, *Elaphe quatuorlineata* ad esempio).

Diffuso e localmente piuttosto comune *Proteus anguinus*, vertebrato stigobio di importanza prioritaria (dal 2003), che nella zona trova il suo limite occidentale di diffusione naturale.

Fra le specie più importanti merita ricordare *Austropotamobius pallipes*, *Triturus carnifex*, *Rana latastei*, *Emys orbicularis*, *Ursus arctos*, *Lynx lynx* e un corteggio di uccelli davvero notevole (*Accipiter gentilis*, *Bubo bubo*, *Strix uralensis*, *Otus scops*, *Picus canus*, *Dryocopus martius*, *Monticola solitarius*).

L'Astore (*Accipiter gentilis*) frequenta vasti complessi forestali in cui predominano specie d'alto fusto. Sul Carso Triestino la densità è di una coppia ogni 20-25 km^2. L'Astore è molto sensibile al disturbo antropico, per cui risulta importante una gestione selvicolturale basata su criteri naturalistici, che rispetti i grossi alberi utilizzati per la nidificazione e non provochi disturbo nel periodo riproduttivo.

Nella zona sono frequenti anche *Zamenis longissimus*, *Podarcis sicula*, *Podarcis muralis*, *Felis silvestris*, *Canis aureus*, *Muscardinus avellanarius* ed *Erinaceus concolor*, il quale in diverse zone del Carso italiano può coabitare con *Erinaceus europaeus*.

Nei macereti è frequente *Chionomys nivalis*, che in queste zone si spinge quasi fino al livello del mare. Tra gli insetti merita segnalare la presenza di *Leptodirus hochenwarti*, conosciuto solo per alcune grotte di quest'area nell'ambito dell'intero territorio italiano, oltre che di *Eriogaster catax*, *Euphydryas aurinia* e *Coenonympha oedippus*.

Nell'area sono presenti, inoltre, *Lucanus cervus* e *Morimus funereus*, mentre esistono alcune vecchie segnalazioni di *Osmoderma eremita*.

L'imponente sistema idrologico sotterraneo risulta particolarmente vulnerabile all'inquinamento idrico e alla realizzazione di infrastrutture, soprattutto in relazione alla conservazione di *Proteus anguinus*, minacciato anche dall'abuso delle raccolte amatoriali.

Le cavità carsiche rivestono notevole valore per i Chirotteri mentre la tutela delle rare e localizzate raccolte d'acqua esistenti è prioritaria per la conservazione delle risorse biogenetiche di importanza nazionale, costituite dalle popolazioni di *Hyla arborea* e *Rana ridibunda*.

I processi di incespugliamento, comuni a tutta l'area carsica, producono una forte contrazione delle praterie termofile ("lande") con il rischio di una notevole perdita di biodiversità sia nella componente floristica che in quella faunistica.

I cambiamenti di uso del suolo, quali ad esempio l'impianto di vigneti, causano una notevole perdita in biodiversità oltre che erosione del suolo. A ridosso del sito vi sono poi tutta una serie di impianti industriali di notevoli dimensioni, dotti energetici ed infrastrutture fonti di vulnerabilità e inquinamento floristico.

5.2.1.3 Riserve Naturali

Le informazioni riportate nel presente paragrafo sono tratte dalla pubblicazione "*Aree naturali protette nel Friuli Venezia Giulia*", edita dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale risorse agricole, naturali, forestali e montagna.

Riserva Naturale Foce dell'Isonzo

Il fiume Isonzo nasce nelle Alpi Giulie in territorio sloveno e scorre tutto il suo tratto italiano in una pianura paesaggisticamente integra; il Piano urbanistico regionale generale del 1978 aveva individuato il corso dell'Isonzo

come totalmente meritevole di tutela e lo aveva inserito fra i 14 parchi naturali della Regione. Con la legge n. 42 del 1996 l'area protetta è stata limitata alla sola parte terminale del suo corso, che corrisponde all'incirca agli ultimi 15 km verso la foce. Sebbene ridotta drasticamente in estensione, la Riserva naturale possiede eccezionali contenuti sotto il profilo naturalistico, tanto da essere considerata una delle aree più conosciute e frequentate da coloro che praticano il birdwatching.

Il territorio complessivo dell'area protetta si estende su 2.338 ettari che ricadono nei comuni di Fiumicello e Grado in destra idrografica, San Canzian d'Isonzo e Staranzano in sinistra idrografica.

La Riserva naturale permette di osservare una vasta gamma di tipi vegetali del cosiddetto orizzonte basale e, in particolare, degli ambienti umidi planiziali sia di acqua dolce che salmastra; l'area è caratterizzata in particolare da ampie zone di palude di acqua dolce e da terreni sommersi dalle maree. Sono presenti, inoltre, ampie superfici a *Phragmites australis* dominante, zone golenali a *Carex* spp., boschi igrofili ad *Alnus glutinosa* e tratti di bosco planiziale su duna fossile a *Populus alba* dominante.

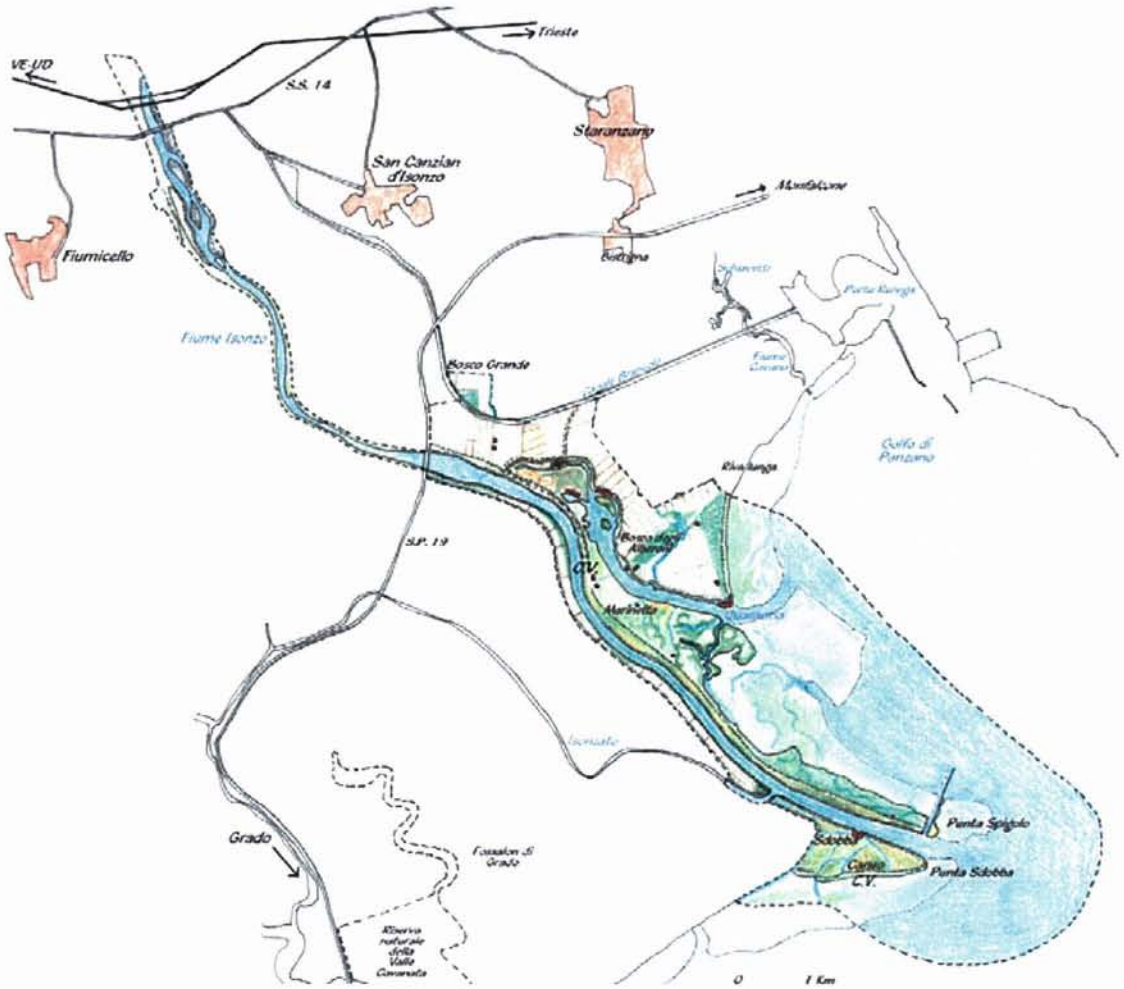


Fig. 5.5 - Area della Riserva Naturale Foce dell'Isonzo

La Riserva della Foce dell'Isonzo offre la possibilità di osservare una vasta gamma di specie animali di particolare interesse, a volte appartenenti a specie altrove rare o inconsuete.

Dopo l'istituzione dell'area naturale protetta, gli effetti più vistosi in relazione all'aumento di biodiversità si sono verificati a favore dell'avifauna che viene costantemente monitorata: finora è stata rilevata la presenza di oltre 300 specie di uccelli. Di questi alcuni sono migratori e scelgono l'area della Riserva per sostare e alimentarsi durante l'andata o il ritorno dal loro lungo viaggio, altri scelgono la zona per svernare, altri ancora per trascorrervi il periodo estivo.

In Riserva sono presenti delle strutture per la visita e per l'osservazione degli uccelli, come il Centro visite all'Isola della Cona e il Centro visite Caneo presso la foce del fiume.

La Riserva naturale permette di osservare una vasta gamma di tipi vegetali del cosiddetto orizzonte basale e, in particolare, degli ambienti umidi planiziali sia di acqua dolce che salmastra.

La Riserva mostra, quindi, una notevole ricchezza faunistica. Per quanto concerne la fauna ittica, sono presenti sia specie marine che di acqua dolce, come è tipico delle zone di estuario: diverse specie di cefali, la cheppia e la passera verso il mare, mentre nel fiume sono maggiormente presenti il luccio, la scardola, la carpa, l'anguilla.

Sulle spiagge della linea di costa viene a nutrirsi la tartaruga di mare (*Caretta caretta*) mentre fra gli anfibi domina *Rana esculenta* accompagnata da diverse altre specie fra cui *Bombina variegata*, *Hyla intermedia*, *Bufo viridis*, *Rana latastei* e *Triturus carnifex*.

Anche i mammiferi hanno tratto beneficio dalla tranquillità dei luoghi: si constata un discreto aumento del capriolo, del tasso, della volpe e della lepre. È recente anche la segnalazione del gatto selvatico.

Fra i più significativi interventi condotti a partire dal 1990 vanno citati la reintroduzione dell'oca selvatica e l'introduzione del cavallo della Camargue, il controllo del livello idrico per comparti territoriali particolari e i tagli della vegetazione per favorire i limicoli e gli aironi. Proprio prati e pascoli umidi ospitano grandi concentrazioni primaverili di beccaccini, combattenti, piri piri boscherecci, pittime reali e pavoncelle, mentre nelle zone con acqua più profonda cacciano le garzette, gli aironi bianchi maggiori e aironi cenerini.

Gli anatidi frequentano generalmente gli stagni più o meno profondi e le zone marine della Riserva. In questa area fra le anatre di superficie i gruppi più numerosi sono senz'altro quelli del fischione (fino a 25.000 individui svernanti) e del germano reale.

In alcuni inverni gli uccelli acquatici, inclusa la folaga, hanno superato le 40.000 unità. Le anatre tuffatrici, che quindi si immergono anche parecchi metri in cerca del cibo, sono regolarmente rappresentate dalla moretta e dal moriglione, specie che hanno tratto notevole giovamento dai ripristini ambientali come aree di rifugio e alimentazione.

I ripristini con acque poco profonde favoriscono la nidificazione del cavaliere d'Italia e del corriere piccolo, che costruiscono il nido nelle aree emerse con scarsa vegetazione.

La parte di Riserva naturale più aperta verso il mare, che coincide con la zona delle barene e delle velme, concede importanti occasioni per osservare i limicoli di grandi dimensioni come il chiurlo maggiore, che in questa zona in alcuni mesi dell'anno raggiunge elevate concentrazioni, tra le più importanti a livello regionale e nazionale.

Sono presenti anche il chiurlo piccolo, la pivieressa e la pittima minore e limicoli di piccola taglia come i piovanelli pancianera e tridattili oppure i voltapietre.

Sui banchi sabbiosi presenti alla foce nidificano la beccaccia di mare e il fraticello che godono di particolare tutela al fine di evitare ogni disturbo, particolarmente durante la riproduzione. In questa zona ha nidificato anche l'edredone e il dato rappresenta la prima segnalazione di questo tipo per l'intero Mediterraneo.

Nel periodo invernale degli ultimi anni è rilevante la presenza di grandi stormi di oche, soprattutto lombardelle ma anche selvatiche e granaiole, che in alcuni casi hanno superato le 3.000 unità. Tra questi ospiti, provenienti dalle lontane regioni siberiane, sono state recentemente segnalate le rarissime oca collorosso e l'oca lombardella minore.

La parte settentrionale della Riserva, che comprende il corso dell'Isonzo fino alla sua confluenza con il Torre, e molto importante per alcune specie nel periodo della nidificazione: piro piro piccolo e corriere piccolo nelle zone del greto, martin pescatore e gruccione lungo le sponde sabbiose, allocco, falco pecchiaiolo, lodolaio, picchio rosso minore e rampichino nelle golene e nelle lanche boscose. Questo tratto del fiume ospita nei mesi invernali gruppi di smerghi maggiori e di quattrocchi, vi è stata segnalata la rarissima aquila di mare ed è frequente il picchio nero.

Soprattutto nei periodi della migrazione primaverile e autunnale, i canneti e i cespuglieti delle golene dell'Isonzo rappresentano una importantissima zona di sosta e alimentazione per numerose specie di passeriformi migratori.

Riserva Naturale dei Laghi di Doberdò e Pietrarossa

Il territorio noto come Carso triestino e goriziano fu inserito dal Piano urbanistico regionale generale (PURG) del 1978 quale area meritevole di speciale tutela e dunque quasi totalmente perimetrato come parco naturale che comprendeva al suo interno una serie di ambiti di particolare pregio naturalistico. Essi erano stati già individuati da una legge dello Stato italiano (la cosiddetta legge Belci, n. 442 del 1971) che aveva dettato le direttive per la loro costituzione in aree protette. Sia la legge Belci che il PURG sono rimasti indicazioni prive di concreta efficacia finche con la legge regionale n. 42 del 1996 si e pervenuti ad una soluzione del dibattuto problema con la formale istituzione di cinque riserve naturali in vista della successiva costituzione di un parco intercomunale.

Le riserve che la legge regionale n. 42 del 1996 istituisce rispondono all'urgenza di tutelare alcune delle parti più vulnerabili del territorio carsico oltre che di conservare alcuni degli aspetti che rendono più elevata la biodiversità dell'intera Regione.

Il territorio regionale che presenta fenomeni di carsismo è molto vasto, data la grande estensione delle formazioni geologiche carbonatiche (calcari, dolomie, gessi), ma l'area carsica per eccellenza, che ha dato il nome al fenomeno, si colloca nei dintorni di Trieste.

Se il fenomeno geomorfologico prevalente è dato dalla struttura ipogea, con il grande e ancora per larga parte inesplorato mondo di grotte, inghiottitoi, fessurazioni, fratture, corsi d'acqua sotterranei, non meno importante appare il Carso superficiale con forme di erosione e di corrosione dovute alla dissoluzione delle rocce, il paesaggio vegetale dominato da una flora adattata alla grande aridità (xerofilia), con l'evidente assenza di una rete idrografica e con rari affioramenti idrici e dunque già per questo preziosi.

Interessante è anche la parte di Carso triestino e goriziano, che possiede netti caratteri di continuità ambientale e geografica con il confinante Carso nel territorio sloveno; in particolare vi è la stretta interdipendenza per quel che concerne il reticolo idrografico ipogeo. Il limite sud-occidentale del territorio italiano è, infine, costituito dal Mare Adriatico e di conseguenza su questa stretta fascia di territorio convergono gli influssi determinanti di tre regioni floristiche: la mediterranea, che si manifesta prevalentemente sul ciglione carsico e sulle falesie rivolte al mare; la centroeuropea, concentrata nelle formazioni forestali dell'altopiano e delle doline; la illirico-balcanica, più evidente nelle praterie e di lande pascolive.

La Riserva dei Laghi di Doberdò e Pietrarossa comprende due grandi depressioni carsiche parzialmente riempite da due laghi e separate da una dorsale calcarea con numerosi fenomeni epigei.

La Riserva ricade nei Comuni di Doberdò del Lago, Monfalcone e Ronchi dei Legionari e si estende su una superficie di 726 ettari. Nei pressi dell'abitato di Doberdò del Lago, dove era attiva in passato una cava per

l'estrazione del calcare, è stato realizzato, con un'operazione di recupero e di ristrutturazione dei vecchi edifici, un centro visite con un museo naturalistico-storico, una sala conferenze, una foresteria e un punto di ristoro.

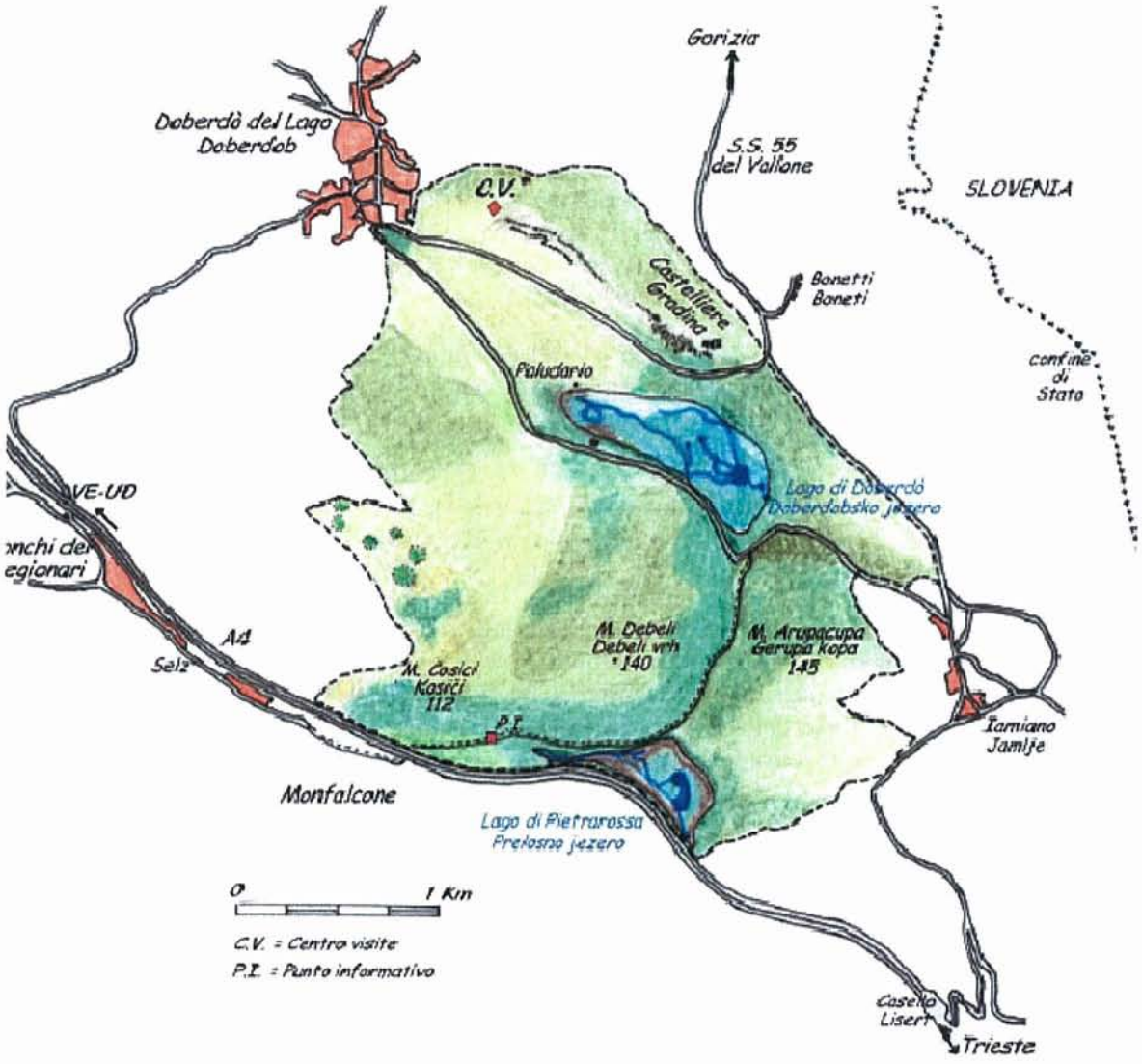


Fig. 5.6 - Area della Riserva Naturale Laghi di Doberdò e Pietrarossa

Nell'area si trovano due depressioni che durante i periodi piovosi si riempiono dall'acqua di falda formando i laghi carsici di Doberdò e Pietrarossa; nei laghi carsici il livello dell'acqua è molto variabile, alternando periodi di allagamento (primavera e autunno) con periodi di prosciugamento (inverno ed estate).

Il Lago di Doberdò, assieme al Lago di Cerknica in Slovenia, è uno dei pochi esempi in Europa di lago carsico; il livello delle sue acque varia in relazione con le portate dei fiumi Vipacco ed Isonzo, le cui acque alimentano il lago attraverso il sistema ipogeo del Carso goriziano.

L'acqua di falda fuoriesce attraverso le sorgenti carsiche localizzate lungo il limite occidentale del lago. Lungo quello orientale, invece, vi sono numerosi inghiottitoi, attraverso i quali l'acqua scompare e dopo un breve tratto sotterraneo ricompare per formare il Lago di Pietrarossa. Durante i periodi di magra dei fiumi Vipacco e Isonzo il livello dell'acqua cala e del lago rimangono canali e pozze di pochi metri di diametro.

Il secondo lago, il Lago di Pietrarossa, si trova su una fascia di terreno alluvionale di forma allungata. Le sorgenti dalle quali nascono i ruscelli che alimentano tutta la zona si trovano nella parte nord-occidentale, mentre nella parte sud-orientale si estendono il lago e il ruscello emissario.

La particolare idrologia delle aree umide consente la vita a comunità ittiche in grado di sopportare ampie variazioni termiche dell'acqua e forti diminuzioni dell'ossigeno disciolto; pertanto nel Lago di Doberdò e presente una comunità ittica quasi esclusivamente a pesci ciprinidi tipici di acque a corso lento o lacustri.

Nelle zone prossime alle sorgenti si possono rinvenire specie come lo scazzone (*Cottus gobio*) e la sanguinerola (*Phoxinus phoxinus*) che, pur essendo largamente euriterme e tollerando bassi tassi di ossigeno disciolto, esigono una certa abbondanza di acqua e una leggera corrente. Sono, inoltre, presenti il triotto (*Rutilus erythrophthalmus*), la tinca (*Tinca tinca*), la scardola (*Scardinius erythrophthalmus*), il cobite comune (*Cobitis taenia*), il ghiozzo padano (*Padogobius martensii*) e l'anguilla (*Anguilla anguilla*).

Nella zona del Lago di Doberdò è presente il proteo (*Proteus anguinus*), anfibio cavernicolo endemico del Carso, che è stato più volte osservato in occasione dell'emergenza di acque di falda sotterranea. Tra gli altri anfibi sono presenti *Salamandra salamandra*, *Triturus carnifex*, *Triturus vulgaris*, *Bufo bufo*, *Bombina variegata*, *Rana dalmatina*, *Rana esculenta*.

Tra i serpenti troviamo *Natrix natrix*, *Natrix tessellata*, *Coluber viridiflavus*, *Elaphe longissima* e la vipera dal corno. Tra le lucertole si citano *Algyroides nigropunctatus*, *Podarcis melisellensis fiumana*, *Podarcis muralis* e *Lacerta bilineata*.

La presenza di ambienti umidi ed aridi all'interno della Riserva favorisce la presenza di numerose specie di uccelli. Le specie legate alla zona umida e meritevoli di segnalazione sono il cormorano, il tarabuso, il tarabusino, la moretta tabaccata, la moretta, il voltolino e la schiribilla. La prima segnalazione per la Regione del marangone minore è avvenuta proprio nell'area della Riserva nel 1985. Sulla landa sono presenti la tottavilla, l'allodola, il calandro, la calandrella, l'averla piccola e lo strillozzo.

La presenza di alberi vecchi e di grosso diametro favorisce la presenza di varie specie di picchi, tra i quali il picchio verde, il picchio cenerino e il picchio nero. Numerosi sono i rapaci come il falco pecchiaiolo, il biancone, la poiana, l'astore, lo sparviere e il gufo reale.

Tra i mammiferi si citano le specie più importanti come la puzzola, il gatto selvatico e lo sciacallo. La Riserva è una delle poche stazioni in Italia del riccio orientale (*Erinaceus concolor*), simbolo della Riserva stessa. Questa specie di riccio è diffusa in Europa Orientale e si trova qui al limite occidentale del suo areale di distribuzione.

5.2.1.4 Altri ambiti di valenza ambientale

Nell'area di indagine è presente l'"Ambito di rilevante interesse ambientale" (ARIA) n. 19 "Fiume Isonzo (ai sensi della Legge regionale 42/1996)

Le Aree di rilevante interesse ambientale (ARIA) sono definite nell'art. 5 della Legge Regionale n. 42/1996, così come modificato dall'art. 10 Legge regionale n. 10/1998. Le ARIA sono aree la cui delimitazione, che non include territori di parchi, riserve o aree di reperimento, è effettuata avuto riguardo della presenza di vincoli di carattere idrogeologico e ambientale, nonché di siti di importanza comunitaria o nazionale.

L'ARIA n. 19 si estende su una superficie pari a 1.798,5 ha e comprende i seguenti comuni: Fogliano-Redipuglia, Gorizia, Gradisca d'Isonzo, Sagrado, San Canzian d'Isonzo, San Pier d'Isonzo, Savogna d'Isonzo, Turriaco e Villesse, in provincia di Gorizia, Fiumicello e Ruda in Provincia di Trieste.

La normativa prevede che " *... sono specifico oggetto di tutela e devono pertanto essere mantenuti entro il perimetro dell'ARIA e assoggettati a specifica zonizzazione e normativa:*

a) gli alvei dei corsi d'acqua comprese le loro sponde, per il loro valore di elementi naturali morfologici;

b) le aree di golena, quali componenti funzionali del sistema fluviale sotto il profilo morfologico e paesaggistico;

c) le formazioni prative e boscate prossime al fiume o intercalate nei suoi tratti meandriformi per la forte caratterizzazione ambientale e per la loro funzione di aree di espansione delle piene".



Fig. 5.7 - Localizzazione dell'ARIA n. 19 Fiume Isonzo, evidenziata in colore azzurro

Nell'area vasta di indagine sono presenti l'IBA063 Foci dell'Isonzo, Isola della Cona e Golfo di Panzano (superficie 2.742,31 ha) e l'IBA066 Carso (superficie 21.012,12 ha).

Le aree IBA ("Important Bird Area" -Aree importanti per gli uccelli") sono inserite in una rete internazionale che raggruppa numerose associazioni che si dedicano alla conservazione degli uccelli in tutto il mondo. Nascono al fine di conservazione della biodiversità in generale e dell'avifauna in particolare minacciate di estinzione o in declino.

La minaccia principale è costituita dalla perdita di habitat, a sua volta dovuta a molteplici fattori quali ad esempio la deforestazione, la trasformazione di habitat naturali in terreni agricoli o la transizione da agricoltura tradizionale ad agricoltura intensiva, la bonifica delle zone umide, l'urbanizzazione e lo sviluppo di infrastrutture.

5.2.2 Analisi dello stato attuale

Si riportano nel presente capitolo i risultati raccolti dall'analisi ambientale, vegetazionale e faunistica effettuata su un territorio esteso su una fascia larga circa 1 km a cavallo del tracciato ferroviario, finalizzata alla individuazione e alla definizione delle condizioni attuali della componente nell'area interessata dalla realizzazione dell'opera; la scelta di tale area come riferimento complessivo consente di illustrare le condizioni ambientali su un territorio sufficientemente ampio, individuandone le caratteristiche essenziali.

Per descrivere le componenti ecologiche, vegetazionali e faunistiche presenti sull'area sono state condotte le seguenti operazioni:

- analisi vegetazionale;
- identificazione delle caratteristiche dei biotopi;
- individuazione di aree di interesse naturalistico;
- individuazione di habitat di interesse faunistico;
- individuazione di corridoi ecologici.

L'indagine di campo è stata supportata da una ricerca bibliografica di approfondimento, condotta consultando testi, carte tematiche e pubblicazioni prodotti, in particolare, dalla Regione Friuli Venezia Giulia.

Successivamente l'analisi viene approfondita verso l'individuazione dei principali impatti che l'opera può determinare sul territorio e la definizione delle misure di mitigazione necessarie per la loro minimizzazione.

5.2.2.1 Vegetazione e flora

Lo studio della vegetazione si articola attraverso una caratterizzazione territoriale che prende in esame le caratteristiche bioclimatiche, la vegetazione reale e potenziale, l'individuazione di elementi di particolare pregio, l'istituzione di aree protette nell'ambito della pianura dell'Isonzo e del Carso triestino e Goriziano; l'analisi di dettaglio approfondisce un corridoio di studio di ampiezza pari a circa 1 km per lato dal tracciato ferroviario, al cui interno si ritiene si esauriscano le potenziali interferenze prodotte dalla linea sulle fitocenosi circostanti.

Relativamente a tale ambito l'elaborazione dei dati desunti da fotografie aeree, da sopralluoghi ricognitivi in campo, dalla letteratura scientifica (in particolare "Carta della vegetazione del Carso isontino e triestino", Poldini 1982), nonché dalle informazioni raccolte presso enti di ricerca (Università, CNR, Musei di Storia Naturale di Trieste e di Udine) ha consentito di mappare le formazioni vegetali nella *Carta della vegetazione* (elaborati L344 00 R22 P5 SA000A 009÷016 A), di delineare le caratteristiche floristico-vegetazionali e di individuare i processi dinamici in atto sul territorio.

La linea ferroviaria in progetto attraversa due ambiti territoriali notevolmente differenziati, ben definiti sia dal punto di vista geomorfologico che dal punto di vista vegetazionale, riferibili alla pianura alluvionale dell'Isonzo e alla fascia dell'altipiano carsico retrostante la costa triestina (Carso triestino ed isontino); dal punto di vista bioclimatico l'area appartiene in entrambi i casi al clima temperato, regione mesaxerica, sottoregione ipomesaxerica, caratterizzato da precipitazioni annue comprese tra 700 e 1000 mm, con valore minimo ricadente nella stagione invernale e valori massimi autunnali e primaverili.

5.2.2.1.1 La pianura alluvionale dell'Isonzo: la vegetazione potenziale

Nell'ambito della pianura gli elementi a carattere naturale occupano allo stato attuale superfici limitate, essenzialmente rappresentate da fitocenosi igrofile legate alle acque interne (fiume Isonzo), da formazioni alofile e psammofile proprie della fascia litoranea e da rari relitti boscati attribuibili alle cenosi nemorali.

La vegetazione originaria, oggi povera e spoglia pressoché interamente, era presumibilmente articolata in consorzi floristici ben differenziati in funzione dei caratteri stazionali, soprattutto geo-pedologici ed idrologici, che possono variare sensibilmente anche in ambiti ristretti.

La vegetazione boschiva, nei limitati lembi in cui si è mantenuta, mostra attualmente delle variazioni floristiche, sostanziali, dovute non solo alle diverse situazioni di origine ma anche all'azione perturbatrice dell'uomo: la ripetuta asportazione degli esemplari migliori, la ceduazione delle specie di taglia più modesta e di minor pregio, le periodiche ripuliture, hanno destrutturato ciò che è rimasto degli antichi boschi planiziali e anche l'articolazione in più strati è oggi spesso mascherata dal fatto che le specie arboree di taglia secondaria competono con quelle di taglia superiore, cui non è più consentito di esprimere le potenzialità.

Per queste ragioni la vera composizione delle associazioni floristiche planiziali padane nelle loro diverse varianti locali non sono note con precisione, al punto che i botanici, a proposito delle formazioni climax, sovente si esprimono in termini di vegetazioni potenziali di specifiche aree geografiche, ricercando anche in fonti storiche o fossili indicazioni relative alla presenza e alla prevedibile consistenza di specie in un ipotetico ecosistema sottratto all'azione antropica.

Gli studi sul modesto materiale relitto di pianura consentono pur sempre di riconoscere un ambito ben definito, il querco-carpineto, che mostra una fisionomia, riconosciuta sulla base dei dati palinologici, simile a quella dei boschi preistorici, in grado di ricondurci alle composizione delle *silvae glandariae* disboscate dai romani.

La foresta decidua meso-igrofila del *Querco-carpinetum boreoitalicum* (Pignatti), recentemente definita da Marincek (1994) come *Asparago tenuifolii-Quercetum roboris*, rappresenta pertanto il modello della vegetazione forestale della pianura; in particolare, nelle valli dei fiumi, poco depresse ma con caratteri geo-pedologici ben differenziati, si riscontrano vari e numerosi tipi di vegetazione assai vicini tra loro, discriminati in base alla costituzione granulometrica del suolo e ai rapporti con la falda.

Può risultare interessante a tale proposito richiamare quanto esposto da Polunin-Walters (1987), che evidenziano come tutta la Pianura Padana, benché inserita climaticamente nel contesto della vegetazione mediterranea, in realtà presenti un complesso ecosistemico potenziale caratteristico della vegetazione centroeuropea, della quale rappresenta un'appendice meridionale; per contro Sartori (1988) e Andreis (1993) si dissociano da questa tesi affermando la particolarità e l'unicità delle condizioni climatiche ed edafiche della Pianura Padana, tali da determinare l'affermarsi di un querco-carpineto tipicamente padano; questo si verifica sia per gli eventi legati a condizioni climatiche tipicamente temperate, sia per la presenza di suoli alluvionali recenti particolarmente fertili.

Il bosco planiziale padano predilige terreni profondi, freschi e fertili, acidi e subumidi, con falda relativamente alta, impostati sul Diluvium recente; la componente legnosa si articola in più strati costituiti da latifoglie decidue mesofile, dove lo strato arboreo, ad elevata copertura, domina su uno strato di bassi alberi, con copertura più modesta, un fitto strato alto arbustivo ed uno strato basso arbustivo piuttosto rado, maggiormente denso solamente in occasione di chiarie o sui margini meglio esposti; lo strato erbaceo si dimostra eterogeneo e variabile, rappresentato per lo più da specie perenni nemorali o dal ciclo vegetazionale precoce, tale da verificarsi quando gli alberi non hanno ancora aperto il fogliame e la luce del sole può penetrare fino al suolo.

Classico è lo schema di successione forestale costruito sulla diversa disponibilità d'acqua nel suolo e sulla periodica sommersione dovuta ad eventi idrologici di piena, che determinano l'avvicendarsi di diverse specie in stretto rapporto con il grado di affrancamento dall'acqua; lungo le rive dei fiumi o in prossimità di raccolte d'acqua

sono pertanto ampiamente diffusi il salice bianco (*Salix alba*) dominante sulle forme arbustive del salice grigio (*Salix cinerea*) e del salice rosso (*Salix purpurea*), accompagnati dal pioppo nero (*Populus nigra*) e dal pioppo bianco (*Populus alba*); nelle stazioni umide e non interessate da rimaneggiamenti del suolo determinati dal variare delle correnti fluviali prevale la presenza di ontano nero (*Alnus glutinosa*) frequentemente associato al pado (*Prunus padus*) e al viburno pallon di maggio (*Viburnum opulus*).

Allontanandosi dall'acqua si afferma una vegetazione via via caratterizzata dalla presenza di frassino maggiore (*Fraxinus excelsior*), olmo campestre (*Ulmus minor*), acero campestre (*Acer campestre*) e farnia (*Quercus robur*) sino all'insediamento sui terreni più evoluti e completamente esclusi da interferenze fluviali della vegetazione climax del querco-carpineto rappresentata, oltre che dalla farnia, anche da carpino bianco (*Carpinus betulus*) e da numerose specie accompagnatrici.

Lo strato arbustivo è caratterizzato dalla presenza di nocciolo (*Corylus avellana*), biancospino (*Crataegus monogyna*), sanguinello (*Cornus sanguinea*), fusaggine (*Euonymus europaeus*) e da un fitto corredo di specie secondarie; in condizioni di minore umidità del suolo si rinvengono arbusti tendenzialmente xerofili come il corniolo (*Cornus mas*), la rosa selvatica (*Rosa canina*), il ligustro (*Ligustrum vulgare*) Queste specie si trovano oggi a contendere i limitatissimi spazi a disposizione con una vegetazione esotica estremamente rustica ed invasiva, rappresentata principalmente da robinia (*Robinia pseudacacia*), ailanto (*Ailanthus altissima*), indaco bastardo (*Amorpha fruticosa*).

Lo strato erbaceo è rappresentato da fitti tappeti vegetali formati dal mughetto (*Convallaria majalis*) e dall'anemone dei boschi (*Anemone nemorosa*); tipiche del querceto misto di caducifolie sono anche il sigillo di Salomone (*Poligonatum multiflorum*) e *Aristolochia clematitis*.

In territorio di pianura, pertanto, la vegetazione potenziale del *Querco-carpinetum* evidenzia traslazioni verso il *Querco-ulmetum* nelle stazioni di maggiore umidità e verso formazioni di carattere ancor più igrofilo nell'ambito delle valli fluviali, dove più intense sono le variazioni di tipo idrologico: *l'Alnetum glutinosae* nelle situazioni di frequente ristagno d'acqua e diverse forme di *Salicetum* in ambiente ripariale.

Le specie componenti tali associazioni sono accomunate da uguale continentalità termica mentre manifestano gradi diversi di continentalità idrica in stretta relazione con il grado di affrancamento dall'acqua.

Sartori, Bracco (1988), supportano tali considerazioni: *"La formazione forestale fondamentale è riconducibile al querceto misto di farnia."... "Disponendo le varie forme di vegetazione della pianura lungo un ideale gradiente di progressiva abbondanza di acqua nel suolo si evidenzia il susseguirsi di diverse espressioni forestali. Dalla formazione fondamentale, tipica dei suoli più profondi ed evoluti, identificabile nella foresta di farnia e carpino bianco, si passa alla foresta un po' più igrofila di farnia ed olmo, a quella decisamente più igrofila di farnia e pioppo, soprattutto bianco. In condizione di ulteriore aumento di umidità il querceto cede alle formazioni decisamente igrofile di ontano nero ed infine di salice bianco, normalmente poste ai bordi delle acque. Seguono gli arbusteti di salici, seguiti dalla serie di vegetazione erbacea legata all'acqua."*

Per una definizione fitosociologica si riporta quando definito in "Tipi forestali della Lombardia" (2003 - Regione Lombardia): *"I boschi di farnia e/o rovere con carpino bianco sono inquadrati nella classe Querco-Fagetea, all'interno della quale si possono individuare due ordini in relazione all'ambiente in cui s'insediano. In ambito planiziale si distingue l'ordine Fagetalia sylvaticae; in ambito collinare sia l'ordine Fagetalia sylvaticae, sia l'ordine Quercetalia robori-petraeae. I querco-carpineti planiziali, sono riconducibili a due alleanze, in relazione all'influsso della falda freatica. Nella bassa pianura, laddove la falda è superficiale, i querco-carpineti sono ascrivibili al Polygonato multiflori-Quercetum roboris carpinetosum (Alno-Ulmion). Sono caratterizzati dalla dominanza, nello strato arboreo, di Quercus robur e Carpinus betulus, accompagnati da Prunus avium, Acer campestre, Populus nigra, Ulmus minor; tra gli arbusti è presente Prunus padus mentre lo strato erbaceo è caratterizzato da Polygonatum multiflorum, Convallaria majalis, Asparagus tenuifolius, Carex brizoides, Aristolochia pallida e Vinca minor."*

Il popolamento arboreo è riferibile alle seguenti caratterizzazioni fitosociologiche:

Classe *Querco-Fagetea* Braun-Blanquet et Vlieger 37

Ordine *Fagetalia sylvaticae*

Alleanza *Fraxino-Carpinion*

Classe *Querco-Fagetea* Braun-Blanquet et Vlieger 37

Ordine *Populetalia albae*

Alleanza *Populion albae*

Classe *Querco-Fagetea* Braun-Blanquet et Vlieger 37

Ordine *Populetalia albae*

Alleanza *Alno-Ulmion*

Nei biotopi umidi, la ricostruzione dell'assetto vegetazionale è senz'altro più semplice; la vegetazione palustre si presenta generalmente in forma di isole disunite, disposte in maniera puntiforme, determinate da condizioni geomorfologiche e idrologiche particolari, riferibili a depressioni, strati argillosi impermeabili, acque sotterranee affioranti, lievi dossi; la flora è particolarmente ricca e varia, interessante per gli adattamenti manifestati dalle diverse specie ad un ambiente difficile: le elofite, ancorate al fondo ma emergenti dall'acqua, proprie del margine sommerso e dei fondali poco profondi; le idrofite e le rizofite, sommerse o galleggianti sul pelo dell'acqua, la vegetazione igrofila, stratificata tra specie erbacee, arbustive e arboree che si insedia sui suoli umidi e sommersi occasionalmente dalle piene.

La vegetazione che più marcatamente caratterizza la palude è quasi sempre riferibile al canneto a *Phragmites australis*, specie elofita che si diffonde in maniera estesa su fondali profondi fino a un metro, occupando vaste fasce di margine all'acqua nelle quali altre specie trovano difficoltà a penetrare; nelle zone ad acqua poco rinnovata, più profonda e calda può entrare *Typha latifolia*, spesso indicatrice di uno stato eutrofico delle acque. Nelle aree prossime alla riva si assiste alla diffusione di un corteggio floristico particolarmente vivace, rappresentato da *Iris pseudacorus, Lytrum salicaria, Lysimachia vulgaris, Myosotis scorpioides, Alisma plantago-acquatica, Sagittaria sagittifolia, Epilobium hirsutum, Mentha aquatica, Polygonum lapathifolium, Caltha palustris, Butomus umbellatus*.

Giunchi e carici si diffondono liberamente lungo i margini perennemente umidi ma a sommersione occasionale.

Lo specchio d'acqua libera viene colonizzato spontaneamente dalle specie tipiche dei terreni perennemente sommersi: galleggianti sull'acqua si verifica la colonizzazione delle idrofite (*Lemna minor, Spirodela polyrrhiza*) o, in acque più profonde libere da specie elofite, delle rizofite (*Nymphaea alba e Nuphar luteum, Hydrocharis morsus-ranae, Trapa natans,* con *Potamogeton natans* nelle acque leggermente correnti). Sommerse interamente dall'acqua si possono insediare popolamenti estesi, generalmente monospecifici, di *Ceratophyllum demersum* ed *Elodea canadensis*.

5.2.2.1.2 La pianura alluvionale dell'Isonzo: la vegetazione reale

La pianura isontina vede uno stato di antropizzazione generalizzato, prodotto da un'agricoltura fortemente intensivizzata e da importanti processi urbanizzativi; tale condizione ha generato una situazione vegetazionale fortemente monotona e quasi ovunque povera di significato naturalistico.

Il territorio si configura prevalentemente come un complesso agricolo generalizzato, in cui le coltivazioni specializzate nei seminativi occupano ogni area disponibile; si tratta di attività agricole di tipo convenzionale, non irrigue, con rotazioni tra colture cerealicole (mais, frumento ed orzo), oleaginose (soia) e da foraggio (erba medica e prati stabili); gli impianti di colture arboree da frutto ed i vigneti sono poco diffusi e localizzati in appezzamenti di limitata estensione, concentrati in modo particolare tra Turriaco e Ronchi dei Legionari.

L'elevato livello di meccanizzazione ed il massimo sfruttamento degli spazi hanno determinato un profondo cambiamento dell'assetto naturalistico e paesaggistico locale intervenendo in maniera eclatante anche sulla trasformazione del paesaggio; per fare un esempio, i piccoli appezzamenti delimitati dai caratteristici filari di ripa sono stati diffusamente accorpati e sostituiti da grandi campagne regolari, spianate e bonificate, delimitate da elementi prevalentemente rettilinei privi di sviluppo in altezza (arginelli, strade campestri, ecc).

La vegetazione, di conseguenza, risulta complessivamente monostratificata, semplificata, costituita pressoché dalla sola componente erbacea con rari elementi a struttura "verticale" (fasce boscate, filari e siepi) non sempre in grado di spezzare la monotonia complessiva del paesaggio coltivato; per questa ragione il tessuto agrario ha progressivamente perso gran parte delle sue componenti più naturali ed ha visto sfumare i numerosi valori paesistici che erano collegati alla vegetazione spontanea presente lungo i margini delle campagne e delle stradelle poderali.

In un contesto generale di questo tipo, si assiste ad una situazione floristicamente banale e di scarso significato naturalistico, nella quale prevale l'affermazione diffusa di una flora di sostituzione di origine antropogena e dove predominano in ogni caso le specie esotiche; si fa riferimento particolare alle formazioni erbacee ruderali sinantropiche, alle formazioni erbacee infestanti della campagna coltivata, alle formazioni arboree pioniere.

La vegetazione sinantropica è caratteristica dei marginali, manipolati da interventi antropici che ne hanno snaturato le proprietà ecologiche originarie, rappresentata da consorzi di erbe ruderali e semiruderali tipiche delle aree abbandonate, dei suoli calpestati e dei margini stradali; in questi ambienti si constata generalmente un elevato grado di costipamento del suolo, per il quale la scarsa circolazione di aria conduce alla selezione di specie dalle elevate capacità di adattamento a situazioni estreme, poco esigenti di acqua e di ossigeno o dotate di apparato radicale fortemente fittonante.

Sui suoli incolti, nelle aree rurali abbandonate e nei macereti, dove lo strato fertile è particolarmente sottile, si afferma una flora erbacea spiccatamente pioniera adattata alle condizioni più difficili, generalmente costituita da specie erbacee provenienti da ambiti vegetazionali differenti, fra cui materiale esotico particolarmente aggressivo; tipiche dei terreni costipati e dei luoghi calpestati sono *Plantago major, Portulaca oleracea, Amaranthus deflexus* e le graminacee *Poa annua, Agropyron repens* e *Digitaria sanguinalis.*

Nelle aree abbandonate, su suoli più ricchi di nutrienti, si sviluppano *Lactuca serriola, Rumex acetosa, Rumex obtusifolius, Artemisia vulgaris, Melilotus albus, Verbascum phlomoides;* nelle zone dotate di buona presenza di sostanza organica vediamo comparire specie dalle maggiori esigenze nutritive, come *Amaranthus retroflexus, Chenopodium album, Urtica dioica, Taraxacum officinale;* lungo le carrarecce campestri e ai margini dei campi coltivati sopravvivono *Erigeron annuus, Conyza canadensis, Xantium odoratum, Hypericum perforatum, Daucus carota, Cycorium intybus, Centaurea nigrescens, Malva sylvestris* oltre ad entità esotiche ampiamente diffuse, come *Helianthus tuberosus, Artemisia verlotorum, Senecio inaequidens*; sui suoli ruderali particolarmente asciutti e poveri si sviluppano specie xerofile come *Euphorbia cyparissias, Linaria vulgaris, Galinsoga parviflora.*

La presenza delle specie sinantropiche e pioniere può essere considerata come preparatoria all'insediamento di specie proprie di associazioni via via più evolute che possono condurre nelle fasi successive all'affermazione di specie arbustive xerofile o termofile; è possibile ritenere che, qualora non sussistano ripetute azioni di condizionamento del suolo, sia ammissibile un lento e costante accumulo di sostanze organiche nel terreno che conduce ad una graduale ricostituzione di humus.

Le formazioni erbacee della campagna coltivata sono rappresentate dai raggruppamenti vegetali che si associano alle colture erbacee in coltivazione primaverile ed estivo-autunnale; si tratta per lo più della flora infestante le colture, spesso di provenienza esotica, rimaneggiata e compromessa dalle tecniche agronomiche. Le specie infestanti sono generalmente caratterizzate dalla manifestazione di cicli vegetativi paralleli a quelli propri della coltura che accompagnano e sono quasi esclusivamente relegate sui margini degli appezzamenti in relazione alle pratiche colturali e alle tecniche di diserbo; godendo degli apporti di fertilità forniti alla coltura principale, le infestanti si sviluppano prevalentemente su suoli ricchi e aerati, ben dotati di elementi nutritivi; in linea generale si può affermare che ogni coltivazione presenta malerbe accompagnatrici specifiche.

Le associazioni più diffuse sono *l'Alchemillo-Matricarietum chamomillae* associato ai campi di cereali e il *Panico-Polygonetum persicarie* legato alle colture sarchiate. Dal mais, a ciclo primaverile-estivo, possono sfuggire *Panicum dicothomiflorum* ed *Echinocloa crus-galli*; di difficile controllo sono *Sorghum halepense*, in grado di riprodursi facilmente anche per via vegetativa, e *Abutilon teophrastii*, sempre più diffusa per la accentuata scalarità di germinazione; per il grano ed in cereali autunno-vernini si fa riferimento particolare a *Matricaria chamomilla*, *Papaver rhoeas* e *Centaurea cyanus*, specie archeofite oggi rinvenibili esclusivamente in posizioni non interessate dall'uso di diserbanti chimici; tra le infestanti dicotiledoni del grano sono di facile diffusione *Cirsium arvense, Sinapis arvensis, Convolvolus arvensis*; tra le graminacee *Cynodon dactylon, Avena fatua.*

Tra le formazioni arboree pioniere occorre esaminare le macchie boscate a dominanza di *Robinia pseudacacia,* frequentemente insediate laddove le attività pregresse di denudamento del suolo e di messa a coltura delle terre hanno favorito la sola presenza di una specie esotica notoriamente caratterizzata da elevata aggressività ecologica e da forte esuberanza riproduttiva; la robinia dà luogo a formazioni di carattere azonale originate grazie all'estrema facilità di rinnovazione su formazioni boschive preesistenti o su terreni rimasti nudi o parzialmente privi di copertura per utilizzi pregressi di vario tipo; l'elevata capacità pollonifera ne facilita la diffusione naturale in tutte le formazioni di margine, soprattutto se degradate o successivamente ad un taglio di utilizzazione.

La robinia è la specie esotica maggiormente diffusa in Pianura Padana; viene considerata specie pioniera intollerante, non in grado di formare popolamenti puri e stabili ma in grado di colonizzare i suoli più diversi indipendentemente dalla natura del terreno, affermandosi con maggiore facilità nei suoli sciolti, nei basso versanti e nelle pianure, non oltre i 900 metri di quota; in tale casistica rientrano boscaglie di recente affermazione, che si presentano con formazioni coetanee caratterizzate dalla abbondante presenza nello strato altoarbustivo di autorinnovazione spontanea, a determinare la formazione di piante esili, filate, frequentemente aduggiate e sottomesse per mancanza di spazi liberi, certamente compromesse sotto il profilo forestale.

La presenza quasi esclusiva di robinia determina la configurazione di cenosi molto povere, nella cui composizione floristica entrano primariamente specie tipicamente nitrofile e ruderali; lo strato arboreo non presenta una copertura continua, limitata dalla scarsa statura delle piante e interrotta da radure invase da specie lianose, in particolare *Hedera helix, Clematis vitalba, Humulus lupulus, Lonicera japonica* il sottobosco è caratterizzato da uno strato continuo di formazioni a rovo che rendono impenetrabile il consorzio, solo sporadicamente arricchito da *Sambucus nigra, Corylus avellana* e dai rovi eliofili, avvantaggiati dalla lettiera particolarmente acida che si forma nei robinieti.

Nei tratti di maggior degrado, dove la copertura a *Robinia pseudacacia*, assume aspetti di boscaglia, il sottobosco si presenta parallelamente molto banale con l'inserimento di numerose specie infestanti appartenenti alla classe *Artemisietea* o con coperture compatte di *Rubus ulmifolius* e *Rubus caesius,* favoriti da una lettiera particolarmente

acida; lo strato erbaceo vede la presenza di *Urtica dioica, Phytolacca americana, Geum urbanum, Duchesnea indica, Stellaria media, Chelidonium majus, Glechoma hederacea, Carex brizoides, Solidago gigantea.*

Interessante l'inquadramento fitosociologico di C. Andreis e F. Sartori, ripreso da "I tipi forestali della Lombardia" (2003): *"L'inquadramento sintassonomico dei robinieti puri è difficile in quanto mancano specie caratteristiche. Nella composizione floristica di questi robinieti entrano specie tipicamente nitrofile e ruderali. Nello strato arboreo sono presenti, localmente, epifite lianose come Humulus lupulus, Lonicera japonica ed Hedera helix. Negli strati arbustivi si possono trovare Sambucus nigra, Rubus ulmifolius e Rubus caesius; nello strato erbaceo possono essere presenti Urtica dioica, Phytolacca americana, Geum urbanum, Duchesnea indica, Stellaria media, Chelidonium majus, Glechoma hederacea, Carex brizoides e Solidago gigantea."*

Oltre alla robinia, si ritiene di menzionare in siti climaticamente protetti ed asciutti la crescente proliferazione di *Ailanthus altissima* e di *Broussonetia papyrifera.*

In una situazione floristica complessiva povera e banalizzata si vuole menzionare la presenza sparsa di elementi arborei di buona qualità paesaggistica, rappresentati da piante isolate di gelso (*Morus alba* e *M. nigra*) e da individui di salice bianco (*Salix alba*) mantenuti a capitozza, oltre che da brevi tratti di siepe campestre.

Tali elementi rappresentano dal punto di vista fisionomico la vegetazione marginale residua delle attività agricole, allontanata dalle urbanizzazioni o rimasta ritagliata tra le campagne solamente laddove non è stato possibile spingersi con gli attrezzi di lavorazione per mettere a coltura il terreno; la presenza di formazioni lineari risulta rarefatta e concentrata prevalentemente sui margini non coltivati, dove i forti rimaneggiamenti hanno determinato l'insediamento preferenziale di specie pioniere di origine esotica.

E' tuttavia interessante segnalare come all'interno della compagine floristica compaiano di volta in volta diverse specie autoctone caratteristiche di condizioni stazionali definite; si fa riferimento a *Quercus robur, Populus alba, Carpinus betulus, Ulmus minor, Acer campestre* tra le specie arboree, *Cornus sanguinea, Crataegus monogyna, Prunus spinosa, Corylus avellana* e *Sambucus nigra* tra le specie arbustive.

Benché in presenze limitate, il sistema delle siepi e dei filari è sempre in grado di elevare la qualità percettiva delle zone rurali e di incrementare il valore ecologico complessivo del territorio, capace di offrire il supporto fisico e alimentare a sostegno di una catena trofica complessa; le siepi campestri in particolare, benché sotto il profilo naturalistico non siano da considerarsi un biotopo puramente naturale, rappresentano sempre un importante serbatoio di biodiversità, in grado di rendere gli ecosistemi in cui sono inserite molto più stabili ed equilibrati rispetto ad altri ecosistemi più scarsamente differenziati.

La vegetazione fluviale

Malgrado la semplificazione e la banalizzazione floristica provocata dalla massiccia introduzione delle monocolture agricole nelle aree di golena, lungo il corso del fiume sono tuttora riscontrabili estese formazioni boschive e fitocenosi arbustive-erbacee igrofile, in particolare alla confluenza con il Fiume Torre, che rappresentano la maggior parte delle cenosi di tipo naturale presenti nell'ambito della pianura friulano-veneta..

La compressione degli spazi disponibili per la vegetazione fluviale, tuttavia, rende difficilmente riconoscibile la naturale disposizione delle associazioni, che a partire dalla riva del corso d'acqua vede arretrare progressivamente le forme del canneto a *Phragmitetum australis, Typhetum angustifoliae, Typhetum latifoliae*, del cariceto a *Caricetum riparie*, dei saliceti arbustivi a *Salix eleagnos, Salix purpurea, Salix triandra,* del bosco igrofilo a saliceto e a pioppeto.

L'associazione arborea più frequente è costituita dal *Salicetum albae*, che presenta generalmente uno strato arboreo ben sviluppato; il saliceto arborescente presenta sempre una struttura verticale di tipo forestale, con altezze degli

alberi raramente inferiore a 18/20 metri; la specie più diffusa è *Salix alba*, cui possono associarsi *Populus alba, Populus nigra*, a preannunciare l'evoluzione dinamica dal saliceto verso le formazioni planiziali meglio affrancate dall'acqua.

Le specie che formano la prima fascia di vegetazione arbustiva e che costituiscono le formazioni pioniere capaci di colonizzare l'alveo del fiume e le isole golenali sono principalmente *Salix purpurea* e, secondariamente *Salix eleagnos,* che si insediano sulle sabbie e sul ciottolame mobile ed umido; si tratta di popolamenti in grado di consolidare le alluvioni recenti grazie ad apparati radicali sviluppati e alla facilità di moltiplicarsi per propagazione vegetativa.

I saliceti occupano superfici di bordura all'acqua, su suolo generalmente formato da materiale di deposito recente, instabile ed in continuo ringiovanimento, composto in prevalenza da ghiaie e sabbie con locali intercalazioni di elementi fini di tipo limoso; la fascia fluviale occupata dal saliceto può avere ampiezze mutevoli, risultando minima quando la riva è particolarmente ripida sull'acqua e massima quando questa declina dolcemente verso il letto fluviale, per cui anche a modesti innalzamenti di livello dell'acqua corrispondono ampie sommersioni del suolo.

Alle spalle delle formazioni a salice bianco, dove l'evoluzione naturale del saliceto non è minacciata dalle acque o dall'intervento dell'uomo, si formano boscaglie in cui *Salix alba* viene progressivamente sostituito da *Populus nigra, Populus alba* e *Alnus glutinosa*; allontanandosi ulteriormente dall'acqua compaiono elementi mesoigrofili, come *Corylus avellana, Fraxinus angustifolia, Fraxinus excelsior, Tilia cordata*, attualmente infastiditi da forti ingressioni di *Robinia pseudoacacia*; tra le specie arbustive possono inoltre inserirsi *Crataegus monogyna, Corylus avellana, Cornus sanguinea, Cornus mas, Ligustrum vulgare* e *Viburnum opulus*.

Occorre segnalare che fattori perturbativi riferibili ad escavazioni, abbandono di rifiuti, deposito di detriti, ecc. alterano frequentemente gli equilibri instaurati dalla vegetazione igrofila, generando l'ingressione di specie esotiche avventizie o nitrofile, in particolare *Buddleja davidii, Amorpha fruticosa, Lonicera japonica* e, nelle zone più aperte, *Heliantus tuberosus* e *Solidago gigantea,* oltre ad *Acer negundo, Ailanthus altissima* e *Ulmus pumila.*

5.2.2.1.3 La vegetazione sul Carso triestino e isontino

La zona del Carso triestino ed isontino è notoriamente caratterizzata sotto il profilo geomorfologico dal fenomeno del carsismo, sia a livello ipogeo che a livello epigeo; gli intensi processi di dissoluzione operati delle acque dilavanti hanno estesamente modellato il territorio in morfologie più o meno tormentate in un processo di modellamento chimico cha ha condotto a diversi fenomeni di maturazione del paesaggio, con presenza di forme assai caratteristiche localmente definite "carsiche". Si fa riferimento alle doline, depressioni dovute a dissoluzione di estensione e forma variabili, oltre che alle foibe, alle grize, agli inghiottitoi, ai karren.

Si tratta di un territorio che rappresenta geograficamente un confine biologico di grandissima importanza, che rappresenta un'area di incontro in cui le specie vegetali dell'Europa orientale e balcanica vengono a confondersi con quelle medio-europee, dando origine a una flora di particolare ricchezza e varietà; questo aspetto non è dovuto tanto ad una particolare diversificazione di condizioni ecologiche, quanto all'evoluzione postglaciale della flora e della vegetazione in quei luoghi

Il Carso, infatti, ha subito solo parzialmente l'impoverimento floristico provocato dalle diverse glaciazioni quaternarie, poiché le specie, nella loro avanzata verso sud, non vi trovavano la via sbarrata da un mare trasversale ma la possibilità di ampie possibilità di fuga alle pressioni derivanti dai cambiamenti climatici.

Per questa ragione le specie della flora carsica appartengono in prima analisi al tipo corologico definito "illirico", ossia proveniente dalla regione corrispondente all'attuale parte occidentale della penisola balcanica, verso la costa

orientale del Mare Adriatico; a fianco della componente illirica si sono via via insediate una flora di impronta medioeuropea ed una flora di impronta mediterranea, che mantengono una posizione numericamente subordinata.

La componente floristica di origine mediterranea riveste un significato relittuale, trovando espressione nella vegetazione pioniera e in taluni aspetti termofili della landa carsica; il contingente medioeuropeo, al contrario, si concentra negli aspetti più evoluti della vegetazione, rappresentati dalle formazioni forestali con dominanza di querce; pertanto, l'evoluzione della vegetazione dagli stadi pionieri verso la formazione di una copertura arborea compatta conduce alla emarginazione progressiva dell'elemento illirico a favore di quello medioeuropeo.

Nell'ultimo secolo il paesaggio del Carso è andato rapidamente mutando e alle forme tradizionalmente pastorali del territorio sono stati sostituiti utilizzi differenti che, se nella pianura hanno prodotto effetti negativi di banalizzazione e ruderalizzazione della flora, in altre zone hanno condotto ad effetti positivi quasi inaspettati: il Carso ricordato come una distesa di pascoli aridi tende a trasformarsi verso formazioni arbustive e boscate sempre più affermate, secondo una dinamica che procede verso il progressivo rinselvatichimento del territorio.

I prati aridi submediterranei orientali

I prati aridi submediterranei orientali, o praterie xeriche, che costituiscono la landa carsica e la pseudosteppa sono conseguenza degli antichi disboscamenti operati a scopo pascolivo e caratterizzavano gran parte del paesaggio carsico prima che l'abbandono della zootecnia ed il successivo rimboschimento spontaneo ne determinassero una sensibile riduzione; si tratta di formazioni erbacee a dominanza di graminacee di aspetto steppico (xerogramineto), a cotica discontinua interrotta dagli affioramenti di roccia.

Le praterie xeriche gravitano nella fascia altimetrica di poco superiore al livello del mare, sino ad un massimo di 400 m, insediandosi su suoli poco profondi o mediamente profondi, prevalentemente esposti a sud; dal punto di vista sintassonomico sono riferibili all'alleanza *Saturejon subspicate* (ord. *Scorzoneretalia villosae*, cl. *Festuco Brometea*) ed inquadrabili nelle associazioni principali del *Chrysopogono grylli-Centauretum cristatae,* che include i pascoli a spiccata termofila, e del *Carici-Centaureetum rupestris*, che comprende i pascoli a più moderata termofilia.

Nell'ambito di studio si riscontra la presenza dei pascoli arido-steppici più spiccatamente termofili del *Chrysopogono grylli-Centauretum cristatae*, di cui le specie guida sono la graminacea *Chrysopogonon gryllus* e la composita *Centaurea cristata,* accompagnate da *Asperula purpurea* ed *Anthyllis x adriatica;* massiccia è anche la presenza delle specie proprie dei *Thero-Brachypodietea*, aspetto che conferma la tensione esistente tra la regione floristica euro-orientale e quella mediterranea, che sfumano l'una nell'altra.

Tra le specie più diffuse si individuano *Bromus condensatus, Festuca rupicola, Bupleurum veronese, Bupleurum praealtum* e *Argyrolobium zanonii*, oltre al suffrutice *Artemisia alba* e alle specie accompagnatrici *Satureja montana*, *Convolvolus cantabrica, Allium spaerocephalon, Eryngium amethysinum*; tale contingente di specie provenienti per lo più dagli ambienti di gariga pongono il crisopogoneto in testa alle cenosi degli *Scorzoneretalia* per la ricchezza in elementi propri dei *Thero-Brachypodietea*.

Nelle zone dove il suolo è maggiormente lisciviato, ai piedi dei versanti o sul fondo delle doline, si afferma la prateria del *Scorzoneretalia villosae*, dominata *Scorzonera villosa, Danthonia alpina* e *Koeleria splendens,* cui si accompagnano *Sanguisorba minor* ssp. *muricata, Galium lucidum* e *Chrysopogon gryllus*; tra le specie caratteristiche della classe *Festuco-Brometea* si individuano *Bothrichloa ischaemon, Euphorbia cyparissias, Asperula cynanchica, Helianthemum ovatum, Fumana procumbens*, ecc.

Numerosi sono gli endemismi illirici che in queste cenosi raggiungono presenze importanti, come *Bromus condensatus*, e numerose sono le specie che trovano qui il loro limite occidentale di distribuzione, come *Potentilla tommasiniana, Iris illyrica, Gentiana tergestina, Crocus reticulatus* ecc.

L'abbandono diffuso del pascolamento della prateria arida in atto da decenni ha determinato la progressiva colonizzazione del manto erboso da parte di numerose specie arbustive termofile, con conseguente riduzione dell'estensione complessiva dei prati xerici; per questa ragione le praterie xeriche residue, non più conservate dall'attività pascoliva, risultano oggi di particolare pregio floristico ed ecologico, tanto da essere considerate tra gli habitat più vicini all'estinzione in Europa.

I cespuglieti termofili

Il processo di colonizzazione della prateria arida avviene a partire dalle specie cespugliose maggiormente frugali e pioniere quali *Cotinus coggygria* e *Prunus mahaleb* negli ambienti più sassosi e aridi, *Juniperus communis* sui suoli più evoluti e nelle zone più fresche; tali specie costituiscono chiazze di vegetazione via via più compatte e di statura sempre maggiore, sino a determinare modifiche sostanziali nella composizione floristica erbacea; attorno ai cespugli si addensano progressivamente alte graminacee quali *Brachypodium pinnatum, Agropyron trichophorum* e *Sesleria autumnalis*, che utilizzano il cono d'ombra a scapito delle specie pabulari più eliofile.

In particolare è stato evidenziato (Lausi et al., 1979) come le specie pabulari mantengono densità elevate sotto i cespugli sino alla statura massima di 2 metri, mentre nel caso di misure superiori la diffusione diminuisce sensibilmente evidenziando l'affermarsi della fase nemorale, che diviene dominante quando i cespugli hanno raggiunto i 4 metri di altezza.

E' pertanto evidente che la comparsa dei cespugli nel pascolo determina la generale alterazione della composizione floristica, tanto più rapida quanto più è veloce il processo di incespugliamento; a tale proposito è stata constatata la relazione esistente tra la forma dei cespugli e la velocità dell'incespugliamento durante le prime fasi. In particolare è stato evidenziato come la diffusione della specie policormica *Cotinus coggygria* determini un occupazione del suolo molto più rapida rispetto all'insediamento della specie *Juniperus communis*, a portamento piramidale.

La chiusura della copertura arbustiva favorisce la successiva fase di insediamento della boscaglia a *Quercus pubescens, Ostrya carpinifolia* e *Quercus petraea*.

Una evoluzione del tutto particolare avviene sulle grize, particolarità geomorfologiche che si formano in corrispondenza degli affioramenti rocciosi calcarei fortemente erosi dalle piogge, profondamente scanalati a seconda della pendenza dei suolo e della velocità delle acque dilavanti, su cui il litosuolo ha dato origine alla formazione di materiali clastici sciolti.

Su queste particolari formazioni rocciose, sostanzialmente caratterizzate dalla "inesistenza" del suolo, da condizioni di primitività e di aridità accentuata, riescono a crescere poche specie succulente, in particolare *Sedum montanum* ssp.*orientale* e *Sedum maximum*, oltre ad altre specie frugali, come la graminacea *Catapodium rigidum, Arenaria serpyllifolia, Cephalaria leucantha.*

Nel caso di grize più mature si constata l'affermazione di vegetazioni meglio evolute, manifestate da formazioni arbustive anche consistenti caratterizzate dal *Frangulo rupestris-Prunetum mahaleb*, associazione termofila pioniera che presenta nella composizione floristica similitudini con il bosco carsico a carpino nero e roverella (*Ostryo-Quercetum pubescentis*); specie guida sono *Frangula rupestris* e *Prunus mahaleb,* cui si accompagnano in forma discontinua *Quercus pubescens, Acer monspessulanum* e *Juniperus communis* oltre a numerose specie eliofile rupestri proprie dei *Prunetalia, (Rosa canina, Clematis vitalba, Prunus spinosa)* e del *Berberidion* (*Cotinus coggygria*).

I boschi a carpino nero e roverella

La formazione vegetale più comunemente diffusa nel Basso Carso è il bosco di *Ostrya carpinifolia*, che rappresenta l'esito del progressivo processo di ricolonizzazione da parte del manto forestale, frequentemente espressa nella formazione della boscaglia carsica.

Diversi studi (Poldini, 1982) hanno evidenziato come la boscaglia di *Ostrya carpinifolia*, di tipica impronta illirica, costituisse un tempo la fascia di mantello propria delle formazioni forestali primarie a rovere, cerro e roverella, di carattere chiaramente centro-europeo; si tratta, dunque, di una cenosi di transizione posta tra la steppa ed il bosco mesofilo, adattata a condizioni di luce, temperatura ed umidità intermedie fra quelle della foresta e quelle delle superfici prive di vegetazione arborea. In taluni casi, laddove sussiste totale lisciviazione del suolo, la boscaglia di *Ostrya carpinifolia* resta conservata in una condizione di paraclimax, incapace di evolvere ulteriormente.

La distruzione della foresta primaria operata nei secoli mediante tagli ed incendi avrebbe offerto nuove prospettive alle specie di mantello, estendendo a nuove e vastissime aree le condizioni di maggiore luminosità, di temperatura più elevata e di umidità ridotta, fino a quel momento esclusive delle sole fasce di margine; sulla base di tale interpretazione, pertanto, la boscaglia carsico-illirica rappresenterebbe il mantello dilatato della foresta originaria carsica.

Sotto il profilo sintassonomico la boscaglia illirica è riferibile all'*Ostryo-Quercetum pubescentis*, l'associazione che costituisce il vero climax dei rilievi carsici; allo stato attuale tale cenosi risulta ben diffusa nel Carso, occupando più del 30% della superficie forestale.

La composizione floristica, generalmente ricca, vede all'interno della compagine arborea numerose specie distinte tra uno strato arboreo alto ed uno strato arboreo basso; tra le specie dominanti si individuano *Ostrya carpinifolia*, oltre a *Fraxinus ornus*, *Quercus pubescens* e, secondariamente, *Acer monspessulanum*, *Acer campestre*, *Quercus cerris* e *Quercus petraea*; lo strato arbustivo è caratterizzato da specie provenienti dai *Prunetalia,* come *Cotinus coggygria*, *Coronilla emerus* ssp. *emeroides*, *Ligustrum vulgare, Viburnum lantana, Cornus sanguinea* e *Rubus ulmifolius*.

Diverse sono le lianose, quali *Asparagus acutifolius* e *Lonicera etrusca,* legate ai boschi termofili dei *Quercetalia ilicis*, e *Clematis vitalba*; nello strato erbaceo è diffusamente insediata la graminacea *Sesleria autumnalis*, accompagnata da *Viola hirta, Brachypodium rupestre, Betonica serotina, Silene italica, Inula spiraeifolia* e *Teucrium chamaedrys.*

Particolare e caratteristico è l'aspetto dell'orlo del bosco, in cui prevale *Cotinus coggygria,* l'arbusto sempre presente nella seria dinamica, accompagnato da *Frangula rupestris*, specie tipicamente rappresentativa dell'endemismo illirico.

Gli aspetti vegetazionali più simili al climax, tuttavia, sono quelli legati ad un gradino evolutivo ancora superiore, dove riesce ad affermarsi il bosco di querce; si tratta, peraltro, di condizioni ad oggi ancora acerbe, presenti sul territorio solamente in forma frammentaria e su superfici limitate.

L'aspetto più tipico comprende un soprassuolo arboreo dominante con *Quercus petraea, Quercus cerris* e *Quercus pubescens,* dove lo strato arbustivo vede l'ingresso di *Fraxinus ornus, Sorbus aria, Sorbus torminalis, Corylus avellana, Cornus mas, Cornus sanguinea, Crataegus monogyna, Prunus spinosa;* lo strato erbaceo vede la diffusa penetrazione di *Sesleria autumnalis,* specie che regredisce solamente dove la copertura arborea si fa oltremodo densa e dove il suolo risulta più acido, oltre a *Tanacetum corymbosum, Festuca heterophylla, Lathyrus niger, Knautia drymeia.*

I cespuglieti medio-europei dei suoli ricchi

Nelle aree carsiche i cespuglieti rappresentano l'affermazione di complessi dinamici di transizione tra il prato o il pascolo e gli stadi di prebosco; mentre nelle aree xeriche si affermano le specie proprie dei suoli aridi, espresse in modo particolare da *Cotynus coggygria* e *Prunus mahaleb,* nelle aree a maggior mesofilia si insediano preferibilmente *Rosa canina* e *Prunus spinosa.*

Nello strato arbustivo dei suoli via via sempre più ricchi, infine, si censiscono *Cornus sanguinea, Crataegus monogyna, Ligustrum vulgare,* e *Frangula alnus*, oltre alle specie lianose *Clematis vitalba, Clematis viticella* e *Humulus lupulus*; nello strato erbaceo si individuano specie tipicamente indicatrici di elevata umidità, come *Lysimachia vulgaris, Carex elata, Leucojum estivum, Brachypodium sylvaticum, Glechoma hederacea, Alliaria petiolata, Geum urbanum,* ecc.

Ai cespuglieti dei suoli ricchi vengono ascritti anche i roveti a *Rubus caesius* e *Rubus fruticosus* (*Pruno-Rubion*) legati ai carpineti di dolina.

Le gallerie a salice bianco

Si fa riferimento ai boschi igrofili individuati nei pressi dei laghi carsici di Doberdò e Pietrarossa.

Nelle condizioni in cui l'influsso dell'acqua risulta preponderante si seleziona una vegetazione erbacea fortemente pioniera, mentre dove l'influsso dell'acqua si attenua le erbe vengono rapidamente sostituite dalle formazioni arbustive e arboree dei salici; si fa riferimento alle formazioni boschive a *Populus nigra* e *Salix alba*, indicatrici di ambienti con abbondanza d'acqua a sedimentazione intensa e irregolare e frequentemente sommersi.

Sotto il profilo fitosociologico le formazioni arboree del saliceto sono da inquadrarsi nella classe *Salicetea purpureae*, alleanza del *Salicion albae*; la specie dominante è *Salix alba,* cui possono associarsi *Populus nigra* e, in minor misura, *Populus alba, Populus canescens, Ulmus minor* e *Fraxinus oxyphylla,* a preannunciare l'evoluzione dinamica dal saliceto verso formazioni planiziali affrancate dall'acqua.

La specie *Salix alba* colonizza ambienti igrofili diversi, manifestando notevoli capacità di adattamento, plasticità e pionierismo; in particolare, le piante colonizzano rapidamente gli ambienti eliofili, manifestando forte capacità pioniera su suoli di neoformazione e soggetti a intenso dinamismo, dove formano boschetti azonali.

La vegetazione dei canneti

Si fa riferimento agli habitat dominati dalla cannuccia comune (*Magno-Phragmitetea),* presenti in numerosi sistemi ambientali umidi; si tratta di associazioni tendenzialmente monospecifiche diffuse nell'ambito dei laghi carsici dove non mancano anche le formazioni a *Carex elata* e ridotti lembi di cladieti.

La vegetazione dei canneti trova particolare espressione lungo il tracciato ai laghetti delle Mucille, zone umide di origine artificiale derivanti da ex cave allagate nelle quali un lungo periodo privo di disturbi antropici ha reso possibile l'insediamento progressivo delle più tipiche fitocenosi igrofile elofitiche.

La fascia di canneto è caratterizzata da forte povertà floristica dei popolamenti, spesso tendenti ad essere dominati dalla sola specie *Phragmites australis*; oltre alla cannuccia palustre, seppur in forma poco rappresentativa, sono presenti *Sparganium erectum, Mentha aquatica, Alisma plantago-aquatica, Alisma lanceolatum, Lycopus europaeus, Carex elata, Galium palustre, Veronica beccabunga*, mentre nelle situazioni di maggior manomissione

sono instaurate specie antropofite, quali *Melilotus altissima, Calystegia sepium, Eupatorium cannabinum, Agrostis stolonifera* e *Ranunculus repens*.

I prati stabili

I prati stabili si mantengono nel territorio carsico grazie alla sopravvivenza dell'allevamento bovino a prevalente conduzione familiare sui suoli più ricchi; si tratta di prati da foraggio di origine esclusivamente antropica, concimati e sfalciati periodicamente.

La specie dominante nella cenosi è l'emicriptofita *Arrhenatherum elatius*, accompagnata da *Daucus carota*, la cui presenza costante negli arrenatereti meridionali ne consente la delimitazione geografica rispetto a quelli delle Alpi e dell'Europa centrale.

La cotica erbosa presenta sempre una elevata diversità floristica e definisce una struttura multistratificata; tra le alte erbe si individuano *Dactylis glomerata* e *Poa pratensis,* generalmente ad elevate densità di copertura, con *Festuca rubra*, *Festuca pratensis* e *Avenula pubescens*; tra le erbe che costituiscono lo strato intermedio si rilevano *Trisetum flavescens* e *Anthoxanthm odoratum*, mentre *Lolium perenne, Festuca valesiaca*, *Luzula multiflora* e *Festuca rupicola* costituiscono lo strato inferiore.

Accanto alle specie graminoidi, che producono la parte maggiore della fitomassa, sono presenti numerose specie leguminose quali *Vicia angustifolia, Lotus corniculatus, Lathyrus pratensis, Anthyllis vulneraria, Trifolium pratense, Trifolium repens, Trifolium rubens, Trifolium campestre* e *Medicago lupulina*, che conferiscono elevati valori nutritivi al foraggio; nelle lacune della cotica si annidano diverse specie terofite, quali *Bromus mollis, Cerastium glomeratum, Cerastium brachypetalum, Cerastium holosteoides*.

Nell'area di indagine è possibile individuare due subassociazioni, l'*Arrhenaterethum brometosum erecti*, che si sviluppa sui suoli pianeggianti più secchi ed aridi e l' *Arrhenaterethum holcetosum lanati*, che rappresenta l'aspetto più fresco dell'associazione in quanto localizzato sul fondo delle doline, con suoli bruni o con terre rosse brunificate ad elevato tenore di argilla e limi, dotati di notevole capacità di trattenuta idrica.

La vegetazione delle doline

Le doline rappresentano particolari ambienti vegetazionali determinati dall'azione di noti fenomeni di inversione termica; questi, poiché consistenti nel ristagno di aria fredda, provocano una sensibile riduzione della temperatura al suolo e condizioni di umidità più elevata, dando luogo ad una decisa continentalizzazione del clima, con possibilità di gelate primaverili tardive.

In tali situazioni si sviluppa una vera e propria associazione forestale dei *Fagetalia*, l'*Asarum-Carpinetum betuli*, endemica del Carso litoraneo nordadriatico, di cui la specie di gran lunga dominante è *Carpinus betulus*, cui si accompagnano in forma subordinata *Quercus petraea* e *Quercus cerris*; lo strato arbustivo vede l'inserimento di *Euonymus europaeus, Corylus avellana, Cornus mas* e *Cornus sanguineum.*

Il sottobosco erbaceo è rappresentato da specie di ciclo precoce, in grado di fiorire quando il carpino bianco non ha ancora emesso le foglie; si fa riferimento alle numerose specie propie del querce-carpineto, quali *Anemone nemorosa, Scilla bifolia, Corydalis solida, Corydalis cava, Galanthus nivalis*, *Primula vulgaris, Erythronium dens-canis, Cardamine enneaphyllos, Lathyrus vernus, Geranium robertianum, Cyclamen purpurascens* oltre ad *Asarum europaeus*, specie tipicamente sciafila che compare all'interno delle doline con tale continuità da rappresentarne una caratteristica floristica decisiva.

L'influenza dei particolari fattori climatici sulla vegetazione erbacea, inoltre, determina l'ingressione nelle doline di specie proprie delle faggete, molto lontane dalle formazioni di provenienza illirica diffuse nelle zone circostanti; si costituiscono in questo modo vegetazioni tipicamente alpiche che ospitano specie generalmente diffuse alle quote superiori, quali *Primula auricola, Crocus albiflorus, Saxifraga petraea, Saxifraga incrostata, Dryopteris villarsii.*

Il fenomeno dell'inversione termica viene ulteriormente esaltato nei baratri, nei pozzi e nelle voragini che si aprono diffusamente nell'altipiano carsico, dove vengono a determinarsi singolari microclimi che favoriscono lo sviluppo di vegetazione proprie di climi continentali o alpini; all'imboccatura delle grotte e delle voragini, in particolare, i fattori ambientali variano in maniera graduale procedendo dall'esterno verso l'interno della cavità, dando luogo a zone di transizione tra l'ambiente di superficie e l'ambiente sotterraneo.

La vegetazione di grotte e inghiottitoi

Uno dei principali fattori che regola lo sviluppo degli organismi vegetali è la luce, la cui intensità diminuisce rapidamente con la profondità; in base ai valori dell'intensità luminosa viene individuata la seguente zonazione:

- zona esterna, che si estende sin dove arriva la luce solare piena;
- zona liminare, che va dal limite inferiore della zona esterna fino alla zona in cui si misurano valori di 1/500 della luce solare esterna;
- zona subliminare, compresa tra il valore di 1/500 e quello di 1/1000 della luce solare esterna;
- zona interna, compresa tra il valore di 1/1000 e quello di 1/2000 della luce solare esterna.

Oltre la zona interna si riscontra l'assoluta oscurità.

Analizzando la distribuzione delle specie vegetali si evidenzia che le fanerogame dominano tutta la fascia liminare, seguite dal gruppo delle pteridofite rappresentato da *Asplenium trichomanes*, *Polypodium interjectum*, *Phyllitis scolopendrium* e, più esternamente, *Asplenium ruta muraria*; nella fascia subliminale si afferma in forma ricorrente l'associazione *Phyllitido-Plagiochiletum cavernarum*, che scende sino alla profondità di circa 25 metri; in tali condizioni le pteridofite cessano di costituire un elemento fisionomizzante e vengono sostituite da fitti ricoprimenti muscinali, fra i quali spicca per capacità costruttiva *Thamnium alopecurum*.

Oltre la fascia dei muschi le pareti rocciose sono costantemente umide, ricoperte da alghe verdi (*Cloroficee*) e alghe azzurre (*Cianoficee*), frequentemente associate ad organismi ascomiceti in diverse fasi della simbiosi lichenica; nella zone di oscurità assoluta non è più possibile la sopravvivenza degli organismi fotosintetici mentre restano attivi funghi microscopici e batteri che vivono della sostanza organica in decomposizione proveniente dall'esterno (tronchi, fogliame, organismi morti).

Gli impianti artificiali a Pinus nigra

A partire dalla seconda metà del 1800, per iniziativa dell'impero austro-ungarico, nel territorio del Carso si è proceduto all'intensa riforestazione dei suoli nudi mediante l'impianto di conifere; la specie cui si è fatto più largamente ricorso è stata *Pinus nigra* ssp. *austriaca*, che per le proprie caratteristiche di frugalità e di pionerismo ha trovato sul Carso un habitat estremamente favorevole, dove è in grado di riprodursi spontaneamente.

Oltre al pino nero occorre citare la piantagione in misura secondaria di *Abies cephalonica*, *Pinus sylvestris*, *Pinus halepensis* e, più recentemente, di *Cupressus arizonica*.

Si tratta di rimboschimenti variamente estesi, localizzati in modo particolare a nord di Monfalcone, nella zona di Sablici, nel territorio di Aurisina, sulle pendici settentrionali del monte San Primo e del monte Gurca; poiché tali rimboschimenti sono del tutto estranei alla flora locale, il loro inserimento sul territorio ha procurato l'inquinamento della componente erbacea che si insedia sotto le piante, favorendo l'ingressione di specie abitualmente legate ai boschi di latifoglie delle zone montane e subalpine, quali *Moneses uniflora, Orthilia secunda, Galium rotundifolium.*

5.2.2.2 Fauna

L'analisi della componente faunistica prende in esame i popolamenti animali riscontrabili nell'area interessata dal progetto, legati agli habitat terrestri di superficie e agli habitat ipogei.

L'analisi di dettaglio prende in considerazione il territorio attraversato dalla nuova infrastruttura, esaminando in primo luogo i tratti di linea allo scoperto, laddove si verificano interazioni di tipo diretto con i popolamenti animali; in questo caso viene preso in esame un corridoio ampio circa 2 km posto a cavallo del tracciato, al cui interno si esauriscono le potenziali interferenze prodotte dalla linea sui popolamenti animali.

In relazione alle caratteristiche degli habitat riportati nella *"Carta della vegetazione"* (elaborati L344 00 22 P5 SA000A 009÷016 A))e facendo riferimento agli atlanti faunistici pubblicati (Parodi, 1999, Lapini et. Al., 1999), vengono individuati e descritti i popolamenti animali riscontrabili nell'area e sono segnalate le specie faunistiche di maggior pregio e protette dalla normativa nazionale e comunitaria.

L'esame delle interazioni con il tracciato consente di valutare le interferenze di tipo diretto e indiretto prodotte sulla componente biotica in esame e di individuare le idonee misure di mitigazione per la minimizzazione degli impatti.

Per quanto riguarda l'ambiente sotterraneo, lo studio analizza le caratteristiche dell'habitat ipogeo e degli organismi troglobi, approfondendo in particolare l'analisi delle interazioni con il *Proteus anguinus*, un anfibio urodelo prioritario per la conservazione; sulla base delle conoscenze relative alle caratteristiche biotiche dell'habitat ipogeo il presente studio individua, inoltre, le perturbazioni che possono essere indotte dalle modifiche (dirette ed indirette) prodotte nell'ambiente sotterraneo nella fase di costruzione e di esercizio della linea.

5.2.2.2.1 Inquadramento di area vasta

Il territorio interessato dall'infrastruttura ferroviaria si colloca tra la pianura alluvionale dell'Isonzo e le propaggini sud-occidentali del Carso Isontino, estendendosi a est sino a Trieste e comprendendo tutto il settore del Carso Triestino.

Come già visto, nella pianura isontina estesamente coltivata si assiste alla scomparsa quasi totale dei boschi a favore di coltivi che, a seconda delle stagioni e del tipo di irrigazione, ripropongono situazioni ecologiche proprie di aree desertiche o di prateria ad alte erbe.

Relativamente poche sono le specie animali che traggono vantaggio da tali condizioni "estreme", anche per effetto della drastica selezione determinata dall'uso dei pesticidi da un lato e della "crisi" periodica rappresentata dal raccolto, che denuda vaste superfici in tempi assai brevi; in linea di massima si tratta prevalentemente di specie "banali", nel senso di ben diffuse, adattabili, tutt'altro che in pericolo, come è il caso di alcuni Corvidi (Cornacchia grigia, Gazza), Passeriformi (Storno, Passeri) e persino Laridi (Gabbiano reale, Gabbiano comune), frequenti nell'ambiente agrario.

Esistono tuttavia alcune eccezioni, come è il caso della Pavoncella (che nidifica spesso nei coltivi) e di poche altre specie a valenza ecologica limitata. Tali specie, casualmente adattate ad ambienti più o meno simili a quelli dei

coltivi, possono trarre limitati vantaggi ma, spesso, le moderne tecniche di raccolta e l'uso di pesticidi vanificano gran parte dei benefici.

L'irrigazione forzata e la coltivazione di vaste superfici magredili sommati al cessato interesse per la raccolta di legname, determinano oggi la presenza e la diffusione non tanto di veri e propri boschi, ma di siepi alberate in numero sempre crescente. Si osservano pertanto con maggiore frequenza specie un tempo rare in pianura come nidificanti, quali ad esempio il Colombaccio. La grande diffusione odierna di specie ad elevata valenza ecologica, come la Cornacchia, la Gazza e lo Storno, oltre ad essere legata a fenomeni di antropizzazione generali, sono favoriti dalla presenza di piante d'alto fusto e boschetti isolati sui quali nidificare, un tempo più rari o, in talune aree planiziali, del tutto assenti.

Il territorio del Carso, al contrario, è caratterizzato dall'ampia diffusione del fenomeno del carsismo. Le rocce calcaree, altamente fessurate, danno origine ad una morfologia molto varia contraddistinta dalla presenza di inghiottitoi (foibe), piccole valli imbutiformi (doline), campi solcati.

In esso affiorano i termini di una potente successione carbonatica rappresentativa di condizioni di mare basso, ricco di organismi biocostruttori, perdurante dal Cretacico inferiore fino all'Eocene inferiore. La deposizione carbonatica viene interrotta dall'arrivo delle correnti di torbida responsabili della sedimentazione dei *flysch* (arenarie e marne).

L'area in studio presenta aree sede di un carsismo più o meno sviluppato e diffuso, sia nelle forme ipogee (grotte, fiumi sotterranei, inghiottitoi) sia in quelle epigee (doline, carsismo diffuso).

Le particolarità climatiche e fisionomiche del territorio regionale, hanno favorito un ampio campionario di biotopi e nicchie disponibili per le diverse specie.

Il Carso, più di ogni altra zona della regione, si contraddistingue per la presenza di specie cavernicole spesso esclusive di questo territorio. Fra esse spicca il Proteo, un anfibio che nel corso del suo sviluppo diviene privo di occhi, poiché è adattato alle condizioni di buio presenti nelle grotte. Si tratta di una specie endemica (cioè esclusiva) per l'Italia. Per le sue caratteristiche biologiche essa risulta di straordinario interesse scientifico.

Fra i numerosi pipistrelli presenti nelle grotte, il Rinolofo di Blasius risulta esclusivo, in Italia, dell'area carsica triestina.

Le pietraie carsiche soleggiate sono particolarmente adatte ad ospitare numerose specie di rettili fra cui i serpenti come il Biacco e il Saettone. L'Algiroide magnifico è invece un bellissimo e variopinto rettile molto simile alla ben più nota Lucertola muraiola, anch'esso esclusivo del Carso triestino e goriziano. La specie è frequente in numerose località rupestri.

Altre specie rintracciabili nelle aree carsiche della regione sono la Testuggine di Hermann ed una specie di Geco, la Tarantola. Ancora una volta si tratta di specie che in Friuli Venezia Giulia sono presenti soltanto nella parte più orientale del territorio. Soprattutto per la seconda, i ricercatori dibattono fra loro per capire se si tratti di specie introdotte dall'uomo o autoctone per queste questa zona. In ogni caso, la loro presenza, rende testimonianza della particolare situazione ambientale e microclimatica che contraddistingue il Carso.

Per quanto riguarda gli anfibi è piuttosto diffusa la presenza del Rospo smeraldino che, fra le Rane ed i Rospi della regione, sembra la specie maggiormente adattata alle condizioni di aridità superficiale che caratterizzano questo territorio. Interessante anche la presenza della Raganella centroeuropea le cui popolazioni in Italia sono segnalate, oltre che nel Tarvisiano, soltanto nella provincia di Trieste.

Per quanto riguarda i mammiferi, gli ambienti aperti ma ricchi di cespugli favoriscono la presenza del Capriolo, della Lepre ma anche del Cinghiale, mentre fra i carnivori è ovunque abbondante la Volpe. Occorre segnalare la sostituzione del Riccio europeo con il Riccio orientale. Nel Carso sono comuni anche il Tasso e la Faina.

Fra gli uccelli occorre citare le specie legate ai pascoli ed ai prati come ad esempio l'Allodola, la Tottavilla e quelle caratteristiche della landa con macchie di arbusti come l'Averla piccola, il Succiacapre e l'Upupa. Fra gli uccelli che nidificano tipicamente negli anfratti rocciosi il grande Gufo reale e le ultime popolazioni naturali di Piccione selvatico, mentre presso le forre calcaree o le falesie che si affacciano a picco sul mare nidifica il Rondone maggiore.

Inoltre, per quanto riguarda l'avifauna, sono importantissime le aree lagunari costiere. L'area lagunare che si estende dalle foci dell'Isonzo fino a quelle del Tagliamento, presso Lignano, è, infatti, una delle più importanti a livello nazionale ed europeo. Tale area, oltre che per la nidificazione di molti uccelli, risulta importantissima anche per il loro svernamento e per la sosta lungo le rotte migratorie.

La Laguna di Marano e Grado è quindi di importanza internazionale per lo svernamento del Fischione, di importanza nazionale per lo svernamento della Garzetta, dell'Oca lombardella, della Canapiglia, della Moretta grigia, del Quattrocchi, dello Smergo minore, della Pivieressa, del Beccaccino e del Chiurlo maggiore.

Per la nidificazione, è di importanza nazionale per la Garzetta, l'Airone rosso, l'Oca selvatica, la Volpoca, la Beccaccia di mare, il Cavaliere d'Italia, il Gabbiano reale, la Sterna comune e il Fraticello.

Specie importanti durante le migrazioni sono invece la Marzaiola, il Combattente, il Chiurlo piccolo, il Totano moro, il Gabbiano corallino e il Mignattino. Inoltre si possono osservare molte altre specie fra cui il Falco di palude e, durante il periodo invernale, i grandi stormi di anatre con presenza soprattutto di Germani reali, Canapiglie, ma anche di Moriglioni e alcuni dormitori di Albanella reale e di Cormorano.

Presso i canneti nidificano anche molte specie particolari di passeriformi fra cui ad esempio l'Usignolo di fiume, il Beccamoschino, la Cannaiola verdognola, la Cannaiola comune, il Pendolino, che, anche se difficili da osservare, si distinguono per il loro caratteristico canto.

Per tutelare un ambiente naturale così delicato, la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha istituito una serie di aree naturali protette fra cui la Riserva Naturale della Foce dell'Isonzo e la Riserva Naturale dei laghi di Doberdò e Pietrarossa.

Da evidenziare che la distribuzione e la consistenza del patrimonio faunistico sono state e sono tuttora fortemente condizionate dall'intervento dell'uomo, sia diretto, con persecuzione di certe specie o immissione di altre, sia indiretto, mediante le modificazioni ambientali indotte da un diverso utilizzo del territorio.

In Allegato 6 viene presentato un elenco delle specie faunistiche presenti nell'area vasta di indagine.

5.2.2.2.2 Analisi di dettaglio

Di seguito vengono descritte nel dettaglio le caratteristiche dei popolamenti animali riscontrabili nei tratti di linea allo scoperto, analizzando una fascia di circa 2 km a cavallo del tracciato, evidenziando i tipi di habitat utilizzati e le specie di maggior pregio e sensibilità.

Per quanto riguarda la fauna, particolare attenzione è stata rivolta alle specie troglobie, legate cioè agli ambienti ipogei interessati nei tratti in galleria.

Mammalofauna

La mammalofauna si presenta alquanto ricca di specie, alcune delle quali di notevole interesse.

Tra gli elementi di maggior pregio si rileva lo Sciacallo dorato *Canis aureus*, specie inserita nel libro rosso degli animali d'Italia (Bulgarini *et al.*, 1998), che costituisce una recente acquisizione della fauna italiana: la specie è giunta spontaneamente dall'est europeo e la sua presenza è stata accertata nel Carso triestino dal 1992 (Lapini, Perco, Benussi, 1993).

I ripetuti avvistamenti di coppie di animali nel Carso sloveno, goriziano e triestino fanno supporre che si sia costituita una vera e propria popolazione, la cui consistenza è comunque molto variabile e soggetta a fluttuazioni dovute principalmente alla dispersione di individui provenienti dalla Slovenia. A causa di questa situazione ancora molto dinamica, la specie è da considerarsi assai scarsa.

Attualmente la specie è presente in buona parte del Friuli Venezia Giulia e del Veneto, sebbene con singoli esemplari isolati, principalmente maschi erranti sub adulti.

È una specie soprattutto notturna, onnivora e capace di predare anche ungulati domestici e selvatici di taglia piccola e media. Per la grande adattabilità e la naturale tendenza all'espansione dell'areale, lo Sciacallo dorato non presenta particolari problemi di conservazione a livello mondiale.

Un altro carnivoro di interesse è il Gatto selvatico *Felis silvestris*, specie a *status* vulnerabile (libro rosso degli animali d'Italia) la cui distribuzione e consistenza è poco nota sia per le abitudini comportamentali particolarmente elusive, sia per la difficoltà oggettiva di identificazione, vista la facile confusione con il gatto domestico.

È principalmente associato alle foreste di latifoglie miste e si alimenta principalmente di piccole prede (roditori, lagomorfi, uccelli, rettili e insetti). Oltre alla modificazione e frammentazione degli habitat, uno specifico fattore di minaccia per la specie è dovuto alla ibridazione con il gatto domestico.

Altri carnivori diffusi nell'area oltre alla Volpe *Vulpes vulpes* sono rappresentati da diversi mustelidi come il Tasso *Meles meles*, la Faina *Martes foina*, la donnola *Mustela nivalis* e la puzzola *Mustela putorius*, specie la cui attività predatoria è fondamentale per garantire l'equilibrio ecologico del territorio.

Tra gli insettivori si rileva la presenza del Riccio orientale *Erinaceus concolor* che in regione è presente esclusivamente nell'area del carso.

Un ungulato di grossa taglia frequente nell'area del Carso è il Capriolo *Capreolus capreolus* che talvolta si spinge fino alle periferie di Trieste. Esso trova le condizioni ottimali di sviluppo nell'orizzonte delle querce caducifoglie, prediligendo i boschi attigui a radure erbose, dove è presente un ricco strato cespugliare.

Diffuso è anche il Cinghiale *Sus scrofa*, la cui presenza comporta spesso danni all'agricoltura.

Tra i Lagomorfi si rileva infine la presenza della Lepre *Lepus europaeus*, che frequenta le zone agricole e gli spazi aperti.

Tra i Gliridi si ricordano lo Scoiattolo (*Sciurus vulgaris*) e il Ghiro (*Glis glis*), abbastanza comuni negli ambienti boscosi e nei coltivi con piante d'alto fusto.

Tra i Chirotteri legati sia all'ambiente delle grotte sia alle zone boscate, si rileva la presenza di specie appartenenti al gruppo dei Rinolofi legati ad ambienti ipogei come grotte e cavità artificiali, e anche vecchie case abbandonate. In particolare diffusi sono *Rhinolophus ferrumequinum*, *R. euryale*, *R. hipposideros*, le cui popolazioni sono in forte calo numerico principalmente a causa dell'elevata frequentazione delle grotte e per l'uso abbondante di pesticidi in agricoltura.

Rhinolophus euryale è la specie meno diffusa della famiglia, minacciata dalla riduzione delle sue prede principali, gli insetti, a causa dall'impiego dei pesticidi in agricoltura, dalla distruzione ed alterazione dell'habitat e dal disturbo alle colonie nei siti di riproduzione e svernamento (grotte).

Si riscontra, inoltre, la presenza di specie appartenenti al genere *Myotis* (*M. myotis* , *M. blythii*, *M. capaccinii*) e della specie Barbastello *Barbastella barbastellus*, che utilizzano gli ambienti ipogei. Il Barbastello è una specie particolarmente sensibile al disturbo operato dall'uomo nei rifugi situati in grotte e costruzioni ed anche minacciata dalla scomparsa degli habitat idonei e avvelenamento delle risorse trofiche a causa degli insetticidi. La specie *Myotis blythii* è minacciata dalle alterazioni degli ambienti agricoli causate dalle pratiche intensive che riducono la densità e varietà delle sue prede, nonché dal disturbo alle colonie e dall'alterazione e perdita di siti di rifugio, riproduzione ed ibernazione.

Avifauna

In considerazione della varietà di ambienti riscontrabili nell'area, il popolamento ornitico si presenta ricchissimo di specie e nello stesso tempo molto complesso.

Ciò è evidenziato anche da quanto è riportato nell'Atlante degli uccelli nidificanti in Italia (Meschini & Frugis, 1993) dove il numero massimo delle specie nidificanti per quadrante (di dimensione 20 x 20 Km di lato) indagato a livello nazionale viene individuato nella zona a cavallo tra le province di Gorizia e Trieste.

Oltre alle numerose specie nidificanti, il contingente ornitico della zona è rappresentato anche da svernanti, estivanti e da specie che stazionano temporaneamente nella zona durante il passaggio migratorio come il Falco pescatore.

Di seguito viene effettuata una descrizione dei popolamenti ornitici presenti nei principali ambienti individuabili nel territorio indagato.

Gli uccelli delle zone umide

All'interno del corridoio di studio le principali zone umide sono costituite dal sistema lotico del Fiume Isonzo, caratterizzato dalla presenza di habitat contigui diversificati (greto, boscaglia ripariale, canneti, ecc.), e da quello lentico dei Laghetti delle Mucille, caratterizzati da un esteso canneto e lembi di boscaglia igrofila. Altre importanti zone umide sono, inoltre, rappresentate dai laghi carsici di Doberdò e Pietrarossa.

L'habitat della boscaglia ripariale svolge un importante ruolo nella dinamica delle popolazioni ornitiche stanziali e migratorie. Questo ambiente è, infatti, interessato dalla presenza di numerose specie legate all'ambiente acquatico (anatidi, ardeidi, rallidi e tra i passeriformi la Ballerina gialla *Motacilla cinerea*) ma anche dalla presenza di specie caratteristiche di altri ambienti che trovano qui risorse alimentari, microclimi favorevoli nelle stagioni estreme e/o idonei siti riproduttivi.

Tra i rallidi si rileva la presenza del Porciglione *Rallus acquaticus* che frequenta zone umide dolci e corsi d'acqua con fitta vegetazione di ripariale, della Gallinella d'acqua *Gallinula chloropus*, specie ad ampia valenza ecologica che frequenta una gran varietà di ambienti, anche se fortemente degradati e antropizzati, e della Folaga *Fulica atra*, presente con grandi contingenti anche come svernante.

Da segnalare la presenza del Voltolino *Porzana parva* e della Schiribilla *Porzana porzana*, migratori abituali che frequentano soprattutto ambienti palustri con acque basse dolci o salmastre e vegetazione fitta. Il Voltolino nidifica in aree umide, tra le fasce di vegetazione palustre in cui predomina il fragmiteto misto alla vegetazione caratteristica degli stadi successivi di interramento. Le principali minacce sono costituite dall'insieme di alterazioni che hanno ridotto e frammentato le aree umide planiziali, e hanno aumentato le possibili fonti di disturbo antropiche sulla specie.

Tra gli anatidi comune è il Germano reale *Anas plathyrhynchos* che frequenta sia il corso dell'Isonzo che le cave allagate e la cui popolazione nidificante appare in aumento.

Durante le migrazioni e lo svernamento si riscontra, inoltre, la presenza dell'Alzavola *Anas crecca*, che frequenta piccoli stagni alberati, boschi allagati e canali in zone agricole e della Canapiglia *Anas strepera*.

Da segnalare la presenza del Marangone minore *Phalacrocorax pygmeus*, uccello acquatico che frequenta zone umide preferibilmente d'acqua dolce, ricche di vegetazione palustre, nidificando su alberi o cespugli.

Tra i passeriformi si ricordano l'Usignolo di fiume *Cettia cetti*, la Ballerina bianca e gialla (*Motacilla alba* e *M. cinerea*) e il Pendolino *Remiz pendulinus*, tipico abitatore delle boscaglie umide nei pressi di stagni e fiumi.

La vegetazione di bordura a dominanza di specie elofitiche costituisce un habitat ideale per diverse specie come il Tuffetto *Tachybaptis ruficollis*, uno svasso il cui habitat riproduttivo è rappresentato dalle zone umide d'acqua dolce poco profonde anche di piccole dimensioni, bordate di folta vegetazione (soprattutto *Phragmites* e *Typha*) e il Tarabusino (*Ixobrychus minutus*), migratore regolare che in Italia nidifica nelle zone umide della Pianura padana e delle aree costiere. Il Tarabusino, nell'ambito indagato, frequenta soprattutto ambienti umidi d'acqua dolce di estensione e composizione varia e nidifica lungo le rive dei canali, in cave abbandonate, negli stagni e paludi con densa vegetazione con presenza di alberi o cespugli isolati. Il Tarabusino è minacciato principalmente dalla riduzione degli habitat vocazionali, in particolare quelli di nidificazione, dovuti a frammentazione continua di zone umide, bonifiche, pulizia dei canali. Essendo specie migratrice, incontra una serie di problematiche anche nei quartieri di svernamento africani, che ne hanno determinato un trend negativo a scala europea.

Si rileva inoltre la presenza di diversi Passeriformi come la Cannaiola verdognola *Acrocephalus palustris*, che frequenta ambienti con una fitta copertura ad alte erbe (*Urtica* sp., *Helianthus* sp., ecc.), la Cannaiola *Acrocephalus scirpaceus* e il Cannareccione *Acrocephalus arundinaceus* legati specificatamente all'habitat del canneto.

Tra gli uccelli legati in modo praticamente esclusivo all'ambiente del greto e dei suoi immediati dintorni si individua, inoltre, il Corriere piccolo *Charadrius dubius*, il cui ambiente naturale di nidificazione è rappresentato dalle rive sabbiose e ghiaiose con scarsa vegetazione presenti generalmente lungo i grandi fiumi; trattandosi di un uccello fortemente adattabile ai luoghi molto disturbati, è possibile riscontrarne comunque la nidificazione anche nelle cave e nelle spianate dei cantieri.

Gli habitat umidi sono, inoltre, frequentati dal Cormorano *Phalacrocorax carbo* durante le migrazioni e lo svernamento e in concomitanza con il movimento migratorio proveniente soprattutto dalle colonie dell'Europa centro-orientale.

Altre specie presenti sono il Piro piro piccolo *Actitis hypoleucos*, il Gufo di palude *Asio flammeus* e il Martin pescatore *Alcedo atthis*.

Da segnalare è la presenza del Falco pescatore *Pandion halietus* nel periodo delle migrazioni dalle popolazioni nidificanti in Svezia e in Finlandia; durante la permanenza in loco questa specie ittiofaga può frequentare tutte le zone umide adatte all'alimentazione sia lungo la costa sia nelle aree interne (soprattutto cave allagate ricche di pesce). Generalmente si tratta di singoli individui che possono fermarsi nella zona prescelta anche per più giorni.

Il Falco pescatore è minacciato delle uccisioni illegali, dell'urbanizzazione costiera, dall'inquinamento e dell'eventuale contaminazione da mercurio e da organoclorurati.

Un altro rapace, il Lodolaio *Falco subbuteo*, è regolarmente presente nell'area durante le migrazioni; frequenta soprattutto aree aperte ai margini dei boschi golenali del Fiume Isonzo anche di impianto artificiale (pioppeti).

Non nidificanti ma comunque presenti durante tutto l'anno sono, infine, la Garzetta (*Egretta garzetta*) e l'Airone cenerino (*Ardea cinerea*) che utilizzano le acque basse del fiume per alimentarsi di piccoli pesci o insetti acquatici.

Di seguito viene riportato un elenco delle principali specie nidificanti nell'ambito delle zone umide.

UCCELLI NIDIFICANTI NELLE ZONE UMIDE

Tuffetto *Tachybaptis ruficollis*

Tarabusino *Ixobrychus minutus*

Gallinella d'acqua *Gallinula chloropus*

Folaga *Fulica atra*

Martin pescatore *Alcedo atthis*

Picchio rosso maggiore *Picoides major*

Ballerina gialla *Motacilla cinerea*

Usignolo *Luscinia megarhynchos*

Usignolo di fiume *Cettia cetti*

Cannaiola verdognola *Acrocephalus palustris*

Cannaiola *Acrocephalus scirpaceus*

Cannareccione *Acrocephalus arundinaceus*

Pendolino *Remiz pendulinus*

Rigogolo *Oriolus oriolus*

Gli uccelli dei boschi e della boscaglia carsica

Di seguito vengono esaminate le comunità ornitiche legate alle principali tipologie forestali presenti sul territorio, che sono riconducibili a due tipologie principali: la boscaglia carsica (querceto a roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale) e i boschi di conifere di impianto antropico.

Alla boscaglia, in fase di espansione su tutto il territorio carsico, sono associate diverse specie ornitiche situate all'apice della catena trofica (in particolare rapaci), che utilizzano questo habitat principalmente per la nidificazione.

La fase attuale di crescente imboschimento spontaneo ha favorito in particolare la diffusione di alcuni rapaci diurni accipitridi come l'astore *Accipiter gentilis* e lo sparviere *Accipiter nisus*.

Il primo stazionario e localmente nidificante trova l'habitat riproduttivo nella zona carsica dove sono presenti boschi misti maturi e radi; il secondo, stanziale e nidificante ma anche erratico e migratore regolare, è diffuso e comune nel territorio particolarmente nel periodo invernale e nel periodo riproduttivo risulta legato alla presenza di formazioni boscose.

Si rileva inoltre la presenza del Falco pecchiaiolo *Pernis apivorus*, un migratore regolare e probabilmente nidificante (Perco & Utmar, 1989) e della Poiana *Buteo buteo*, soprattutto stanziale e nidificante ma anche migratrice regolare e svernante.

La gestione forestale che non tutela le piante mature e non ha indirizzo naturalistico è una minaccia per il Falco pecchiaiolo, unitamente alla frammentazione e taglio di porzioni forestali integre e continue.

Tra i rapaci notturni si ricorda l'Allocco *Strix aluco*, che nidifica in alberi di grandi dimensioni.

La presenza di boschi con alberi vecchi e di grandi dimensioni consente la nidificazione di una complessa comunità di picchi, tra cui il Picchio verde *Picus viridis*, il Picchio rosso maggiore *Picoides major*, il Picchio cenerino *Picus canus*, specie vulnerabile inserita nel libro rosso degli animali d'Italia e nidificante presso il Lago di Doberdò e il Picchio nero *Drycopus martius*, quest'ultimo legato alle pinete dell'ambiente carsico.

Infine, tra i Passeriformi si riscontrano diverse specie di cince come la Cincia bigia *Parus palustris*, la Cinciarella *Parus caeruleus*, la Cinciallegra *Parus major*, la Cincia dal ciuffo *Parus cristatus* e la Cincia mora *Parus ater*, queste ultime due particolarmente legate ai boschi di conifere.

Nelle aree cespugliate nidificano vari Passeriformi come Canapino *Hippolais polyglotta* e Sterpazzola *Sylvia communis*. Nei versanti meridionali più riparati troviamo il mediterraneo Occhiocotto *Sylvia melanocephala*, che qui nidifica al limite del suo areale.

Infine, il bosco ripariale di salice e pioppo nero ospita d'estate una densità elevata di Rigogoli *Oriolus oriolus*.

UCCELLI NIDIFICANTI NELL'HABITAT DEI BOSCHI E DELLA BOSCAGLIA

Astore *Accipiter gentilis*

Sparviere *Accipiter nisus*

Gufo comune *Asio otus*

Picchio verde *Picus viridis*

Picchio rosso maggiore *Picoides major*

Codibugnolo *Aegithalos caudatus*

Cincia bigia *Parus palustris*

Cincia dal ciuffo *Parus cristatus*

Cincia mora *Parus ater*

Cinciarella *Parus caeruleus*

Cinciallegra *Parus major*

Picchio muratore *Sitta europaea*

Rigogolo *Oriolus oriolus*

Ghiandaia *Garrulus glandarius*

Frosone *Coccothraustes coccothraustes*

Gli uccelli della landa carsica

L'habitat della landa, costituito dalle praterie xeriche della zona carsica è in evidente fase di regressione per l'invasione della boscaglia e, conseguentemente, anche i popolamenti ornitici a esso associati sono in evidente rarefazione.

Un caso emblematico è quello della Coturnice *Alectoris graeca*, una specie tipica di questi ambienti in quanto legata alle praterie con cospicuo affioramento di scheletro roccioso. Un tempo frequente in tutte le zone aperte del Carso (alla fine del 1800 era considerata stazionaria nella zona carsica), la Coturnice attualmente è estremamente localizzata e non più nidificante.

Più di altre specie ha, infatti, risentito della progressiva espansione della boscaglia carsica su superfici un tempo completamente prive della vegetazione arborea. Allo stato attuale, le ultime Coturnici presenti si individuano nel versante sloveno; il versante italiano è frequentato ancora dalla coturnice in modo particolare durante i mesi più freddi, quando può offrire maggiore riparo soprattutto in caso di forte bora e, probabilmente, anche per il reperimento del cibo.

Il declino delle popolazioni della Coturnice si osserva in generale in Europa meridionale ed è imputabile a diverse cause quali il disturbo, la persecuzione diretta da parte dell'uomo e l'alterazione dell'habitat.

Altre specie tipiche di questi ambienti, un tempo molto più frequenti, sono il Calandro *Anthus campestris* e il Fanello *Carduelis cannabina*; fino agli anni sessanta nidificavano regolarmente nella landa carsica mentre oggi sono rinvenibili solo nelle ultime aree aperte prive di vegetazione arborea del Carso.

Legato a questo tipo di habitat in particolare per l'alimentazione è il Biancone *Circaetus gallicus*, un rapace migratore che frequenta aree caratterizzate dalla presenza di vasti sistemi boschivi (di almeno 100 ha di superficie) ed erbacei (prato-pascoli, steppe, colture cerealicole) alternati. Nella landa carsica sono stati osservati di frequente sia individui singoli sia coppie durante il periodo riproduttivo.

L'habitat della landa è utilizzato per la caccia anche dal Gufo reale *Bubo bubo*, rapace notturno eclettico sia nella scelta del sito di nidificazione (in Italia principalmente rappresentato dalle pareti rocciose) sia per le abitudini alimentari.

Diffuso è il gheppio *Falco tinnunculus*, un falconide generalmente legato agli ambienti aperti, che utilizza per la nidificazione alberi,tralicci, torri, pareti rocciose, ecc.

Altre specie tipiche di questo habitat in quanto legate agli spazi aperti sono il Succiacapre *Caprimulgus europaeus* un migratore, localmente nidificante, che nel periodo riproduttivo frequenta ambienti aperti e soleggiati, spesso cespugliati, ma con scarsa o nulla copertura arborea.

Il Succiacapre è minacciato dalla scomparsa degli habitat idonei alla nidificazione, convertiti in aree agricole o frammentate per interventi antropici (edificazione, costruzione infrastrutture). L'utilizzo di pesticidi e la conseguente diminuzione di entomofauna si ripercuote sulla specie, strettamente entomofaga. Il disturbo antropico nei siti di nidificazione e sosta migratoria è causa di insuccesso riproduttivo e allontanamento della specie anche da ambienti favorevoli.

Sono, infine, presenti l'Allodola *Alauda arvensis*, che nidifica al suolo nelle distese prative e la Tottavilla *Lullula arborea*.

La Tottavilla è minacciata, nell'areale di nidificazione, dalla trasformazione dei prati in seminativi e dall'imboschimento naturale dovuto all'abbandono dei tradizionali sistemi di allevamento nei paesaggi forestali, che generano una banalizzazione del paesaggio.

UCCELLI NIDIFICANTI NELLA LANDA CARSICA

Gheppio *Falco tinnunculus*

Succiacapre *Caprimulgus europaeus*

Upupa *Upupa epops*

Tottavilla *Lullula arborea*

Allodola *Alauda arvensis*

Calandro *Anthus campestris*

Sterpazzola *Sylvia communis*

Averla piccola *Lanius collurio*

Fanello *Carduelis cannabina*

Zigolo muciatto *Emberiza cia*

Strillozzo *Miliaria calandra*

Gli uccelli degli ambienti coltivati

Gli ambienti coltivati sono presenti in maniera diffusa e continua in gran parte della piana alluvionale dell'Isonzo. Nonostante siano dominanti le monoculture e da un tipo di agricoltura industrializzata, che ha determinato una notevole semplificazione del paesaggio, sono numerose le specie ornitiche presenti.

La maggiore diversità e ricchezza ornitica si osserva in particolare in situazioni ecotonali (presenti in prossimità alla fascia golenale dell'Isonzo) e nelle zone in cui si sono conservati boschetti isolati, siepi e filari. Sono importanti, inoltre, i canali irrigui e le scoline, che costituiscono un fattore di richiamo per diverse specie.

Tipici di questi ambienti sono alcuni galliformi come la starna *Perdix perdix*, la quaglia *Coturnix coturnix* e il fagiano *Phasianus colchicus*.

In relazione alla starna *Perdix perdix* si rileva che la sua presenza è dovuta esclusivamente all'immissione di soggetti per scopi venatori, effettuata dalle riserve di caccia; originariamente, invece, la specie era stanziale e abbastanza comune in tutti i territori adatti.

La Quaglia *Coturnix coturnix* è presente come specie migratrice nel periodo primaverile-estivo nelle zone con prati e coltivazioni cerealicole con copertura arborea quasi del tutto assente. I moderni metodi di conduzione agricola hanno provocato negli ultimi decenni una progressiva diminuzione della popolazione nidificante. Inoltre, l'introduzione per scopi venatori appartenenti generalmente alla forma *C.c. japonica* determina fenomeni di ibridizzazione e di inquinamento genetico.

Il fagiano comune *Phasianus colchicus* nell'ambito della pianura coltivata, durante il periodo riproduttivo, è rinvenibile più frequentemente nelle zone adiacenti ai boschi golenali; la consistenza delle sue popolazioni (stanziali e nidificanti) è fortemente influenzata dalle massicce immissioni per scopi venatori.

Si rileva inoltre la presenza della Pavoncella *Vanellus vanellus*, un caradride che utilizza come siti riproduttivi le zone coltivate a mais, soia e barbabietola.

Tra i passeriformi si ricorda l'Allodola *Alauda arvensis*, che nella zona dell'aeroporto di Ronchi dei Legionari presenta le maggiori densità di popolazione.

Infine, tra i rapaci notturni si rileva la presenza della Civetta *Athene noctua*, che per riprodursi può utilizzare vari tipi di costruzioni e manufatti e dell'Assiolo *Otus scops*, che nei decenni scorsi ha subito un decremento numerico probabilmente legato all'impiego di pesticidi in agricoltura nonché alla scomparsa di alcuni siti di nidificazione quali salici e gelsi capitozzati, ricchi di cavità, che fino a qualche decennio fa caratterizzavano il paesaggio agrario isontino.

Si sottolinea, inoltre, che questi ambienti possono essere utilizzati dall'Airone cenerino *Ardea cinerea* che vi svolge attività trofica e dall'Airone bianco maggiore *Egretta alba*, un migratore e svernante regolare, che dalla costa si spinge nelle zone interne seguendo i corsi d'acqua ed è regolarmente presente in diverse aree bonificate dove frequenta le scoline e in zone aperte coltivate su terreni arati, prati, ecc.

UCCELLI NIDIFICANTI NEGLI AMBIENTI AGRICOLI

Quaglia *Coturnix coturnix*

Tortora dal collare *Streptopelia decaocto*

Tortora *Streptopelia turtur*

Assiolo *Otus scops*

Gufo comune *Asio otus*

Torcicollo *Jynx torquilla*

Allodola *Alauda arvensis*

Rondine *Hirundo rustica*

Balestruccio *Delichon urbica*

Usignolo *Luscinia megarhynchos*

Saltimpalo *Saxicola torquata*

Gazza *Pica pica*

Cornacchia *Corvus corone*

Passera *Passer domesticus*

Passera mattugia *Passer montanus*

Luì piccolo *Phylloscopus collybita*

Fringuello *Fringilla coelebs*

Verzellino *Serinus serinus*

Gli uccelli degli ambienti antropizzati

Gli ambienti antropizzati nell'area in esame sono principalmente costituiti dai centri abitati di grandi o piccole dimensioni. In questi habitat, nonostante la evidente influenza antropica si riscontra la presenza di numerose specie ornitiche, in particolare passeriformi, poco sensibili al disturbo dell'uomo.

Tra questi ultimi si ricordano la Capinera *Sylvia atricapilla* e il Verdone *Carduelis chloris* presenti in orti e giardini e parchi urbani ricchi di cespugli e rovi e la Taccola *Corvus monedula*, un corvide che manifesta una spiccata tendenza sinantropica. Nidifica in colonie ed è stato rilevato in molti centri abitati dell'isontino, dove sfrutta come siti riproduttivi i campanili (Monfalcone), le torri degli acquedotti (S. Canzian d'Isonzo) o le cavità di grossi alberi.

Da segnalare le nidificazioni dello Sparviere *Accipiter nisus* anche con più coppie all'interno di alcuni dei maggiori agglomerati urbani come Monfalcone e Ronchi dei Legionari.

UCCELLI NIDIFICANTI NEGLI AMBIENTI ANTROPIZZATI

Rondone *Apus apus*

Merlo *Turdus merula*

Capinera *Sylvia atricapilla*

Storno *Stornus vulgaris*

Taccola *Corvus monedula*

Passera *Passer domesticus*

Verdone *Carduelis chloris*

Cardellino *Carduelis carduelis*

Anfibi e rettili

Di seguito viene effettuata un'analisi dei popolamenti di Anfibi e Rettili presenti nell'area di studio evidenziando le principali caratteristiche ecologiche delle specie e il tipo di habitat cui esse sono associate.

In relazione in particolare alle specie di Anfibi si sottolinea che questi presentano molto spesso una distribuzione discontinua sul territorio, con popolazioni isolate legate a ben precise tipologie ambientali; soprattutto nel periodo riproduttivo essi si concentrano in ambienti delimitati e spesso ristretti, che risultano di importanza fondamentale per lo svolgimento dei vari cicli di sviluppo.

Nel caso dei Rettili, invece, la maggior parte delle specie non appare strettamente legata a ben precisi biotopi, ma frequenta un'ampia gamma di tipologie ambientali; ciò si associa indubbiamente a una minor vulnerabilità dal punto di vista ecologico.

In relazione alle abitudini comportamentali delle specie trattate, si sottolinea che si tratta di animali relativamente sedentari e spesso legati a precise condizioni microclimatiche e, quindi, ad habitat ben differenziati. Nella presente trattazione si è cercato di porre in evidenza in relazione a ciascuna specie il tipo di habitat utilizzato.

Relativamente alla zona del Carso si sottolinea che le erpetocenosi presenti sono di particolare interesse in quanto caratterizzate da un'eccezionale quantità di elementi stigobi, petrofili o euriigri tipici delle dinaridi e delle coste adriatiche orientali (Lapini et al, 1999). Molte delle specie presenti, inoltre, in ambito nazionale, sono esclusive del Friuli Venezia Giulia.

Si riporta di seguito un elenco commentato delle specie di Anfibi e Rettili presenti nell'area fornendo indicazioni circa la loro biologia, le caratteristiche degli habitat frequentati e la distribuzione nell'area di studio.

Anfibi

Salamandra pezzata (*Salamandra salamandra*) anfibio urodelo legato all'habitat delle boscaglie a latifoglie e fortemente condizionato dall'umidità ambientale (si sposta nelle giornate piovose o nelle ore notturne). È presente nel carso triestino dove si spinge quasi fino al livello del mare. Alla luce di studi di dettaglio effettuate nelle grotte della Regione, questa specie può essere considerata troglossena regolare, in quanto può ricercare attivamente le caverne, penetrandovi volontariamente. Alcune popolazioni di *Salamandra salamandra* sembrano essere addirittura dipendenti dalle acque ipogee per la loro riproduzione, tanto da avvicinarsi al concetto di popolazioni subtroglofile, dimostrando, quindi, elettività per l'ambiente cavernicolo solo in una determinata fase della loro vita, ma non potendo compiere in esso l'intero ciclo vitale.

Tritone crestato italiano (*Triturus carnifex*) anfibio urodelo a vita terricola notturna; durante il periodo estivo frequenta l'habitat delle lettiere forestali, cortecce, tronchi deperienti ed è legato all'acqua durante l'accoppiamento. È comune nell'ambito della pianura friulana, mentre nel carso triestino e goriziano è sintopico con *Triturus vulgaris meridionalis*.

La causa principale del declino di questa specie è la progressiva distruzione degli habitat riproduttivi; talvolta a questa causa si aggiunge la predazione esercitata dai salmonidi introdotti. Al pari di altre specie acquatiche, anche il tritone crestato subisce l'alterazione di tipo chimico e di tipo colturale degli ambienti. La scomparsa dei canali di irrigazione a corso lento, o anche la loro regimazione, può provocare di fatto la scomparsa delle condizioni ideali per questa specie.

Tritone punteggiato meridionale (*Triturus vulgaris meridionalis*) anfibio urodelo che frequenta le zone umide solo nel corso degli accoppiamenti e per il resto conduce vita terricola e notturna. Nell'area di studio la specie è presente sia nella zona della pianura, che nel carso triestino e goriziano.

Proteo comune (*Proteus anguinus*) anfibio urodelo diffuso nel sistema idrico sotterraneo dell'Isonzo-Vipacco-Timavo. Le caratteristiche della specie sono trattate approfonditamente nel paragrafo successivo inerente la fauna troglobia.

Ululone dal ventre giallo (*Bombina variegata*) anfibio anuro che conduce una vita largamente terricola frequentando nel periodo degli accoppiamenti le pozzanghere che si formano nelle carrareccie interpoderali, nelle scoline, negli abbeveratoi o nelle anse più calme dei ruscelli. Nel Friuli Venezia Giulia la specie è ancora piuttosto comune presentando un'ampia valenza ecologica. È presente sia nella zona del Carso triestino e goriziano sia nella bassa pianura, dove tende a scomparire in condizioni di pressione agricolturale di tipo intensivo.

La principale minaccia per la specie è la scomparsa degli habitat riproduttivi, spesso costituiti da corpi idrici temporanei: l'alterazione di questi ambienti come risultato degli interventi di regolazione dell'acqua, l'abbandono delle pozze agricole e d'alpeggio e la trasformazione degli habitat riproduttivi in ambienti umidi perenni per usi ricreativi, con l'introduzione artificiale di specie di fauna e flora, il tutto si pone in conflitto con le esigenze ecologiche di una tal particolare specie. Le popolazioni di questa specie possono essere minacciate localmente dalla perdita di habitat idoneo operata dall'urbanizzazione, dal potenziamento della rete viaria, dell'industria e dallo scarico di inquinanti nelle acque.

Rospo comune (*Bufo bufo*) anfibio anuro terricolo legato ad ambienti arbustati o forestati, che tollera grandi variazioni di umidità e temperatura ed è in grado di vivere nelle più diverse condizioni ambientali e altitudinali. Si sposta in ambienti umidi durante il periodo riproduttivo. Nell'area la specie è comune in tutto il territorio.

Rospo smeraldino (*Bufo viridis*) anfibio anuro terricolo, che predilige ambienti ben drenati, soprattutto su materassi alluvionali incoerenti a bassa copertura arborea e lungo i litorali. È comune lungo l'alveo del Fiume Isonzo e nelle località sottoposte ad agricoltura estensiva (bassa pianura goriziana). È stato inoltre rilevato anche in ambienti antropizzati (città di Trieste - Bressi, 1996). Nel carso triestino la specie sembra essere invece decisamente sporadica.

Raganelle (*Hyla intermedia, Hyla arborea*) anfibi anuri arboricoli, che vivono su alberi, arbusti e canneti, in prossimità di ambienti umidi, anche temporanei e di limitata estensione in cui scendono nel periodo degli amori. *Hyla intermedia* è una specie endemica dell'Italia, che nel Friuli Venezia Giulia ha una distribuzione complementare a quella di *Hyla arborea*, ben diffusa in tutta l'Europa centrale e sud orientale. La prima vive nelle zone umide perilagunari e nelle pianure alluvionali, spingendosi comunemente sino ai 200-300 m di quota; la seconda presenta una più ampia valenza altitudinale, essendo ben diffusa in tutta la provincia di Trieste, dal livello del mare fino a 1400 m di quota.

Recentemente le raganelle sono state oggetto di grande attenzione per la forte contrazione popolazionale in tutta l'Europa centrale e settentrionale e, perciò, considerate fortemente a rischio. Come per molte altre specie di anfibi le cause sono da ascriversi all'elevato uso di fitofarmaci e alla frammentazione dell'areale per la forte riduzione degli ambienti idonei di pianura, che pone in particolare *Hyla arborea* in una condizione di elevato rischio a medio e breve termine.

Rane verdi (*Rana lessone, Rana esculenta, Rana ridibunda*) gruppo di anfibi anuri strettamente legati all'acqua; le rane verdi del sistema ibridogenetico lessone-esculenta dominano le cenosi ad anuri acquatici del Friuli Venezia Giulia dal livello del mare fino a quasi 1000 m di quota, tranne che in provincia di Trieste, dove è invece presente *Rana ridibunda*. Quest'ultima è sottoposta a minaccia dovuta alla distruzione dell'habitat.

Rana agile (*Rana dalmatina*) anfibio anuro legato all'ecotono forestale e che predilige le macchie arbustate luminose. Ha una grande tolleranza alle variazioni di umidità ambientale, così che nel carso triestino è la rana distribuita in modo più omogeneo sul territorio. È inoltre comune anche nel carso goriziano e nella zona di pianura, dove è sintopica con *Rana latastei*.

Rana di lataste (*Rana latastei*) anfibio anuro endemico della pianura padano veneta, legato ai boschi igrofili e che predilige decisamente le foreste planiziari e collinari. Ha una limitata tolleranza alle variazioni dell'umidità ambientale. È piuttosto frequente in diverse stazioni della pianura friulana, dove si può talora incontrare anche ai margini delle maggiori siepi interpoderali poste attorno a scoline.

È una delle specie europee a maggiore priorità di conservazione (inserita come specie in pericolo nel libro rosso degli animali d'Italia) data la limitata estensione dell'areale e del fortissimo rischio di distruzione degli habitat cui è sottoposta essendo legata alle fasce planiziali.

La specie è minacciata, quindi, dalla distruzione delle aree boscate umide planiziali causata dallo sviluppo agricolturale intensivo che prevede drenaggi e deforestazione (con conseguente frammentazione delle popolazioni). Altre minacce sono l'introduzione di pesci predatori, l'abbassamento del livello idrico e l'inquinamento delle acque.

Rettili

Testuggine palustre (*Emys orbicularis*) specie essenzialmente crepuscolare e notturna presente in numerosi biotopi umidi della bassa pianura friulana, dove è ancora relativamente frequente e nel lago di Doberdò. È segnalata, inoltre, in alcuni stagni del carso triestino ed in diversi laghi di cava dove è stata importata.

Il declino generale della specie è dovuto alla scomparsa e deterioramento dell'habitat. In particolare l'intensa urbanizzazione delle zone di pianura, soprattutto costiere, ha causato la scomparsa di molte aree umide minori abitate dalla specie. Altre attività operate dall'uomo hanno contribuito alla sua rarefazione ed estinzione locale (cambiamenti di pratiche agricole, canalizzazione, rettificazione dei canali agricoli, sfruttamento delle risorse sotterranee che procurano poca profondità di molti corpi idrici superficiali, gestione dei fossi, incendi, sfalcio). Infine il rilascio in natura di testuggini esotiche, potenziali vettori di infezioni e competitori, può creare problemi alla sopravvivenza della specie.

Le cause sono, dunque, da ricercarsi principalmente nella distruzione degli habitat adatti, ma anche negli investimenti stradali, nelle uccisioni durante le pulizie e gli sfalci di canali e argini fluviali, nonché in un forte ed indiscriminato prelievo avvenuto per anni con finalità alimentari e commerciali (terracquariofilia) nei confronti del Nord Europa.

Algiroide magnifico (*Algyroides nigropunctatus*) sauro legato ad ambiente termofilo a distribuzione dinarico-egea presente in Italia solo nel Carso triestino e isontino nelle località rupestri.

Ramarro occidentale (*Lacerta bilineata*) sauro di grandi dimensioni, praticolo, diurno eliofilo. È una specie euriecia diffusa in tutta l'area di studio.

Lucertola muraiola (*Podarcis muralis*) sauro legato agli habitat rupestri, agli ecotoni arbustati e inerbiti, caratterizzato da una ecletticità tipica delle specie ad ecologia colonizzatrice. Nell'area di studio la specie è ampiamente diffusa, sebbene rifugge gli ambienti di pianura costantemente umidificati dalle fresche falde sospese.

Lucertola campestre (*Podarcis sicula*) sauro tendenzialmente praticolo diffuso principalmente lungo la costa e più sporadicamente in diverse località del Carso triestino.

Lucertola adriatica (*Podarcis melisellensis*) sauro che frequenta habitat simili a quelli di *Podarcis sicula* e con cui entra in competizione. In Italia la specie è presente solo nel carso triestino.

Orbettino (*Anguis fragilis*) sauro apodo presente nel sottobosco di diversi consorzi forestali, che sopporta anche dense coperture arboree. Nell'area di studio è comune, sebbene in pianura rifugga gli habitat eccessivamente umidificati da falde sospese.

Biacco maggiore (*Coluber viridiflavus*) ofide rinvenibile presso i margini dei boschi, nelle radure, siepi, coltivi ed aree antropizzate. È specie diurna, agile e veloce, prevalentemente terricola. È presente in tutta l'area di studio, ma tende soprattutto a concentrarsi in zone aride e pietrose.

Colubro liscio (*Coronella austriaca*) ofide rinvenibile in ambienti aperti e assolati, prati, radure, boscaglie e pietraie. È specie diurna, molto veloce; caccia all'agguato soprattutto sauri e in particolare orbettini. Nell'area di studio è presente solo nella zona del carso.

Saettone (*Elaphne longissima*) ofide rinvenibile presso i margini dei boschi, boscaglie, radure, prati cespugliati e zone rocciose. È un agile arrampicatore che caccia all'agguato soprattutto piccoli mammiferi, ma anche uccelli uova e sauri. Nell'ambito di studio è rinvenibile sia nell'area carsica che nella zona di pianura.

Biscia dal collare (*Natrix natrix*) ofide rinvenibile nell'ambito di zone umide di ogni tipo, ma anche in vari altri ambienti compresi quelli xerici. Infatti, pur essendo legata ad habitat umidi lentici o lotici, almeno allo stadio giovanile, questa specie è euriterma ed euriigra e ha una grande valenza latitudinale. Nell'area di studio è presente sia nell'ambito della pianura sia nel territorio carsico.

Biscia tessellata (*Natrix tessellata*) ofide presente in ambienti lentici, in genere di considerevoli dimensioni e perenni, ma anche fiumi, canali, torrenti e ruscelli. È una specie diurna, agile e veloce sia in acqua che a terra. Nell'area di studio è presente sia nell'ambito della pianura che nel territorio carsico.

Serpente gatto europeo (*Telescopus fallax*) ofide crepuscolare e notturno legato ad habitat rupestri. In Italia è presente solo in pochissime località del Carso triestino, dove raggiunge gli estremi limiti di diffusione settentrionale. La specie è in declino e considerata a rischio di estinzione nel breve-medio periodo (inclusa nella lista rossa).

Vipera dal corno (*Vipera ammodytes*) ofide strettamente petrofilo che predilige i più diversi habitat rupestri ricchi di macereti sconnessi moderatamente colonizzati da vegetazione pioniera. Nell'ambito dell'area di studio la specie è rinvenibile nel Carso dove frequenti sono questi tipi di habitat. La specie è considerata vulnerabile (libro rosso degli animali d'Italia), cioè in pericolo di estinzione nel futuro a medio termine.

Tartaruga caretta (*Caretta caretta*) le principali esigenze ecologiche riguardano la presenza di acque costiere e pelagiche, e per la riproduzione di spiagge non disturbate dalla presenza antropica. Benché sia la tartaruga più comune del Mediterraneo, la distribuzione a livello italiano risulta nettamente diminuita nel corso dell'ultimo secolo, soprattutto considerando le aree costiere in cui si rileva la presenza di femmine nidificanti. Si trova in acque pelagiche e costiere, anche all'interno di lagune e canali. Per la riproduzione si avvicina alla costa e depone le uova scavando un buco nella sabbia.

I principali fattori di pressione per questa specie sono gli impatti antropici (acquacoltura, pesca, estrazione di sabbia e ghiaia, aree portuali, attività sportive), l'inquinamento, il drenaggio e la canalizzazione, l'erosione e l'interramento.

Cervone (*Elaphe quatrolineata*) specie diurna, terricola e arboricola, diffusa, nelle nostre regioni, soprattutto nelle aree di pianura, spingendosi raramente oltre i 600 m. Predilige ambienti di macchia mediterranea, soprattutto i boschi di latifoglie sempreverdi, più raramente i boschi di caducifoglie. È presente sia in aree boscate che in zone a vegetazione più rada o in prossimità di radure, talvolta anche in coltivi. Si spinge frequentemente in prossimità di caseggiati e centri abitati, dove predilige i muretti a secco, ruderi ed edifici abbandonati.

Specie in progressivo declino, a causa soprattutto dell'intensa caccia cui la specie è stata soggetta in questi ultimi decenni e del continuo deterioramento e scomparsa degli habitat in cui essa vive.

Ramarro (*Lacerta viridis*) vive fra le rocce e sul terreno non eccessivamente secco ai margini dei boschi. Ama le rive dei fiumi e i prati in prossimità delle paludi e dei fossati. Il ramarro è un ottimo arrampicatore, ma con facilità s'immerge in acqua per rifugiarsi.

Geco comune (*Tarentola mauritanica*) la sua distribuzione in Italia comprende in pratica tutte le zone costiere tirreniche, le isole e, con minor frequenza, le coste adriatiche.

Testuggine comune (*Testudo hermanni*) specie che vive in zone mediterranee, fino a 300-400 m di quota o anche i 1300-1500 m (in Sicilia). Predilige gli ambienti di gariga e le pinete, mentre utilizza macchia mediterranea e leccete come aree di svernamento ed estivazione. Abita anche le zone boscate con essenze miste o con dominanza di querce. Pur essendo ancora la testuggine terrestre più diffusa in Italia, la specie ha subito in questi ultimi decenni un forte declino per il degrado e la distruzione dell'habitat dovuto ad urbanizzazione ed incendi, ed a causa del prelievo, a fini commerciali, degli esemplari.

Colubro di Esculapio (*Zamenis longissimus*) il suo habitat ideale è rappresentato dai boschi di caducifoglie e aree rurali ricche di vegetazione ma senza umidità, tuttavia è presente dalla bassa pianura fino alle Alpi. Si tratta di una specie non rara, ma in diminuzione.

ANFIBI E RETTILI PRESENTI NEGLI AMBIENTI DI BOSCAGLIA ED ARBUSTETI

Salamandra pezzata (*Salamandra salamandra*)

Tritone crestato meridionale (*Triturus carnifex*)

Rana agile (*Rana dalmatina*)

Rana di Lataste (*Rana latastei*)

Orbettino (*Anguis fragilis*)

Colubro liscio (*Coronella austriaca*)

Saettone (*Elaphne longissima*)

Luscengola (*Chalcides chalcides*)

Rospo comune (*Bufo bufo*)

Saettone (*Elaphne longissima*)

Colubro liscio (*Coronella austriaca*)

ANFIBI E RETTILI PRESENTI NELLE SIEPI E NEI COLTIVI

Ululone dal ventre giallo (*Bombina variegata*)

Rospo smeraldino (*Bufo viridis*)

Lucertola adriatica (*Podarcis melisellensis fiumana*)

Lucertola campestre (*Podarcis sicula*)

Lucertola muraiola (*Podarcis muralis*)

Biacco (*Coluber viridiflavus*)

Colubro liscio (*Coronella austriaca*)

Rospo comune (*Bufo bufo*)

Raganella (*Hyla intermedia*)

ANFIBI E RETTILI PRESENTI NELLE ZONE UMIDE

Tritone punteggiato meridionale (*Triturus vulgaris meridionalis*)

Rospo comune (*Bufo bufo*)

Rospo smeraldino (*Bufo viridis*)

Rane verdi (*Rana esculenta, R. lessoneae, R. ridibunda*)

Raganella (*Hyla arborea, H. intermedia*)

Testuggine palustre (*Emys orbicularis*)

Biscia dal collare (*Natrix natrix*)

Biscia Tessellata (*Natrix tessellata*)

ANFIBI E RETTILI PRESENTI IN HABITAT APERTI, ECOTONALI E RUPICOLI

Algiroide magnifico (*Algyroides nigropunctatus*)

Lucertola muraiola (*Podarcis muralis*)

Lucertola campestre (*Podarcis sicula*)

Lucertola adriatica (*Podarcis mellisensis fiumana*)

Ramarro (*Lacerta bilineata*)

Vipera dal Corno (*Vipera ammodytes*)

Biacco (*Coluber viridiflavus*)

Colubro liscio (*Coronella austriaca*)

Serpente gatto (*Telescopus fallax*)

Ittiofauna

La comunità ittica presente nelle acque dell'area in esame è abbastanza ricca. Di seguito si riporta un elenco commentato delle specie di Pesci presenti nell'area di indagine, fornendo indicazioni circa la loro biologia, le caratteristiche degli habitat frequentati e la distribuzione nell'area di studio.

Storione cobice (*Acipenser naccarii*) presente nella laguna di Grado e Marano e nei tratti di foce dei principali corsi d'acqua regionali (Isonzo, Stella, Tagliamento, Meduna e Livenza). Specie anadroma, risale dal mare verso le acque dolci in primavera, per riprodursi negli alvei fluviali a inizio estate, dove permane fino all'autunno. Durante la permanenza in mare, lo si trova per lo più nei pressi di aree estuariali caratterizzate da fondali sabbiosi o fangosi.

Cheppia (*Alosa fallax*) nel Friuli Venezia Giulia la specie viene segnalata in ambito lagunare, mentre per quanto concerne le acque interne veniva segnalata alla fine dell'800 nei fiumi Livenza, Sile, Fiume, Sestian, Muzzanella, Turgnano. Nella seconda metà del '900 la presenza dell'Alosa è accertata nel Tagliamento e nell'Isonzo. Specie anadroma, vive in banchi nelle acque litorali marine e salmastre. In tarda primavera risale il corso terminale dei fiumi per portarsi sui ghiareti che ne costituiscono i siti riproduttivi d'elezione. Permane negli alvei fluviali da maggio a fine agosto.

Nono (*Aphanius fasciatus*) è presente nella Laguna di Grado e Marano, nei tratti di foce dei principali corsi d'acqua regionali (Isonzo, Stella, Tagliamento, Meduna e Livenza) e in altre aree costiere in prossimità di sbocchi di acque dolci (e.g. Baia di Panzano, Foce del Timavo).

Si trova negli ambienti ad acqua salmastra soggetti a forti escursioni di temperatura, salinità ed ossigeno disciolto. Ha ampia valenza ecologica ed è rinvenibile in acque lagunari, ma anche saline, e in corsi d'acqua anche a notevole distanza dal mare. Predilige le acque poco profonde e a lento decorso con ricca vegetazione acquatica.

Barbo comune (*Barbus plebejus*) La presenza della specie è segnalata in un buon numero di stazioni distribuite in tutto l'ambito regionale. Benché non sia possibile ottenere una descrizione esaustiva delle popolazioni, questi dati indicano che la specie è piuttosto comune sul territorio regionale.

Si trova in alvei fluviali con acque ben ossigenate e substrato ghiaioso-ciottoloso, dove si mantiene nei pressi del fondale. È presente sia nei tratti medio-superiori dei fiumi che più a valle, in ambienti prettamente di pianura.

Cobite (*Cobitis taenia*) si tratta di una specie ad ampia valenza ecologica, che popola ambienti assai diversi (fiumi di grande portata, piccoli ruscelli, laghi), purché il fondo sia sabbioso o fangoso e ricco di vegetazione. Si trova in tutti i principali bacini della regione, e in particolare nel basso corso dei fiumi Tagliamento, Meduna e Livenza, Stella, Isonzo, Aussa-Corno.

Ghiozzetto di laguna (*Knipowitschia panizzae*) è specie endemica negli ambienti costieri dell'Adriatico settentrionale e orientale; introdotta in altri ambienti lacustri e salmastri. L'habitat tipico è costituito da ambienti a bassa o nulla velocità di corrente, con substrato di sabbia fine, limo o argilla, coperti da ricca vegetazione.

Si può trovare sia nelle lagune sia nei corsi d'acqua anche a diversi chilometri dal mare. Le principali minacce sono le attività antropiche (acquacoltura, pesca, aree portuali, sport nautici), inquinamento dell'acqua, canalizzazione, erosione e interramento.

Ghiozzetto cenerino (*Pomatoschistus canestrinii*) è specie endemica dell'alto Adriatico (lagune del Veneto e delta del Po). È specie tipica di ambienti salmastri, comune lungo la fascia costiera, nelle lagune e nei corsi d'acqua in prossimità del mare; le principali esigenze ecologiche riguardano la presenza di acqua poco profonda con substrato fangoso, sia in presenza di fanerogame che su fondale nudo, con presenza di molluschi e crostacei, dei quali si nutre.

La fauna troglobia

L'habitat sotterraneo può essere suddiviso in ambiente cavernicolo e in ambiente interstiziale, costituito dalle miriadi di fessure particolarmente abbondanti nelle rocce calcaree.

Tale ambiente è colonizzato da specie animali particolari adattate alle difficili condizioni ambientali: tra i principali fattori che caratterizzano l'ambiente delle grotte si individuano i seguenti:

- assenza di luce, che determina nelle specie troglobie l'assenza di pigmentazione dei tegumenti;
- temperatura costante nell'arco dell'anno, che corrisponde a un valore vicino alla media annua della temperatura esterna;
- umidità dell'aria generalmente compresa tra il 95 e il 100%, che si mantiene costante durante tutto l'arco dell'anno;
- natura del substrato e grado di fessurazione che determina la capacità di spostamento della fauna;

- presenza dell'acqua.

I caratteri adattativi all'ambiente cavernicolo sono di tipo morfologico, fisiologico e comportamentale.

Tra i primi in particolare si ricorda la perdita di pigmentazione, la gracilità, l'allungamento delle appendici, la regressione o scomparsa degli occhi (quest'ultima compensata dall'ipertrofia di altri organi sensoriali) e la riduzione della chitina, una proteina polisaccaride che rende coriaceo l'esoscheletro e alla cui formazione concorre la luce solare.

Tra i gli adattamenti di tipo fisiologico si individuano il metabolismo rallentato, il basso tasso di riproduzione, l'alta longevità, mentre tra gli aspetti comportamentali si rileva una bassa attività e un'alimentazione polifaga.

Mancando la luce svaniscono, inoltre, anche i ritmi nictemerali e stagionali; tutto il ritmo biologico subisce un rallentamento, secondo alcuni dovuto anche ad un regime alimentare scarso e sporadico

Gli organismi cavernicoli adottano come strategia di sopravvivenza la K-selezione che prevede un ritardo della maturazione sessuale, prole di pochi individui e abbondanti cure parentali.

Nell'ambiente ipogeo infatti ogni azione è basata sul risparmio energetico: mettere al mondo troppi individui significherebbe destinare molti a morte sicura per ridotta disponibilità di risorse trofiche. Inoltre la scarsità di predatori nell'ambiente ipogeo, già particolarmente rigido, non determina una pressione selettiva incidente.

In funzione della relazione più o meno stretta di una specie con l'ambiente ipogeo è possibile suddividere gli animali grotticoli nei seguenti tre gruppi:

- Troglosseni: gruppo di specie che normalmente vivono nell'ambiente epigeo e che entrano in grotta occasionalmente. Solitamente si trovano nella zona liminale o sui coni detritici dei pozzi iniziali.
- Troglofili: insieme di specie che usufruiscono dell'ambiente ipogeo per un dato periodo della loro vita; si possono suddividere in due gruppi: i subtroglofili, (pipistrelli, tricotteri, alcuni lepidotteri, diversi opilioni, volpi, topi, tassi ecc.), che prediligono la grotta per svernare, riprodursi, come riparo dalla calura estiva o da situazioni meteorologiche avverse, ricerca di cibo, e gli eutroglofili (alcuni coleotteri, diplopodi, anfibi ecc.) che, sebbene non siano dotati di una particolare specializzazione per l'ambiente ipogeo, trovano in tale ambiente condizioni di vita ottimali, ma non sono completamente vincolati a tale ambiente e possono quindi abbandonarlo per escursioni esterne, in ambienti comunque sempre idonei alle loro necessità biologiche.
- Troglobi: specie che per tutta la durata della loro vita hanno bisogno dell'ambiente ipogeo; hanno raggiunto un grado di specializzazione con modifiche morfo-fisiologiche tali, da non poter vivere se non esclusivamente in ambiente ipogeo.

Le specie maggiormente rappresentate nell'habitat ipogeo sono invertebrati e in particolare planarie, anellidi, molluschi, artropodi, insetti (in particolare coleotteri), crostacei, diplopodi e aracnidi.

La fauna del carso triestino presenta affinità indubbie con quella del Carso sloveno, dell'Istria e della Dalmazia. Vi prevalgono specie endemiche o a distribuzione illirica o illirico-balcanica, che vedono spesso nel Fiume Isonzo il limite occidentale del loro areale. Tra gli elementi faunistici che (con rarissime eccezioni) non hanno superato l'Isonzo, vanno annoverati interi generi di gasteropodi (*Plagygeyeria*), crostacei (*Sphaeromides*), aracnidi (*Stalita*), coleotteri (*Leptodirus*) e il noto proteo (*Proteus anguinus*).

Nell'ambito del carso ipogeo, infatti, una specie di particolare rilievo è il Proteo *Proteus anguinus*, l'unico vertebrato troglobio europeo, cui si rimanda alla scheda descrittiva, riportata più avanti.

Di seguito viene esaminata l'influenza dei principali fattori ambientali che governano la vita nelle grotte.

In relazione alla temperatura si evidenzia che, sulla base di esperimenti effettuati, è stato dimostrato come non tutte le specie cavernicole siano stenoterme obbligate. Vi sono infatti alcune specie in grado di vivere entro limiti abbastanza ampi di temperatura, come ad esempio alcuni artropodi che sono in grado di sopportare sbalzi termici di 10 °C per periodi di più giorni. Molte specie (es. coleotteri Batiscini) presentano limiti di attività compresi tra 0 e 20 °C con limiti letali tra -5 e +25 °C; analogamente l'optimum termico per il *Niphargus* è compreso tra 4-6 e 16-18 °C, con limiti letali tra -0,5 e + 24,5 °C. Inoltre, per citare casi limite, il coleottero *Pholeuon glaciale* vive in grotte dove la temperatura non supera mai 0,8 °C, il crostaceo *Thermosbaena mirabilis* vive in sorgenti calde a temperature di 45-48 °C e il *Niphargus termalis* vive a temperature di circa 30 °C.

Risulta pertanto chiaro come in realtà molte forme cavernicole possano vivere entro limiti abbastanza ampi di temperatura; queste osservazioni ridimensionano, quindi, il ruolo di agente determinante il popolamento delle caverne attribuito in passato al fattore termico.

L'umidità rappresenta il fattore ambientale di importanza critica per quasi tutti i cavernicoli terrestri: alla sua stabilità è particolarmente legata l'esistenza degli organismi troglobi. Gli organismi troglobi terrestri vivono, infatti, normalmente in condizioni di saturazione e sono così stenoigri che possono soccombere per piccole variazioni del grado di umidità relativa. Le grotte secche sono generalmente disabitate da organismi troglobi ed è stato osservato che la speleofauna specializzata occupa, nell'ambito di una grotta, soltanto i siti che possono garantire umidità elevata.

Gli artropodi troglobi, ad esempio, non sono in grado di opporsi alla perdita d'acqua del proprio corpo, essendo privi di epicuticola (strato del tegumento preposto alla sua impermeabilizzazione).

Alcune specie hanno sviluppato comunque adattamenti per sopravvivere in ambienti anche moderatamente umidi. Un esempio è costituito dal Coleottero Catopide *Leptodirus hohenwarthi*, che presenta elitre emisferiche che svolgono la duplice funzione di consentire la dilatazione dell'addome delle femmine gravide e di costituire una riserva d'aria satura di vapore acqueo, dalla quale attinge per la respirazione, nei brevi periodi in cui attraversa zone secche.

Un altro fattore che svolge un ruolo analogo all'umidità è il tasso di evaporazione; questo è eccezionalmente basso nelle zone interne, mentre in prossimità degli ingressi si verificano le massime variazioni.

È noto che le grotte "respirano" esalando aria durante l'estate e inalando aria fredda e secca durante l'inverno. Il fenomeno si realizza principalmente per il formarsi di gradienti tra masse d'aria a temperature diverse, ma è influenzato anche da cambiamenti di pressione, dalla presenza di venti direzionali di superficie e dallo sviluppo verticale del sistema carsico. Entrando, l'aria fredda si riscalda alla temperatura della grotta, ne abbassa la temperatura e il grado di umidità, aumentando fortemente il tasso di evaporazione, che può essere fino a 200 volte superiore; un simile eccesso è intollerabile per un organismo stenoigro. Pertanto, la variazione del tasso di evaporazione determina una zona di inabitabilità in prossimità degli ingressi; in questa zona, che coincide con la parte di grotta influenzata dai parametri ambientali esterni, è il tasso di evaporazione, più della temperatura, che rappresenta il fattore limitante alla popolazione.

L'agitazione dell'aria nelle grotte, pertanto, sembra avere effetti negativi sulle popolazioni ipogee in quanto determina l'aumento del tasso di evaporazione.

Recenti studi hanno messo in luce la presenza nelle grotte anche di alcuni esemplari di Anfibi oltre ai generi *Proteus*; sono stati rinvenuti, infatti, esemplari di *Salamandra salamandra*, che sembrano frequentare regolarmente le grotte durante lo svernamento o per ragioni riproduttive. Alcune popolazioni di *Salamandra salamandra* sembrano essere addirittura dipendenti dalle acque ipogee per la loro riproduzione, tanto da avvicinarsi al concetto di popolazioni sub-troglofile, dimostrando, quindi, elettività per l'ambiente cavernicolo solo in una determinata fase della loro vita, ma non potendo compiere in esso l'intero ciclo vitale.

Il Proteo (*Proteus Anguinus*)

Il Proteo, l'unico vertebrato troglobio della fauna Europea, è un Anfibio Urodelo appartenente alla famiglia dei Proteidi. È specie neotenica, gli adulti mantengono, cioè, diversi caratteri larvali per tutta la durata della vita.

Vive perennemente immerso nelle acque sotterranee dei sistemi carsici, nelle pozze profonde e nei laghi del sottosuolo, dove la temperatura oscilla tra i 6 e i 12°C, mantenendosi costante per tutto l'arco dell'anno. Talvolta piene improvvise o piogge torrenziali portano alla luce qualche esemplare.

Occupa un areale ristrettissimo, che si estende dalla Slovenia, Istria, Dalmazia e Croazia fino alla Venezia Giulia nord orientale, dove si spinge fino ad ovest dell'Isonzo, risultando particolarmente abbondante nei sistemi carsici del goriziano e del triestino.

La sua presenza è stata segnalata anche in Veneto nella grotta Parolini di Oliero (Prealpi Venete, provincia di Vicenza), ma in questa località la specie sarebbe stata immessa nel 1850.

La località più a sud est nell'areale italiano è la parte sotterranea del fiume Timavo, dove scorre attraverso la grotta Trebiciano (Provincia di Trieste). Il limite settentrionale è Gradisca d'Isonzo (Provincia di Gorizia). Sul Carso italiano si può talora rinvenire in superficie in occasione di piene sotterranee (Doberdò del Lago, Cave di Sistiana, Foci del Timavo.

Allo stato attuale mancano studi aggiornati sulla sua attuale distribuzione e consistenza numerica .

Per la ristrettezza dell'areale di distribuzione, la sua rarità e il sensibile declino in atto delle popolazioni del Carso goriziano e triestino, il proteo è indicato nel Libro rosso degli animali d'Italia (AA.VV., 1998) come specie in pericolo (cat. Endangered) in quanto è di fronte a un altissimo rischio di estinzione in natura nel prossimo futuro. La specie compare inoltre dal 1975 nel Red data Book dell'IUCN nella categoria Vulnerabile ed è protetta dalla convenzione di Berna del 1991 e dalla Dir. Habitat 92/43/CEE.

In Italia la specie è protetta solo dalla legge regionale del Veneto, che peraltro vieta solo la cattura di uova e girini di tutte le specie di anfibi e a tutt'oggi non esiste alcun provvedimento legislativo dedicato a *Proteus anguinus* e al suo habitat.

La biologia del Proteo ancora è poco nota e gran parte delle informazioni sono ricavate da osservazioni in cattività. Ha una dieta relativamente generalista, ma si nutre soprattutto di crostacei cavernicoli dei generi *Niphargus* e *Troglocaris*, di larve di insetto (principalmente di Efemerotteri e Plecotteri) e molluschi.

Ha un ridotto metabolismo, una eccezionale resistenza al digiuno ed è molto longeva, potendo raggiungere i 30 anni di vita.

Non esistono informazioni riguardo a un vero e proprio letargo, ma è possibile che il proteo attraversi alcune fasi annuali di attività rallentata.

Respira tramite i polmoni ma anche la pelle è sede di scambi gassosi con l'ambiente esterno. Affiora regolarmente in superficie per respirare; infatti, anche se provvisto di branchie, non può fare a meno di inghiottire boccate d'aria.

Per la maggior parte del tempo il Proteo sosta nelle acque sotterranee fluttuando sul fondo, e raramente fuoriesce dall'acqua sostando sulle rocce umide.

Il Proteo raggiunge la maturità sessuale a circa 7 anni di età. L'accoppiamento avviene nelle acque sotterranee e, in condizioni di libertà è probabilmente collocato nei periodi di massimo livello dei reticoli idrici ipogei. La riproduzione è sia ovipara che ovovivipara in funzione di fattori ancora non tutto noti.

Generalmente depone una trentina di uova agglutinandole sotto rocce aggettanti poste in cavità inaccessibili; in cattività può talora comportarsi da ovovivipara trattenendo le uova negli ovidutti fino al completo sviluppo degli embrioni; dal momento che l'accesso alla maggior parte delle cavità naturali abitate dalla specie in Italia è possibile solo a biospeleologi dotati di una certa esperienza, tali ambienti non hanno subito significative alterazioni.

Il principale fattore di minaccia per la specie è rappresentato dai fenomeni di inquinamento delle falde acquifere e delle acque sotterranee che hanno interessato i fiumi sotterranei della zona del Carso (sistemi Vipacco-Isonzo e Timavo inferiore), che soprattutto a partire dagli anni '70 sono stati colpiti da varie forme di inquinamento urbano ed industriale.

Sebbene non sia possibile quantificare gli effetti dell'inquinamento idrico sulle popolazioni italiane di Proteo, l'alterazione dei parametri chimico-fisici che caratterizzano le acque ipogee della regione carsica ha sicuramente avuto gravi ripercussioni sulle locali popolazioni di questo anfibio, tanto che negli ultimi vent'anni le segnalazioni della specie nelle località note del carso triestino e goriziano si sono notevolmente ridotte.

5.2.2.3 Ecosistemi

L'analisi della componente Ecosistemi viene effettuata utilizzando ed elaborando i dati relativi alle caratteristiche geomorfologiche del territorio, alle formazioni vegetali e ai popolamenti animali individuate per sistemi funzionalmente e strutturalmente omogenei in una fascia di 1 km per lato dall'asse ferroviario.

Nell'ambito dell'area di studio sono distribuite tipologie ecosistemiche dalle caratteristiche estremamente diverse, condizionate dal grado di antropizzazione e di artificialità raggiunto al livello territoriale; in particolare, è visibile una netta distinzione fondata sull'uso del suolo, caratterizzato dal forte grado di antropizzazione che si è impossessato della piana dell'Isonzo e dalle interessanti condizioni di naturalità e di seminaturalità riscontrabili diffusamente nell'ambiente carsico.

Sulla base delle caratteristiche climatiche e geomorfologiche tipicamente carsiche e successivamente all'esame delle comunità biologiche, sono stati individuati in area vasta otto principali sistemi ecologici, tra loro fisicamente e funzionalmente interrelati, di cui alcuni strettamente legati alle aree carsiche (ecosistema della landa carsica, ecosistema delle doline, ecosistema della boscaglia carsica), uno di tipo azonale (ecosistema delle zone umide) ed altri fortemente dipendenti dalle attività dell'uomo (ecosistema dei rimboschimenti artificiali, ecosistema dei prati da sfalcio, ecosistema agricolo della pianura alluvionale, ecosistema antropico). In relazione all'ambiente sotterraneo, inoltre, sono state analizzate le caratteristiche proprie dell'ecosistema ipogeo.

In relazione alla rete ecologica, infine, è da sottolineare che l'unico corridoio ecologico individuato sull'area di indagine è rappresentato dal Fiume Isonzo, che si inserisce nel contesto antropizzato della piana alluvionale conservando una fascia ripariale a connotazione prevalentemente naturale (boschi igrofili, saliceti arbustivi, ecc.); nell'ambito dell'area carsica, al contrario, l'assenza di un sistema idrografico superficiale e la mancanza di marcati morfotipi a sviluppo allungato non consentono di individuare veri e propri corridoi ecologici atti a favorire lo spostamento della fauna, comunque garantito dalla naturalità diffusa insistente su quel territorio.

Di seguito viene riportato l'elenco degli ecosistemi individuati sul territorio analizzato:

- Ecosistema delle aree urbanizzate
- Ecosistema agricolo della pianura alluvionale
- Ecosistema dei prati da sfalcio
- Ecosistema della landa carsica

- Ecosistema della boscaglia carsica
- Ecosistema delle doline
- Ecosistema dei rimboschimenti artificiali di conifera
- Ecosistema delle zone umide lotiche e lentiche
- Ecosistema ipogeo

5.2.2.3.1 Ecosistema delle aree urbanizzate

L'ecosistema antropico è peculiare di aree profondamente modificate dall'uomo, in cui i naturali equilibri ecologici sono stati profondamente alterati; presenta una limitata diffusione nell'area di indagine.

La componente vegetazionale risulta scarsamente rappresentata e, se presente, è spesso rappresentata da specie generalmente di provenienza esotica, ornamentali, di tipo arboreo, arbustivo od erbaceo, per lo più di scarso valore botanico; ciononostante, l'ambiente urbano può ospitare numerose specie animali che vivono stabilmente nei centri abitati, le quali, per la loro particolare ecologia, sono in grado di trarre vantaggio dall'edificato e dalle attività antropiche che vi si svolgono.

Gli animali trovano condizioni favorevoli nella temperatura più alta di almeno 1-2 gradi rispetto alle aree circostanti, dovuta al funzionamento degli impianti di riscaldamento e di illuminazione, oppure nel fatto che la presenza degli edifici limita l'impeto dei venti, oppure ancora nella facilità di trovare cibo tra i rifiuti, nell'assenza di predatori, nella possibilità di trovare anfratti adatti ad essere utilizzati come tane e nidi.

Per alcune specie, dette opportunamente sinantropiche, esiste un rapporto simbiontico di "commensalismo", per esempio passera d'Italia (*Passer italiae)*, coniglio selvatico (*Oryctolagus cuniculus*), ratto nero (*Rattus rattus),* topolino delle case (*Mus musculus domesticus*), storno (*Sturnus vulgaris*), cornacchia grigia (*Corvus corone cornix),* gazza (*Pica pica*), mentre per altre esiste un rapporto simbiontico di "inquilinismo", come riccio (*Erinaceus europaeus*), civetta (*Athene noctua*), rondone (*Apus apus*), rondine (*Hirundo rustica*), balestruccio (*Delichon urbica*), merli (*Turdus merula*), chirotteri, ecc..

Da rilevare è la presenza dello sparviero *Accipiter nisus*, che nidifica con più coppie all'interno di alcuni dei maggiori agglomerati urbani presenti nell'area.

5.2.2.3.2 Ecosistema agricolo della pianura alluvionale

Gli ecosistemi rurali sono rappresentati da un insieme di componenti naturali (aria, acqua, suolo, microrganismi) e di componenti antropiche (coltivazione, allevamento, gestione) primariamente finalizzato ad uno scopo produttivo; un secondo fine è di tipo ambientale, legato alla conservazione della fertilità del suolo e delle risorse fisiche naturali, indirizzato alla rigenerazione delle componenti biotiche.

L'ecosistema agricolo occupa le estese e continue superfici planiziali comprese tra l'Isonzo e l'altopiano carsico, dove, come in gran parte dei territori di pianura, è ampiamente condizionato dalla presenza dell'uomo e delle sue attività; nel caso della pianura intensamente coltivata diviene quasi difficile parlare di ecosistemi, benché sia possibile definire questo ambiente come un "ecosistema agricolo", o "agroecosistema".

Le componenti fisiche del terreno sono costantemente manipolate: le ripetute lavorazioni del suolo impediscono l'insediamento di qualunque forma vegetazionale evoluta; l'accorpamento delle campagne costringe alla rarefazione di tutte le aree di margine di maggiore interesse ecologico; l'asportazione sistematica degli elementi di equipaggiamento della campagna, come le siepi ed i filari campestri un tempo parte della economia contadina, comporta la sottrazione pressoché totale di habitat di interesse faunistico.

Il ciclo dell'acqua è distorto dalle canalizzazioni, dai collettori, dalle arginature, da tutto quanto determina un rapido attraversamento del territorio delle acque impedendone un uso più efficiente, una situazione che non può che interferire negativamente sugli ecosistemi acquatici.

All'interno degli agroecosistemi è possibile distinguere la tipologia particolare dei seminativi, che si distingue per caratteristiche di povertà ecologica generalizzata, pesantemente condizionata dall'attività antropica ed accentuata dalle ampie estensioni in termini di superficie; la naturalità espressa dagli agroecosistemi, intesa come presenza di fitocenosi significative e come vicinanza di tali fitocenosi alla vegetazione naturale potenziale, è da considerarsi bassa o molto bassa, tuttavia, ne è possibile la reversibilità, cioè il ritorno nel tempo a condizioni di naturalità elevata qualora si assista all'abbandono delle coltivazioni.

Sotto il profilo faunistico occorre considerare che la banalizzazione dell'habitat consente la permanenza di sole specie dotate di valenza ecologica molto ampia, che utilizzano la campagna coltivata come una sorta di surrogato di ambienti naturali scomparsi; per questa ragione, sebbene siano osservabili anche specie di buon interesse zoologico, si tratta sempre di frequentazioni localizzate e numericamente ridotte.

Le specie animali utilizzano gli ambiti agricoli prediligendo le zone indisturbate, generalmente circoscritte nelle porzioni marginali agli appezzamenti, a ridosso dei canali di drenaggio, nelle siepi, lungo i filari arborati; è il caso di diverse anfibi che si limitano a cercarvi rifugio diurno al di fuori del periodo riproduttivo e di alcune specie di rettili, che peraltro subiscono negativamente le ampie distese coltivate, dove il cibo scarseggia e dove è più forte il rischio di calpestamento da parte degli attrezzi meccanici.

Interessante è il popolamento ornitico che si insedia nelle aree coltivate, costituito per lo più da specie legate agli ambienti più aridi e dotati di scarsa vegetazione arborea ed arbustiva, che trova nelle pianure cerealicole un valido surrogato ecologico per la soddisfazione delle proprie esigenze; tra queste specie si segnalano allodola (*Alauda arvensis),* cardellino (*Carduelis carduelis*) e fringuello (*Fringilla coelebs*).

Nell'ambito rurale sono presenti anche diverse specie di rapaci che utilizzano come area di alimentazione le ampie distese di cereali e i prati; i prati a vegetazione alta, in particolare, sono sempre di notevole incremento della biodiversità poiché favoriscono il proliferare di insetti, specialmente libellule e farfalle, nonché di anfibi e di mammiferi, in particolare riccio (*Erinaceus europaeus*), talpa (*Talpa europea*) e faina (*Martes foina*).

Nelle zone aperte trovano ambiente ottimale alcune diffuse specie di interesse venatorio, come il fagiano (*Phasianus colchicus*), e specie ampiamente presenti negli ambienti rurali antropizzati; si fa riferimento alla cornacchia grigia (*Corvus corone cornix*), alla gazza (*Pica pica*), alla cornacchia nera (*Corvus corone corone*) e allo storno (*Sturnus vulgaris*).

All'interno dell'agroecosistema, ed in particolare nella fascia più vicina all'ambito golenale dell'Isonzo, la gestione di pratiche colturali maggiormente estensive ha consentito la conservazione di siepi, filari, fasce riparie, cespuglieti e piccole zone boscate, di margine ai campi coltivati, sulle quali, non sussistendo azioni di condizionamento del suolo, è ammissibile un lento e costante accumulo di sostanza organica che conduce alla graduale ricostituzione di humus; inoltre, nelle aree agricole più vicine al fiume si riscontra la presenza di canalette, scoline e piccole pozze d'acqua, che rappresentano l'habitat ottimale per numerose specie animali e vegetali.

Ambienti di questo tipo devono essere considerati di buon profilo ecologico, poiché offrono possibilità di vita altrimenti assente o molto limitata; per fare un esempio, gli habitat maggiormente eterogenei favoriscono l'insediamento di specie ornitiche per lo più rappresentate dai passeriformi (come l'allodola, il saltimpalo, il verdone, il verzellino, l'averla piccola), così come di talune specie poste ai vertici della catena trofica, rappresentate dalla volpe e dalla donnola fra i mammiferi, nonché dalla civetta, dal barbagianni e dalla poiana fra gli uccelli.

5.2.2.3.3 Ecosistema dei prati da sfalcio

L'ecosistema dei prati da sfalcio viene individuato nelle zone pianeggianti e concave distribuite lungo i tavolati calcarei, laddove le condizioni morfologiche del terreno hanno consentito l'accumulo straordinario di suoli colluviali; nel complesso il sistema assume un ruolo importante nella diversità floristica locale, strutturale e specifica, con presenza particolare di specie erbacee a carattere mesofilo quali *Arrhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata* e *Poa pratensis.*

Le componenti naturali e le componenti antropiche implicate nell'ecosistema sono ricomprese all'interno di un ciclo energetico non completamente aperto, nel quale l'asportazione di biomassa prodotta con la mietitura e gli sfalci risulta di portata relativamente limitata e viene generalmente compensata con la restituzione di sostanza organica in forma di letame; per questa ragione un agroecosistema di questo tipo può essere ritenuto meno impattante sulle risorse naturali rispetto al seminativo semplice e può presentare in questo senso un buon livello di sostenibilità.

In particolare il prato polifita permanente garantisce una sicura protezione del suolo, svolge un ruolo di arricchimento a favore della fertilità del terreno e, poiché costituito da numerose specie erbacee, garantisce un buon grado di biodiversità all'ecosistema; il prato permanente presenta sempre un grado di artificialità medio basso, definito da pratiche colturali che si limitano a periodici prelievi di biomassa e dalla presenza di associazioni erbacee che, sebbene selezionate verso le specie con maggior grado di pabularità, sono generalmente vicine a quelle che evolverebbero in situazioni naturali nello stesso luogo.

Sotto il profilo faunistico è da considerare che la ricchezza floristica del prato e l'assenza di trattamenti antiparassitari determinano la notevole presenza di insetti e di altri organismi invertebrati, posti ai gradini inferiori della catena trofica.

5.2.2.3.4 Ecosistema della landa carsica

La landa carsica è un ecosistema di origine tipicamente antropogena, in particolare zoogena, derivante dall'azione esercitata dal pascolo di ovini (in tempi più antichi) e di bovini (in tempi più recenti) su superfici oggetto di disboscamento; dove esistevano antichi querceti gli antichi disboscamenti a scopo pascolivo hanno dato luogo a praterie xeriche di composizione floristica di impronta illirica, adattate a condizioni edafiche difficili, su terreno povero e poco profondo, ed atte a sopportare il calpestio e la brucatura degli animali.

In questo modo sono venute a determinarsi condizioni ambienti seminaturali a struttura tendenzialmente aperta di tipo prativo, dotate di notevole valore naturalistico e di elevato livello di biodiversità conseguente alla perpetua interazione esistente tra le pratiche silvo-pastorali e la naturale tendenza della vegetazione a riprendersi i suoli lasciati liberi; in questo senso, il pascolo del bestiame, il calpestio delle mandrie e talune pratiche associate alla pastorizia, quali il taglio di piante sparse, esercitano una pressione ecologica che tende a ridurre la competitività di alcune specie vegetali rispetto ad altre, favorendo lo sviluppo di determinate specie erbacee che in condizioni indisturbate non potrebbero prevalere perché incapaci di concludere il proprio ciclo riproduttivo.

In tali condizioni, la limitazione e l'interruzione delle successioni naturali perennemente attive rappresentano il principale fattore per cui le zone soggette a pascolamento estensivo presentano un numero maggiore di specie rispetto alle aree coperte da vegetazione forestale, dove l'ombreggiamento tende a ridurre il numero delle specie presenti nello strato erbaceo.

Per la descrizione dell'ecosistema si ritiene interessante evidenziare quanto descritto nel Manuale degli Habitat del Friuli Venezia Giulia – pubblicato nel 2006 dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, Direzione centrale ambiente e lavori pubblici, in collaborazione con l'Università degli Studi di Trieste, Dipartimento di Biologia, che assimila l'habitat della landa carsica in taluni aspetti propri della tipologia vegetazionale delle *Brughiere e Arbusteti*

Questo gruppo di habitat include le brughiere, gli arbusteti ed i mantelli, caratterizzati dalla dominanza di piante legnose di bassa statura (camefite) o di arbusti (individui non superanti 8 m in altezza). ..... Essi costituiscono stadi diversi nelle serie dinamiche principali (cenosi zonali, cenosi pioniere stabili, stadi dinamici di incespugliamento). Attualmente sono molto diffusi a causa dell'abbandono delle tradizionali tecniche agrosilvo-pastorali che permettevano la persistenza dei pascoli su gran parte del territorio regionale. In base al piano bioclimatico, al tipo di substrato ed alle condizioni ecologiche dominanti (serie dinamica di riferimento) si tovano diverse cenosi dominate da uno o più arbusti (Spartium junceum, Cotinus coggygria, Juniperus communis, Rubus ulmifolius, Cornus sanguinea subsp. hungarica, etc.).

I diversi tipi di arbusteto originano, dunque, dai prati aridi submediterranei orientali in evoluzione verso i cespuglieti decidui submediterranei tirrenici ascrivibili al *Frangulo rupestris-Cotinetum coggygriae;* si tratta di arbusteti a gravitazione illirica insediati su substrato calcareo del piano collinare, dove la specie nettamente dominante è *Cotinus coggygria*, che rappresentano il più diffuso stadio di incespugliamento della landa carsica termofila; oltre a questi si evidenzia il *Danthonio alpinae-Scorzoneretum villosae* (habitat Natura 2000 delle Praterie aride submediterraneo-orientali), ossia i prati-pascoli a gravitazione illirica del piano collinare (200-500 m) che si sviluppano su terre rosse e talvolta anche su flysch, frequentemente presenti sul fondo delle doline o in alcune aree piane nei pressi dei borghi.

All'ecosistema della landa carsica vengono ascritti anche i cespuglieti medio europei dei suoli ricchi, fase evolutiva del pascolo abbandonato su suoli mesici.

Il progressivo abbandono dei pascoli ha condotto negli ultimi decenni alla sostanziale modifica del paesaggio carsico goriziano e triestino, riducendo fortemente l'habitat della landa, esclusivo per alcune specie animali ed in particolare per la coturnice, *Alectoris greca,* a favore della boscaglia; inoltre, l'espandersi della boscaglia carsica ha prodotto la locale rarefazione e la scomparsa delle popolazioni di varie specie di rettili praticole, rupicole o comunque eliofile, spesso situate ai margini del loro areale (*Podarcis melisellensis fiumana*, *Algyroides nigropunctatus*, *Telescopus f. fallax*, *Vipera a. ammodytes*).

A causa della progressiva e costante rarefazione il sistema della landa carsica ha assunto un notevole interesse conservazionistico, espresso da numerosi progetti e interventi di recupero.

5.2.2.3.5 Ecosistema della boscaglia carsica

Vengono ascritte a tale unità ecosistemica le particolari formazioni boschive di latifoglie in cui la copertura è relativamente rada, tale da consentire la profonda penetrazione della luce al suolo; in fase di estesa diffusione, la boscaglia carsica si trova distribuita in modo particolare in corrispondenza di vaste aree dell'altipiano poste a contatto con il sistema della landa.

Si tratta, in particolare, della fascia di mantello propria delle originarie formazioni boschive a carattere centro-europeo a dominanza di roveri, cerri e roverelle che coprivano un tempo l'altipiano carsico, accompagnata dalle specie termofile orniello e carpino nero e dalle formazioni arbustive legate a particolari habitat rocciosi denominati "grize", ascrivibili al *Frangulo-Prunetum mahaleb*; la boscaglia carsica presenta nella maggioranza dei casi un notevole interesse ecologico, dovuto alla buona diversificazione strutturale nelle componenti arboree ed arbustive, un buon livello di complessità floristica con presenza di elementi illirici e centroeuropei, una discreta continuità spaziale ed buon grado di conservazione.

Ecologicamente stabili ed autosufficienti, le zone di boscaglia carsica sono in grado di sostenere le catene trofiche necessarie per ospitare numerose specie faunistiche; la qualità ecologica è quasi sempre elevata, da ricondursi alla condizione indisturbata cui sono soggette da molto tempo e dalla estensione assai rilevante in termini di superficie, in continuo incremento a seguito del progressivo abbandono dei pascoli e della colonizzazione spontanea della landa carsica.

La vegetazione evolve verso stadi in cui lo strato arboreo dominante mantiene una copertura non elevata, che sovrasta uno strato sottostante di alberi bassi di modesta copertura ed uno strato arbustivo rado, più fitto solamente in occasione delle chiarie poste sui margini esposti; l'intensità della copertura, ossia il modo con cui gli alberi si distribuiscono nel piano orizzontale, vede l'intercalazione casuale di tratti scarsamente coperti da bosco con tratti a copertura maggiormente chiusa, tendente verso una intensità definita irregolare-colma.

Tale stratificazione della vegetazione influenza favorevolmente la qualità dell'ecosistema, determinando rispetto agli ecosistemi boschivi ad elevata densità di copertura la possibilità di formare un maggior numero di nicchie ecologiche, di definire maggiori disponibilità trofiche e di offrire un maggior numero di siti idonei per il rifugio e la nidificazione; in relazione al grado di complessità della struttura, alla diversità ed alla continuità delle cenosi vegetali, il popolamento faunistico ospitato si manifesta relativamente ricco, caratterizzato soprattutto da interessanti comunità ornitiche ed in particolar modo da diversi rapaci diurni; tra le specie di maggior pregio e di più importante valore ecologico, in quanto predatori ai vertici delle catene alimentari, si ricordano lo sparviere e l'astore, che utilizzano i boschi come habitat di nidificazione, ed il gatto selvatico.

Si evidenzia, infine, che il sistema della boscaglia carsica, insieme alle altre formazioni aperte presenti sul territorio (landa carsica, prati falciabili) costituisce un particolare mosaico di tipo ecotonale in grado di elevare notevolmente la diversità biologica dell'intero territorio carsico.

Per certi versi, la struttura della boscaglia carsica riprende quanto avviene in natura all'interno delle fasce boscate di margine determinanti il passaggio dal bosco ad ambienti più aperti, come prati o seminativi, in cui si osserva una maggiore ricchezza di specie, un maggior numero di individui ed una maggiore biomassa complessiva rispetto a pari estensioni del bosco o del prato.

Lungo le frange boscate, in modo particolare nella componente arbustiva, trovano rifugio la capinera (*Sylvia atricapilla*), il pettirosso (*Erithacus rubecula*), lo scricciolo (*Troglodytes troglodytes*), il merlo (*Turdus merula*), la cinciallegra (*Parus major*), l'usignolo (*Luscinia megarhynchos*) e numerose altre specie; nelle zone cespugliate, fra siepi, arbusti e macchie boscate trovano nutrimento e rifugio columbidi come colombaccio (*Columba palumbus*) e tortora (*Streptopelia turtur*), paridi, come diverse cince (*Parus caeruleus, Parus major*), la passera scopaiola (*Prunella modularis*), il pigliamosche (*Muscicapa striata*).

Tra le diverse specie di uccelli legati agli ecosistemi boschivi sono segnalate anche alcune specie di rapaci che possono indirettamente innalzare il valore naturalistico dell'area; si fa riferimento a rapaci diurni, quali la poiana (*Buteo buteo*) e lo sparviere (*Accipiter nisus*) ed a rapaci dalle abitudini notturne, in particolare l'allocco (*Strix aluco*), la civetta (*Athene noctua*), il gufo comune (*Asio otus*).

Negli ambienti asciutti boscati trovano possibilità di cibo e di rifugio il riccio (*Erinaceus europaeus*), la donnola (*Mustela nivalis*) e diverse arvicole, il rospo smeraldino (*Bufo viridis*), il ramarro (*Lacerta viridis*).

5.2.2.3.6 Ecosistema delle doline

L'ecosistema delle doline viene individuato a livello macroscopico nelle aree in cui questa forma carsica si riscontra con maggior frequenza; si tratta di elaborazioni morfologiche del suolo, in forma di estese depressioni, che conducono a condizioni di temperatura e di umidità del tutto particolari, sottratte al mesoclima diffuso sul territorio, per le quali si struttura un ambiente a sé stante.

Il principale fattore climatico che caratterizza le doline è legato al fenomeno dell'inversione termica, che vede la temperatura diminuire con l'aumentare della profondità; tali ambienti catturano l'aria fredda sul fondo della depressione e conservano per questo un'elevata umidità relativa; la temperatura, pur mantenendosi costantemente inferiore a quella esterna, varia durante l'arco dell'anno, generando condizioni fredde e umide nel corso dell'inverno, più calde e secche durante l'estate.

Si determinano in questo modo delle oasi climatiche nelle quali è in grado di instaurarsi una vegetazione continentale riferibile all'altipiano carsico, dominato da un clima submediterraneo più favorevole; in particolare le doline ampie e poco profonde presentano una vegetazione analoga a quella insediata all'esterno, spesso più rigogliosa, mentre nelle doline profonde le condizioni ambientali variano notevolmente, soprattutto in relazione al fenomeno dell'inversione termica.

L'accumulo sul fondo delle doline di materiale terroso, in contrapposizione a quanto avviene nell'ambito del pietroso territorio carsico, ha fatto sì che moltissime di queste depressioni siano state interessate per secoli dalle coltivazioni; tali attività, che in parte rimangono vive ancora oggi, hanno determinato la sostanziale modifica delle specie naturalmente presenti.

La composizione floristica riscontrabile sul fondo delle doline presenta carattere settentrionale, dove predominano le specie geofite, munite di bulbi e rizomi e ricchi di scorte alimentari, che permettono alla pianta un ciclo vegetativo e riproduttivo assai precoce, precedente alla germogliazione dello strato arboreo sovrastante; questo è caratterizzato sul fondo delle doline dalla dominanza del carpino bianco (*Carpinus betulus*) e di altre specie che vegetano normalmente a quote più elevate.

Un'ulteriore peculiarità del sistema morfologico delle doline si evidenzia nel rovesciamento delle caratteristiche ecologiche dei versanti, per cui il versante nord è sempre esposto a sud e viceversa; per questa ragione la vegetazione più termofila si instaura lungo il versante settentrionale, mentre sul versante meridionale più umido e fresco, sono accolte le specie mesofile del bosco carsico.

Si rileva, infine, che il fondo delle doline può essere in diretta connessione con l'ecosistema ipogeo delle grotte e delle voragini; in questo passaggio avviene la progressiva modifica della radiazione luminosa, che subisce una progressiva diminuzione, e si verifica il contemporaneo aumento dell'umidità, determinato dall'intenso stillicidio e dall'evaporazione lenta e continua prodotta dai bacini d'acqua sotterranei e dalle pareti rocciose.

Si tratta di variazioni microclimatiche che influenzano la colonizzazione degli organismi vegetali; le associazioni si differenziano al variare dei parametri ambientali, determinando una seriazione che regredisce dalla fanerogame, alle pteridofite, alle briofite.

5.2.2.3.7 Ecosistema dei rimboschimenti artificiali di conifera

L'ecosistema è costituito da pinete di impianto artificiale a dominanza di pino nero, specie estesamente introdotta nel 19° secolo con lo scopo di consentire la rapida riforestazione dei territori denudati.

Il pino nero è specie dotata di grande frugalità e di elevate caratteristiche di pionierismo e per queste ragioni si è perfettamente inserita nell'ambiente carsico; la sua introduzione, tuttavia, del tutto estranea alle dinamiche vegetazionali locali, ha comportato il progressivo manifestarsi di precisi elementi di negatività ecologica, legati in modo particolare all'evoluzione del sottobosco. Le elevate condizioni di acidità della lettiera hanno favorito, infatti, l'insediamento della flora legata ai boschi delle zone montane e subalpine, normalmente presenti in altro areale.

Sotto il profilo strettamente ecologico si constata che il sistema forestale del bosco artificiale di conifera risulta notevolmente semplificato, sia a livello strutturale che di composizione specifica; a differenza dei consorzi boschivi propriamente "naturali", caratterizzati da stratificazione della vegetazione e composizione polispecifica, tali boschi "seminaturali" presentano un soprassuolo sempre coetaneiforme e monostratificato dove gli arbusti sono limitati e c'è scarsa presenza di piante morte o deperienti al suolo; per questa ragione l'ecosistema, pur presentando caratteristiche apparentemente simili a quelle dei boschi naturali, risulta molto più limitato.

La modesta stratificazione della vegetazione influenza negativamente la qualità dell'ecosistema, determinando rispetto agli ecosistemi propriamente forestali la possibilità di formare un minor numero di nicchie ecologiche ed una minore disponibilità di fonti di alimentazione e di siti idonei per il rifugio o la nidificazione; anche la diversità delle specie e la variabilità genetica risultano inferiori rispetto a quanto presente nei consorzi boschivi naturali; per

queste ragioni, il valore ecologico della formazione e lo scarso grado di evoluzione che la contraddistingue determinano una qualità ecosistemica complessivamente modesta.

5.2.2.3.8 Ecosistema delle zone umide lotiche e lentiche

L'acqua rappresenta il fattore ecologico dominante delle zone umide mentre il dinamismo espresso dall'acqua articola la distinzione in ambienti acquatici specifici, individuati come lentici (acque ferme) e lotici (acque correnti); in tali ambienti vengono comunemente considerati sia i corpi idrici veri e propri, strutturati a stagno, lago, fiume e torrente, sia diversi habitat anfibi nei quali si possono alternare momenti di sommersione a momenti di asciutta, sia la vegetazione ripariale che si sviluppa lungo i fiumi nelle fasce ghiaiose, nei tratti sabbiosi, nelle zone fangose.

L'ambiente umido rappresenta l'habitat ottimale per numerose specie vegetali e animali, potenzialmente ricco di elementi naturali stratificati capaci di garantire la strutturazione di corridoi ecologici efficaci, normalmente in grado di mantenere elevata la biodiversità complessiva di un territorio; ogni corso d'acqua è potenzialmente in grado di innescare catene trofiche con produzione primaria di energia derivante dalla decomposizione del fogliame e di altro materiale ripariale; si tratta di ecosistemi aperti, con metabolismo complessivo tendenzialmente eterotrofo, attivo in modo particolare nelle condizioni di corrente in cui il plancton vegetale è assente e dove lo sviluppo di vegetazione sommersa è limitato in termini di biomassa.

Nel territorio in esame l'ecosistema è rappresentato dalle zone umide distribuite lungo il Fiume Isonzo (ecosistema lotico) e ai laghetti delle Mucille (ecosistema lentico); benché inserito in una matrice prevalentemente agricola che ne condiziona l'espansione e lo sviluppo, il sistema si caratterizza per una discreta diversità ambientale (boschi igrofili, saliceti arbustivi, canneti, cariceti, ecc.), che si modificano in relazione alle variazioni stagionali relative alle portate e alla disponibilità idrica.

Le fitocenosi riparie poste in ambiente antropizzato, in particolare, consentono di limitare gli effetti negativi indotti sulla qualità delle acque, costituendo barriere naturali capaci di agire da filtro meccanico e da filtro biologico; tale capacità "tampone" è tanto più importante quanto più l'ecosistema consuma e trasforma le sostanze inquinanti ed il carico di nutrienti provenienti dagli scarichi o dalle fertilizzazioni agricole.

Una disamina in questo senso meritano le formazioni igrofile ripariali del fiume Isonzo, relativamente continue ed estese in termini di superficie, in grado di determinare l'incremento della diversità biologica complessiva del territorio e di ricoprire le importanti funzioni proprie del corridoio ecologico; le zone umide, in questo senso, assumono particolare interesse per la fauna migratoria e stanziale, che trova nella elevata diversità di ambienti ravvicinati e nel loro dinamismo l'eterogeneità di habitat utili per numerose specie.

Le zone umide rivestono sempre importanza fondamentale per gli anfibi, in particolare per le specie legate agli habitat con vegetazione rigogliosa e corrente debole, ai piccoli laghetti e alle pozze d'acqua stagnante formate dal divagare del fiume; da sottolineare è la presenza lungo l'Isonzo della rana di Lataste, una specie endemica dell'Italia settentrionale attualmente in fase di rarefazione.

Il greto del fiume, a sua volta, offre rifugio a numerose specie di rettili (in particolare ramarri e lucertole), che nei banchi di ghiaia e sabbia, nella vegetazione pioniera e nelle zone cespugliose trovano l'habitat ideale per il proprio ciclo vitale.

Si consideri, inoltre, che gli ambienti umidi rivestono funzioni fondamentali nella dinamica delle popolazioni di uccelli durante la dispersione post riproduttiva, durante lo svernamento e soprattutto durante il periodo della migrazione primaverile, allorché la precoce germogliazione della vegetazione ripariale offre una formidabile base alimentare per le specie che si nutrono di insetti fitofagi; in autunno, al contrario, restano favorite le specie granivore, che trovano abbondanti risorse alimentari nei semi prodotti dalle numerose specie erbacee di greto.

5.2.2.3.9 Ecosistema ipogeo

Nell'ambito dell'ecosistema ipogeo è possibile distinguere un ambiente cavernicolo vero e proprio, costituito dalle cavità accessibili all'uomo, e un ambiente "interstiziale", costituito dall'insieme delle microfessure della roccia che opera nel filtraggio dell'apporto esogeno, offre riparo alle forme di vita più delicate, impedisce il formarsi di correnti d'aria; molte specie prediligono questo tipo di ambiente, giungendo saltuariamente in grotta.

L'ecosistema delle caverne è caratterizzato dai seguenti elementi principali:

- totale assenza o riduzione di alcuni fattori (es luce)
- fattori costanti nel tempo (es. temperatura e umidità)
- semplicità nella composizione dei popolamenti animali
- semplificazione dei rapporti sinecologici (es. tra i livelli della piramide alimentare
- maggior grado di isolamento rispetto agli ecosistemi contigui

L'ecosistema ipogeo risulta necessariamente un sistema aperto, che necessita di input energetici provenienti dal sistema epigeo che possano consentire la sopravvivenza delle specie eterotrofe; i principali fattori di tipo abiotico in grado di regolare gli equilibri del sistema ipogeo sono da considerarsi l'oscurità, la temperatura, l'umidità, la composizione chimica dell'aria, la presenza di acqua, la natura geologica del terreno.

L'oscurità aumenta progressivamente a partire dalla zona laminare (in prossimità dell'ingresso della grotta) determinando la progressiva scomparsa degli organismi vegetali, poiché non vi può avvenire la fotosintesi clorofilliana; ciò comporta l'assenza nel sistema della produttività primaria e conseguentemente di tutta la fauna fitofaga con i propri parassiti e predatori; eccezionalmente si rileva la produzione di sostanza organica dovuta ad una esigua azione batterica.

La temperatura, che nel sistema ipogeo ed in particolare nell'ambiente interstiziale è molto costante, dipende dalla posizione geografica della grotta (la temperatura in grotta è generalmente pari alla media annua della temperatura esterna) e dalla sua forma e profondità; in particolare, è stato osservato come nelle grotte profonde raramente si osservi un incremento del grado geotermico con la profondità e probabilmente ciò è da correlare con un'intensa fessurazione della grotta calcarea che consente l'apporto di acqua e di aria proveniente dall'esterno.

E' stato inoltre rilevato come nelle grotte che presentano più aperture percorse da correnti d'aria le variazioni termiche stagionali influenzino sensibilmente l'atmosfera interna.

L'umidità è tra i fattori determinanti la vita nell'habitat delle grotte e normalmente assume valori attorno al 95 %; l'andamento stagionale viene influenzato dal clima esterno dell'ambiente endogeo, quello posto a contatto con l'ambiente epigeo e più vicino alla situazione metereologica esterna; a causa di tali variazioni, per trovare l'umidità favorevole alcune specie di artropodi sono costrette a compiere migrazioni verso l'ambiente interstiziale.

I troglobi, in particolare, vivono per lo più in condizioni di saturazione di umidità ed essendo stenoigri possono soccombere per piccole variazioni del grado di umidità.

La composizione chimica dell'aria delle grotte è generalmente uguale a quella esterna; possono fare eccezione rami terminali, cunicoli, pozzi profondi, zone in cui può verificarsi un ristagno di anidride carbonica liberata durante il processo di precipitazione del carbonato di calcio; è stato osservato che le specie troglobie, in particolare alcuni ragni del genere *Meta*, sopportano tenori di anidride carbonica elevati fino al 15%.

L'acqua è presente in grotta sia in forma di acqua corrente (ruscelli, torrenti, fiumi), sia come acqua ferma (pozze, laghi), sia come stillicidio, consentendo la presenza di organismi acquatici ed esercitando notevole influenza anche

sulle specie terragnole; molti organismi troglobi di terra, di norma legati ad atmosfera satura di umidità, riescono a sopravvivere per lunghi periodi nel mezzo liquido. L'assenza di una netta separazione tra mezzo liquido e mezzo aereo, in certe condizioni, permette analogamente che troglobi d'acqua sopravvivano nell'ambiente aereo.

La maggior parte degli organismi acquatici di grotta è reofoba, cioè adatta alle acque ferme; reofili sono invece alcuni vertebrati e crostacei ipogei. Le acque di grotta sono moderatamente ossigenate, meno di quelle correnti di superficie, ma più di quelle marine o lacustri; il pH è debolmente alcalino e la durezza è generalmente elevata a causa della forte concentrazione di carbonato di calcio. Il periodico inondamento, caratteristico di cavità a cospicuo regime idrico, ha grande importanza per l'ecologia delle grotte: infatti è in coincidenza di tali inondazioni che molte specie ipogee hanno instaurato il proprio ciclo riproduttivo, poichè le acque, trasportando grandi quantità di detriti organici, assicurano un abbondante nutrimento favorendone la riproduzione.

La natura geologica del terreno in cui si apre una grotta influisce notevolmente sul popolamento ipogeo. Soltanto le grotte situate in terreno calcareo sono abitate da una fauna troglobia; ciò è dovuto essenzialmente alla vasta fessurazione del calcare stesso che rappresenta la parte abitabile più estesa dell'ambiente ipogeo; per tale motivo una vasta caverna in un massiccio dolomitico compatto può risultare totalmente azoica, mentre una cavità artificiale scavata nel calcare può essere densamente popolata. Spesso anche il tipo di calcare può determinare vari habitat per diverse specie (calcare friabile che non si presta a concrezioni o calcare che dà luogo a concrezioni di vario tipo). Oltre alle concrezioni, il riempimento sia inorganico che organico, funge da substrato idoneo per la proliferazione di organismi, sia a livello larvale che adulto.

In relazione ai fattori di tipo biotico si rileva che l'elemento principale è costituito dalle risorse trofiche, che sono quasi esclusivamente di origine esogena; le principali modalità di trasporto sono riconducibili al trasporto anemocoro (tramite il vento possono penetrate batteri, spore fungine e pollini), idrocoro (attraverso l'acqua entrano grandi quantitativi delle più varie sostanze), biocoro (attraverso gli animali) e per gravità.

Nella piramide alimentare dell'ambiente ipogeo si possono, infine, distinguere predatori carnivori (chilopodi, opilioni, pseudoscorpioni, ragni, vari coleotteri), detritivori (diplopodi e crostacei), saprofagi e limnivori.

Sulla base di quanto sopra si evidenzia come l'habitat ipogeo risulti caratterizzato dalla generalizzata costanza dei parametri ambientali e dalla semplificazione dei rapporti interspecifici; qualunque leggera modificazione delle variabili che lo governano interferisce sull'equilibrio del sistema, che risulta pertanto facilmente perturbabile.

5.3 Valutazione delle interferenze

Il presente paragrafo analizza le potenziali interferenze che l'esercizio della linea ferroviaria può procurare sulle componenti di interesse naturalistico.

5.3.1 Vegetazione e flora

Nei precedenti capitoli relativi alla caratterizzazione vegetazionale del territorio è stato approfondito come gli elementi di maggiore sensibilità siano rappresentati dagli ambienti legati al sistema carsico, ossia la landa carsica, le doline, le formazioni boscate di latifoglie termofile; a questi si aggiungono le zone umide, che rivestono importanza in relazione alla rarità delle specie vegetali presenti.

Per la valutazione delle interferenze sulla componente viene effettuata la sovrapposizione tra i dati relativi alla distribuzione delle vegetazioni sul territorio e le diverse tipologie costruttive dell'opera per singoli tratti; si intende, in questo senso, verificare quanto e dove l'esercizio della linea può interferire con l'evoluzione della vegetazione e con la continuità degli habitat naturali, considerando che in larga parte il progetto prevede la realizzazione del tracciato in galleria, senza interessamento della crosta superficiale.

Come sempre si verifica nel caso di nuove infrastrutture dedicate al trasporto, la realizzazione dell'opera determinerà sulla componente vegetazione impatti di tipo diretto, prodotti dalla costruzione dell'opera e dovuti alla sottrazione in via definitiva di formazioni vegetali, e impatti indiretti, generati dalla nuova presenza del manufatto; relativamente agli impatti diretti si consideri che la sottrazione di vegetazione sarà limitata alle sole aree dove il tracciato attraversa la pianura dell'Isonzo e nei brevi tratti di territorio carsico in cui non corre in galleria.

In riferimento agli impatti indiretti, ossia non direttamente collegati all'opera, si individuano gli effetti conseguenti al diradamento della vegetazione, una situazione che può favorire la crescita di specie pioniere ed invasive, autoctone ed alloctone, di scarso interesse naturalistico.

5.3.1.1 Analisi delle interferenze sulla componente

Di seguito viene effettuata l'analisi puntuale dei tratti di linea allo scoperto, descrivendo le interazioni constatate con le componenti naturali ed evidenziate all'interno di ambiti omogenei per caratteristiche ambientali.

E' già stato visto come il tracciato attraversi allo scoperto gli ambienti territoriali caratterizzati da un elevato grado di antropizzazione, costituiti dalla pianura coltivata dell'Isonzo, e percorra prevalentemente in galleria gli ambiti di maggior pregio ambientale della zona del Carso, dove si riscontra la presenza delle vegetazioni e delle specie floristiche di maggiore pregio.

Tratto km 1+600 – km 7+500

In questo tratto il tracciato attraversa l'ampia zona della pianura alluvionale dell'Isonzo in cui gli elementi di naturalità risultano fortemente ridotti e prevalentemente localizzati nelle zone limitrofe alla fascia golenale del fiume; la linea ferroviaria si sviluppa a sud dell'aeroporto di Ronchi dei Legionari, attraversando un territorio caratterizzato da forte antropizzazione in cui le superfici coltivate sono interrotte da ripetute aree edificate, di tipo residenziale e di tipo industriale.

Le numerose alterazioni derivanti dalla pressione antropica determinano l'insediamento di una vegetazione assai lontana dallo stadio climax, conseguente agli effetti prodotti dall'attività agricola, alla flora di sostituzione insediatasi negli ambiti di pianura (in particolare *Robinia pseudacacia*), alla flora esotica ornamentale tipicamente introdotta nelle aree urbanizzate; non si riscontra la presenza significativa di elementi di tipo naturale neanche lungo il corso del Canale dei Dottori, il cui alveo artificializzato risulta privo di copertura vegetale significativa.

Dall'analisi effettuata sulla componente Flora e Vegetazione vengono tratte diverse considerazioni, riportate in modo schematico:

- la vegetazione di area vasta risulta lontana dallo stadio climax per le numerose alterazioni derivanti dalla pressione antropica;
- l'area vasta è caratterizzata da ampie superfici coltivate che presentano una vegetazione di bassa qualità, costituita da infestanti delle colture e da specie ruderali e sinantropiche;
- a parte pochi residui lembi di vegetazione seminaturale si rinvengono in generale popolamenti di scarso valore floristico e vegetazionale, caratterizzati da un valore ecologico complessivo non elevato;
- le principali modificazioni riscontrabili sono la progressiva sottrazione di superficie a vegetazione naturale e l'alterazione della composizione floristica;
- in seguito a tali modificazioni si è assistito alla progressiva introduzione e all'affermazione di specie invasive ed alloctone, che hanno successivamente condotto ad una costante e notevole riduzione della diversità biologica.

Con tali premesse, si ritiene che l'abbattimento diretto di vegetazione esistente non comporti impatti rilevanti sulla componente, sia perché impegna aree di limitata estensione, sia perché la vegetazione coinvolta presenta un grado di naturalità mediamente basso; si ritiene, pertanto, che il tracciato non determini in questo tratto l'interruzione della continuità tra habitat naturali, assenti all'interno di una zona fortemente antropizzata e già interferita da importanti infrastrutture di trasporto.

Gli impatti sulla vegetazione saranno dovuti al potenziale incremento dell'inquinamento floristico con specie esotiche e sinantropiche, che porterebbe ad un'ulteriore semplificazione del quadro floristico-vegetazionale; tutto ciò non comporta una perdita di variabilità floristica apprezzabile a livello territoriale, ma potrebbe assumere conseguenze negative in termini di biodiversità a livello locale.

Tratto km 7+600 – km 13+095

Il tratto si sviluppa in parte in superficie ed in parte in galleria; nelle zone di superficie verranno interessate le vegetazioni dei prati aridi submediterranei orientali e dei rimboschimenti a conifera, oltre ad alcune aree di querceto a roverella; inoltre, la realizzazione della linea ferroviaria interesserà un brevissimo tratto di gallerie a salice bianco e di cespuglieti medio europei dei suoli ricchi.

In questo tratto, pertanto, la linea attraversa ambiti vegetazionali che conservano elementi naturali significativi, quali praterie termofile, querceti, pinete, cespuglieti.

Da prog. 7+600 a prog. 7+825: in questo tratto la nuova linea ferroviaria attraversa situazioni di naturalità interamente impegnate da *prati aridi submediterranei orientali*, che vengono interessati e soppressi per 180 ml.

Da prog. 8+378 a prog. 9+320: in questo tratto la nuova linea ferroviaria interviene nuovamente su *prati aridi submediterranei orientali*, interessati e soppressi per 660 ml; oltre a questi, vengono coinvolti nelle opere un *rimboschimento a conifera* per la misura di 160 ml e *boschi a carpino nero e roverella* per la misura di 120 ml.

Da prog. 9+475 a prog. 9+700: in questo tratto la nuova linea ferroviaria interessa un *rimboschimento a conifera*, che dovrà essere abbattuto per 230 ml.

Da prog. 11+174 a prog. 11+384: in questo tratto la nuova linea ferroviaria attraversa zone umide, interessando *boschi a carpino nero e roverella* per la misura di 210 ml.

Da prog. 11+744 a prog. 12+722: in questo tratto la nuova linea ferroviaria interessa formazioni di *cespuglieti medio europei dei suoli ricchi*, prevedendone l'interruzione per 290 ml, oltre a *prati aridi submediterranei orientali* per 150 ml e *boschi a carpino nero e roverella* per 120 ml.

Da prog. 12+926 a prog. 13+095: in questo tratto il nuovo tracciato affianca la S.S. 55 immediatamente a monte della linea ferroviaria esistente, interessando una zona di contatto tra *boschi a carpino nero e roverella*, per 320 ml, e *rimboschimenti di conifera*, per 150 ml, in un contesto complessivo già in parte alterato per il verificarsi di fenomeni di inquinamento floristico; la realizzazione della nuova linea vi interferirà in maniera non significativa poiché interessa la sottrazione, peraltro limitata, di una formazione già sottoposta ad alterazioni nella composizione specifica.

Da segnalare la presenza di alcune aree umide di buon interesse naturalistico, presenti sia a nord che a sud del tracciato ferroviario; nel dettaglio, si tratta dei Laghetti di Mucille, del Lago di Doberdò e del Lago di Pietrarossa a nord e del Canale Principale Dottori, del Lago di Sablici e del Fiume Moschenizza a sud.

Le altre cenosi presenti sull'area evidenziano chiare alterazioni sia di composizione specifica che al livello strutturale, dovute alla vicinanza con l'infrastruttura ferroviaria esistente, con la viabilità principale (strade statli e provinciali), con l'autostrada Venezia-Trieste e con numerose formazioni vegetali di natura artificiale (rimboschimenti e seminativi) che hanno modificato le condizioni stazionali e favorito processi di ruderalizzazione

e di contaminazione della flora autoctona; ciononostante tali cenosi rivestono un certo interesse ambientale in quanto espressioni delle locali potenzialità vegetazionali.

Da evidenziare che nei pressi di Sablici è presente una piccola zona a copertura erbacea dotata di particolare valenza naturalistica, riferibile ai pascoli aridi submediterranei in fase di evoluzione dinamica verso la boscaglia carsica per intensi fenomeni di incespugliamento; sebbene la realizzazione della linea ne comporti una sottrazione molto limitata, l'interruzione della cotica erbosa favorirà l'ingressione di specie ruderali che tenderanno a diffondersi lungo la nuova linea, procurando probabili fenomeni di inquinamento floristico.

Tratto compreso tra le gallerie, dalla km 13+095 fino a Trieste

Dalla km 13+095 sino a Trieste il tracciato ferroviario si sviluppa pressoché interamente in galleria, uscendo in superficie solamente per brevi tratti.

Tra questi, l'interconnessione di Aurisina, in corrispondenza della quale si rileva la presenza di un ambito di boscaglia a carattere termofilo a dominanza di roverella a contatto con formazioni di cespugli termofili; in questo tratto il tracciato interferisce con *boschi a carpino nero e roverella* per 130 ml, *cespuglieti medio europei dei suoli ricchi* per 280 ml e con sistemi agricoli estensivi per 390 ml.

In prossimità di Aurisina, tra la prog. 22+800 e la prog. 24+500, sul tracciato principale si riscontra l'interferenza della linea con *prati aridi submediterranei orientali* per 450 ml, con *boschi a carpino nero e roverella* per 430 ml e con *cespuglieti medio europei dei suoli ricchi* per 240 ml.

Complessivamente vengono interessati diversi elementi di vegetazione come da seguente tabella:

Prati aridi submediterranei orientali	1440 ml
Rimboschimento a conifera	540 ml
Boschi a carpino nero e roverella	1330 ml
Cespuglieti medio europei dei suoli ricchi	810 ml
TOTALE	**4120 ml**

La misura corrisponde a circa l'11 % dell'intera tratta in esame.

Opere connesse

Oltre a quanto sopra, riferito alla sola linea ferroviaria, si aggiungono le asportazioni dovute alle opere connesse; si fa riferimento ai seguenti elementi infrastrutturali:

- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 9+315, che impegnano *prati aridi submediterranei orientali* per circa 640 mq e *boschi a carpino nero e roverella* per circa 130 mq;
- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 10+877, che impegnano *rimboschimenti di conifera* per circa 500 mq;
- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 13+095, che impegnano *rimboschimenti di conifera* per circa 980 mq e *boschi a carpino nero e roverella* per circa 710 mq;

- area di soccorso sanitario prevista alla progr. 13+095, che impegna *rimboschimenti di conifera* per circa 840 mq e *prati aridi submediterranei orientali* per circa 140 mq;
- area fabbricati tecnologici prevista alla progr. 13+150, che impegna *rimboschimenti di conifera* per circa 500 mq;
- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 24+450, che impegnano *boschi a carpino nero e roverella* per circa 740 mq;
- area di soccorso sanitario prevista alla progr. 24+450, che impegna *boschi a carpino nero e roverella* per circa 1.500 mq;
- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 22+800, presso il nodo di Aurisina, che impegnano *boschi a carpino nero e roverella* per circa 1.350 mq e *cespuglieti medio europei dei suoli ricchi* per circa 190 mq;
- viabilità da adeguare per l'accesso alla cabina MT e agli impianti tecnologici alla progr. Km 17+800, che impegna *prati aridi submediterranei orientali* per circa 640 ml e *boschi a carpino nero e roverella* per circa 160 ml.

Gallerie artificiali

Come già visto, la nuova linea ferroviaria attraversa il territorio carsico percorrendo lunghi tratti in galleria; oltre alla necessità di intervenire con gallerie naturali, le caratteristiche orografiche del territorio determinano la progettazione di tipologie costruttive che prevedono anche la realizzazione di gallerie artificiali, per le quali la vegetazione deve essere necessariamente rimossa ma può essere successivamente ripristinata sulla copertura, in forma esclusivamente arbustiva.

Tra le gallerie artificiali vengono considerati anche i tratti di imbocco alle gallerie naturali.

In particolare, vengono interessati i seguenti tratti:

Linea Storica VE-TS

GA02: dalla prog. 7+611 alla prog. 8+075	Prati aridi submediterranei orientali	136 ml

Tracciato principale:

GA03: dalla prog. 8+800 alla prog. 8+871	Boschi a carpino nero e roverella	61 ml
GA04: dalla prog. 9+237 alla prog. 9+290	Boschi a carpino nero e roverella	160 ml
GA05: dalla prog. 7+825 alla prog. 8+378	Prati aridi submediterranei orientali	553 ml
GA06: dalla prog. 9+315 alla prog. 9+475	Boschi a carpino nero e roverella	160 ml
GA07: dalla prog. 9+700 alla prog. 9+775	Boschi a carpino nero e roverella	75 ml
GA08: dalla prog. 10+850 alla prog. 10+877	Prati aridi submediterranei orientali	27 ml
GA09: dalla prog. 11+384 alla prog. 11+744	Cespuglieti dei suoli ricchi	360 ml
GA10: dalla prog. 12+722 alla prog. 12+775	Rimboschimento a conifera	53 ml
GA11: dalla prog. 12+880 alla prog. 12+962	Rimboschimento a conifera	46 ml

GA12: dalla prog. 13+095 alla prog. 13+150	Rimboschimento a conifera	55 ml
GA14: dalla prog. 22+685 alla prog. 22+800	Boschi a carpino nero e roverella	115 ml
GA18: dalla prog. 24+477 alla prog. 25+052	Boschi a carpino nero e roverella	575 ml

Complessivamente vengono interessati diversi elementi di vegetazione, come da seguente tabella:

Prati aridi submediterranei orientali	716 ml
Rimboschimento a conifera	154 ml
Boschi a carpino nero e roverella	1146 ml
Cespuglieti medio europei dei suoli ricchi	360 ml
TOTALE	**2376 ml**

Tale misura verrà restituita pressoché interamente attraverso la piantagione di arbusteti sulla copertura delle gallerie artificiali.

Oltre a quanto sopra, si rileva interferenza sui seguenti tratti, interessati nel passato da attività agricole ed ora per lo più in abbandono, che avranno un ripristino di tipo agricolo, ovvero di riqualificazione della condizione attuale.

Linea Storica VE-TS

GA02: dalla prog. 7+611 alla prog. 8+075	Zone agricole estensive in stato di abbandono	138 ml

Tracciato principale

GA13: dalla prog. 17+675 alla prog. 17+950	Zone agricole estensive	275 ml

Interconnessione di Aurisina

GA16: dalla prog. 0+700 alla prog. 0+800	Zone agricole estensive in stato di abbandono	100 ml

Elettrodotti

La costruzione della linea prevede la realizzazione di nuove tratte di elettrodotto, necessarie per allacciare le sottostazioni elettriche; il progetto tecnico definisce che l'elettrodotto FS 132 kv di Ronchi dei Legionari sarà interamente interrato, mentre gli elettrodotti da realizzarsi presso Aurisina si connetteranno a tralicci esistenti con cavi aerei passanti a circa 10 metri da terra.

Si ritiene che la costruzione degli elettrodotti non comporti in ogni caso intefrrerenze significative sulla componente Vegetazione; le uniche interferenze risultano infatti limitate all'area di realizzazione dei tralicci.

5.3.2 Fauna

Per l'analisi delle interferenze è stato effettuata un'analisi incrociata dei dati relativi alla distribuzione dei popolamenti animali nel territorio con le diverse tipologie di costruzione dell'opera.

Dal quadro prospettato nei capitoli relativi alla caratterizzazione si evince come gli ambienti legati al sistema carsico (landa carsica, doline, formazioni boscate) rappresentano gli elementi di maggiore sensibilità presenti nell'area.

Anche le zone umide rivestono una certa importanza in relazione alla rarità delle specie vegetali presenti specificamente legate a questi particolari ambienti, che peraltro rappresentano importanti habitat anche per la fauna.

Gli effetti principali determinati dalle azioni di progetto correlate alla linea ferroviaria sono schematizzabili in:

- sottrazione diretta di formazioni vegetali e, conseguentemente, della fauna che esse ospitano;
- interferenza con gli spostamenti della fauna (rete ferroviaria ed elettrodotti);
- disturbo alla fauna per inquinamento acustico.

Di seguito viene effettuata l'analisi delle interferenze evidenziate lungo il tracciato, mettendo in evidenza le principali interazioni che si verificano con i popolamenti animali in fase di esercizio.

5.3.2.1 Analisi delle interferenze sulla componente

L'analisi puntuale è effettuata nei diversi tratti della linea ferroviaria, allo scoperto e in galleria, descrivendo le interazioni che si determinano con le componenti naturali all'interno di ambiti omogenei per caratteristiche ambientali.

In linea generale il tracciato proposto attraversa allo scoperto in larga parte gli ambienti caratterizzati da un elevato grado di antropizzazione, costituiti dalla zona della pianura alluvionale prevalentemente coltivata, mentre percorre per la maggior parte in galleria gli ambiti di maggior pregio ambientale della zona del Carso, dove si riscontra la presenza di specie floro-faunistiche di pregio.

In relazione, pertanto, all'interruzione della continuità degli habitat naturali e dei corridoi ecologici si rileva che il tracciato non determina modifiche significative rispetto allo stato attuale. Esso, infatti, nell'ambito della pianura dell'Isonzo si viene a collocare all'interno di una zona dove è evidente già allo stato attuale la presenza di importanti infrastrutture di trasporto che tagliano in varie direzioni il territorio.

Tratto iniziale (km 1+600 – km 7+500)

In questo tratto il tracciato si sviluppa in adiacenza alla linea ferroviaria esistente, rimanendone strettamente affaincato sino al Canale Dottori, attraversando l'ampia zona della pianura isontina coltivata, in cui gli elementi di naturalità sono stati fortemente ridotti e risultano prevalentemente localizzati nelle zone limitrofe alla fascia golenale del fiume; la linea ferroviaria si sviluppa a sud dell'aeroporto di Ronchi dei Legionari, attraversando zone fortemente antropizzate, in cui dominano le superfici coltivate ma dove sono diffusamente presenti anche aree edificate di tipo residenziale e industriale.

Non si riscontra pertanto la presenza di elementi di tipo naturale, neanche lungo il corso del Canale dei Dottori, il cui alveo artificializzato risulta privo di copertura vegetale significativa.

Non si rilevano pertanto significative interferenze con le componenti naturali.

Tratto km 7+500 – km 13+095

Questo tratto si presenta in parte in superficie e in parte in galleria; nelle zone superficiali verranno interessate aree prevalentemente con vegetazione dei prati aridi submediterranei orientali, oltre ad alcune porzioni di querceto a

roverella dell'Italia settentrionale e dell'Appennino centro-settentrionale. La realizzazione della linea ferroviaria interesserà, inoltre, un brevissimo tratto di gallerie a salice bianco, di cespuglieti medio europei dei suoli ricchi e di impianti di rimboschimento di conifere alloctone.

In questo tratto, quindi, la linea attraversa un ambito che conserva ancora elementi naturali significativi (praterie termofile, querceti, cespuglieti, zone umide).

In relazione al rimboschimento si rileva che questo presenta una valenza più di tipo estetico-paesaggistico che ambientale, trattandosi di un impianto estraneo alle locali dinamiche vegetazionali.

Per quanto concerne le altre cenosi presenti, in relazione alla vicinanza a formazioni vegetali di natura artificiale (rimboschimento e seminativi), all'infrastruttura ferroviaria e all'autostrada Venezia-Trieste, presentano già allo stato attuale evidenti alterazioni sia di composizione in specie sia a livello strutturale. Tuttavia, rivestono un certo pregio ambientale in quanto espressioni delle locali potenzialità vegetazionali.

Da segnalare la presenza di aree umide sia a nord sia a sud del tracciato ferroviario in progetto; nel dettaglio, si tratta dei Laghetti di Mucille, del Lago di Doberdò e del Lago di Pietrarossa a nord e del Canale Principale Dottori, Lago di Sablici e del Fiume Moschenizza a sud.

In base a queste considerazioni le interazioni con l'assetto naturale dei luoghi risultano pertanto limitate, ridotte in senso spaziale e comunque mitigabili mediante opportuni interventi di ripristino.

La componente faunistica legata agli ambienti attraversati è prevalentemente caratterizzata da specie ornitiche (anatidi e passeriformi) e da anfibi (rane verdi, raganelle). Il disturbo dovuto al rumore e alle vibrazioni prodotte in fase di esercizio potrebbe determinare l'allontanamento delle specie più sensibili e vagili. Le maggiori interferenze si riscontrano per le popolazioni di anfibi, che risultano nel complesso poco mobili e legate a specifici microhabitat.

In considerazione del tipo di disturbo prodotto dalla linea in esercizio (emissioni sonore) è probabile che le specie faunstiche più sensibili nei confronti di questo fattore perturbativo (in particolare uccelli) si adattino in tempi relativamente brevi.

Da evidenziare che nei pressi di Sablici è presente una zona a copertura erbacea riferibile ai pascoli di tipo termofilo in fase di evoluzione dinamica verso la boscaglia carsica (intensi fenomeni di incespugliamento). La valenza naturalistica di quest'area risiede nella presenza delle superfici a pascolo, peculiari dell'area carsica, che sono in via di rarefazione a causa dei forti processi di incespugliamento; queste aree sono di interesse per alcuni grandi mammiferi, quali caprioli e cinghiali, tuttavia dotati di buona mobilità e in grado di spostarsi senza subire pressioni elevate dall'opera in progetto.

La realizzazione della linea comporterà la sottrazione di porzioni comunque limitate, rispetto alla loro estensione locale, di tali fitocenosi. La sua presenza, inoltre, determinerà un'interruzione della cotica erbosa favorendo l'ingressione di specie a carattere ruderale, che tenderanno a insediarsi lungo la nuova linea determinando fenomeni di inquinamento floristico.

I popolamenti faunistici presenti nell'area e legati a questo particolare tipo di habitat sono rappresentati da diverse specie di passeriformi come la calandra o l'allodola o da rettili come la lucertola adriatica. Si rileva che si tratta di specie dotate di una certa mobilità e, quindi, in grado di spostarsi in altre aree con analoghe caratteristiche degli habitat.

In relazione alla sottrazione dell'habitat del pascolo termofilo si sottolinea che si tratta, comunque, di superfici limitate rispetto alla loro estensione nella zona e quindi non tali da causare perturbazioni significative nelle popolazioni animali legate a questo tipo di formazioni erbacee.

Nel tratto allo scoperto compreso tra le progressive km 12+926 e km 13+095 vi è una zona di contatto tra il querceto e i rimboschimenti e il nuovo tracciato affianca la S.S. 55 immediatamente a monte della linea ferroviaria già esistente. La fascia più vicina all'autostrada Venezia-Trieste risulta già in parte alterata per il verificarsi di fenomeni di inquinamento floristico. La presenza della nuova linea determinerà pertanto una sottrazione, comunque limitata, di una formazione già sottoposta ad alterazione della composizione in specie.

In relazione alle interferenze prodotte sulla componente faunistica, non sono previsti impatti significativi, tenendo presente anche che le specie animali presenti nella zona risultano di fatto già abituate alla presenza dell'infrastruttura ferroviaria e autostradale.

Inoltre, alcuni tratti della linea vengono previsti in viadotto, evitando in questo modo interruzioni significative per il passaggio della fauna.

Tratto compreso tra le gallerie, dalla km 13+095 fino a Trieste

Per quanto riguarda l'area del bivio Aurisina, si rileva che questa si situa in un ambito a connotazione prevalentemente naturale, caratterizzato da una boscaglia a carattere termofilo a dominanza di roverella in contatto con formazioni di cespugli termofili.

La linea AV Ronchi-Trieste tra la progressiva km 23+000 e la progressiva km 24+000 interessa limitate zone di pascolo termofilo in evoluzione verso la boscaglia. In relazione a questa tipologia vegetazionale, valgono le considerazioni già effettuate in precedenza.

Dalla progressiva 0+557 alla progressiva 1+575 dei binari di interconnessione alla LS vengono, invece, interessate aree a vegetazione sia prativa in fase di cespugliamento sia legnosa (boscaglie e cespuglieti).

In relazione alla componente faunistica legata a questi habitat si rileva che essa è caratterizzata da comunità ornitiche complesse, con specie ai vertici della catena alimentare (astore e sparviere), da specie di anfibi come la Salamandra pezzata o rettili come l'Orbettino. I disturbi più significativi in fase di esercizio possono essere solo di tipo indiretto, legati alla produzione di rumore e di vibrazioni da parte dell'infrastruttura ferroviaria; questi disturbi rimangono, comunque, di entità limitata, alla luce del contesto di inserimento dell'infrastruttura in progetto in un'area già antropizzata e in cui, quindi, le specie presenti sono già "abituate" alla presenza dell'uomo.

Non si riscontrano, inoltre interferenze significative con le specie proprie della mammalofauna, in grado di spostarsi nelle aree limitrofe a quelle di intervento, dove potranno trovare analoghe caratteristiche degli habitat; infine, si ritiene che non sussistano rischi di investimento, anche alla luce del contesto già di per sé antropizzato fortemente presente nei tratti di superficie interessati dal progetto.

Analisi delle interferenze in galleria

Di seguito vengono evidenziate le interferenze prodotte dal tracciato in galleria, indirizzate verso la fauna legata all'habitat ipogeo (fauna troglobia).

Gli impatti sono stati analizzati incrociando il profilo dell'opera con i dati relativi alle planimetrie e alle sezioni delle cavità carsiche, dove risiede la fauna legata all'ambiente ipogeo; le cavità carsiche considerate sono state individuate sulla base di quanto riportato nel catasto grotte, nel capitolo del SIA relativo all'ambiente idrico, suolo e sottosuolo (Cfr. Quadro di Riferimento Ambientale) e nella Relazione Geologica di progetto preliminare che di seguito sinteticamente si riportano.

Nella fascia ampia circa 900 metri studiata agli effetti della carsificazione ipogea (200 metri a mare e 700 metri a monte della linea) e lunga complessivamente circa 22 km, si contano 27 doline di diametro superiore a 100 metri, 454 doline di diametro inferiore a 100 metri e ben 341 ingressi di cavità note e catastale; nella fascia ristretta (100-150 metri) di stretta pertinenza delle gallerie, le doline a diametro maggiore sono una decina, quelle a diametro minore sono 27, le cavità interferite direttamente o indirettamente sono 35.

Predominano i pozzi, forme più recenti prevalentemente verticali, sorta di inghiottitoi impostati su fratture subverticali. Hanno generalmente ridotte dimensioni tanto che prevalgono in assoluto pozzi a sezione ellittica larghi 3-6 metri, mentre decisamente meno frequenti sono i pozzi che superano questi valori per giungere ai 10/15 metri di larghezza. I pozzi sono solitamente riempiti o parzialmente tappati da materiale di crollo e disfacimento, sono poco concrezionati (a meno che non facciano parte di sistemi ipogei complessi, cioè siano legati a grandi gallerie).

Meno frequenti, ma di dimensioni solitamente maggiori sono le gallerie, inclinate da 10° a 30°, impostate lungo la massima pendenza della stratificazione e/o lungo sistemi di discontinuità subverticali. Tra quelle note, le più ampie hanno larghezza di 40 metri anche se generalmente le dimensioni si attestano sui 20 metri. Lo sviluppo longitudinale è notevole anche se solitamente non è noto perché i vani sono occlusi all'esplorazione per concrezioni, crolli, depositi argilloso-sabbiosi. Sono frequenti i casi di crollo di soffitti che, se superficiali, possono aver generato doline di crollo.

Per semplicità di descrizione, viene mantenuta la suddivisione della tratta ferroviaria effettuata nell'ambito dello studio della componente "Suolo e sottosuolo", cui si rimanda per maggiori dettagli; dal punto di vista geologico-geomorfologico epigeo ed ipogeo, è stato ritenuto conveniente distinguere nell'analisi quattro settori di percorso:

- il primo si sviluppa da Monfalcone a San Pelagio (circa dalla progressiva km 7+610 alla km 21+950), in calcari e dolomie poco carsificabili con bassa probabilità di intersezione con vuoti significativi;
- il secondo da San Pelagio fino circa alla località Bosco San Primo (circa dalla progressiva km 21+950 alla Stazione di Aurisina e dalla Stazione fino alla progressiva km 25+823), nei Calcari di Aurisina, altamente carsificabili e carsificati, con alta probabilità di incontrare vuoti anche significativi;
- il terzo, dalla località Bosco San Primo fino a Grignano (circa dalla progressiva km 25+823 fino alla km 27+258) nei Calcari liburnici ed eocenici, mediamente carsificabili, con media probabilità di incontrare vuoti significativi
- il quarto interamente nel Flysch non carsificabile, da Grignano a Trieste (circa dalla progressiva km 27+258 fino a termine tracciato).

Il primo settore, lungo circa 14 chilometri, con tre tratti in "galleria naturale" (e 5 imbocchi), diversi tratti in galleria artificiale, trincea, viadotto e rilevato, corre interamente nelle assise meno carsificabili.

Tra le progressive 9+300 e 9+500 circa è prevista la realizzazione di una galleria artificiale i cui scavi interesseranno la parte più settentrionale di un campo solcato.

Circa alle progressive km 14+410, km 16+320, km 17+005, km 17+815, km 19+170, km 20+375, km 20+580 il tracciato dovrebbe intersecare strutture verticali incarsite legate al drenaggio ipogeo in corrispondenza delle doline presenti in superficie. In particolare nel tratto compreso tra le progressive km 16+300 e km 16+500 si rileva una serie di doline allineate lungo una direzione trasversale al tracciato e un esteso campo solcato, forme superficiali che fanno ipotizzare l'estendersi del carsismo anche in profondità con strutture prevalentemente verticali. In corrispondenza del camerone per l'interconnessione B.D. il tracciato correrà al di sotto di un campo solcato e di alcune doline che fanno supporre la presenza di frequenti forme di incarsimento sub-verticali e piccole cavità a prevalente sviluppo sub orizzontale.

Il secondo settore è lungo circa 5 km ed è caratterizzato da due tratti in galleria, dalle interconnessioni con la rete ferroviaria attuale e dalla stazione di Aurisina. Il percorso si sviluppa lungo il cosiddetto "Solco di Aurisina", interamente nell'unità litostratigrafica più carsificabile e carsificata (Calcari di Aurisina). Qui è la presenza accertata e quella prevedibile di volumi diffusamente e/o intensamente incarsiti che rappresenta la maggiore criticità e richiede accurate misure investigative e operative per il superamento dei tratti problematici. In particolare il tracciato interseca numerosa strutture verticali incarsite legate al drenaggio ipogeo in corrispondenza delle doline presenti in superficie.

Nel tratto tra le progressive km 22+000 e km 22+800 il tracciato attraversa un territorio intensamente carsificato, con estesi campi solcati, doline di crollo, pozzi e cavità a galleria sia sub-orizzontali che inclinate. Dato che gli interventi sono a debole profondità, si risentiranno gli effetti del carsismo epigeo e di quelli del carsismo ipogeo. È molto probabile l'intersezione sia di strutture verticali incarsite legate al drenaggio ipogeo in corrispondenza delle doline e dei campi solcati (piani subverticali incarsiti per lo più di ridotte dimensioni, larghi da pochi centimetri a 5-6 metri) sia di forme sub-orizzontali legate all'antico reticolo di drenaggio delle acque guidato dai piani di stratificazione e dai master joints (vuoti a sezione trasversale di dimensioni medie di 5x5 m con punte superiori alla decina di metri) come ipotizzabile dalla morfologia delle cavità prossime al tracciato.

Nell'area di Aurisina il progetto interessa una zona caratterizzata dalla presenza di estese e numerose doline di crollo e dalla presenza di cavità sia orizzontali che verticali; tutto ciò indica la presenza di un carsismo profondo particolarmente evoluto. Lungo questa tratta il tracciato non dovrebbe intersecare vani di grandi dimensioni (si prevede la possibilità di incontrare vuoti con diametro massimo attorno ai 5x5m), ma potrebbe incontrare strutture verticali incarsite legate al drenaggio ipogeo in corrispondenza delle doline e dei campi solcati.

Il terzo settore è lungo appena 1,2 km, si sviluppa interamente in galleria a profondità comprese tra 140 metri (Monte San Paolo) e 67 metri dal piano campagna. Il tracciato attraversa calcari a media carsificabilità. La progressiva verticalizzazione della stratificazione guida la carsificazione profonda favorendo lo sviluppo di strutture verticali (pozzi ed inghiottitoi).

Il quarto settore si sviluppa interamente nei depositi flyschoidi, ove non si rinvengono criticità carsiche essendo i litotipi in questione non carsificabili.

Delle 31 cavità descritte nel capitolo sulla componente "Suolo e sottosuolo" del presente Studio di Impatto Ambientale, i cui ingressi cadono all'interno di una striscia data dall'interspazio fra le due gallerie e due buffer laterali di 50 metri, in relazione alla fauna ipogea si rileva una potenziale interferenza in termini di modifiche dell'habitat solo nella caverna n. 1559 (Caverna a SW di S.Pelagio), l'unica che presenta una sicura interferenza diretta con il tracciato ferroviario in progetto. Tuttavia, in considerazione delle sue caratteristiche (assenza di corpi idrici sotterranei) rappresenta un sito in cui la presenza del Proteo *Proteus anguineus*, anfibio urodelo di importanza comunitaria, risulta di scarsa probabilità.

Dal punto di vista idrogeologico carsico, l'intero tracciato è a quote sempre ben superiori al livello di falda in periodo di magra e durante i periodi di deflusso normale. Durante i periodi di piena l'ampiezza della zona di oscillazione è variabile in funzione dell'entità della piena, del tipo di alimentazione, della velocità di trasmissività laterale dell'impulso. Si tratta sempre comunque di valori lontani dal piano ferroviario.

Non si rilevano, per le conoscenze disponibili, interazioni significative tra l'opera in progetto e le aree carsiche dal punto di vista faunistico, in quanto non si prevedono alterazioni a livello dei principali parametri ambientali che governano la vita della fauna troglobia come l'umidità e la temperatura.

L'opera non dovrebbe attraversare la porzione basale delle cavità in cui possono essere attivi i processi di precipitazione.

In generale, le cavità che presentano uno sviluppo verticale non rappresentano un habitat idoneo per la specie *Proteus anguinus*, per l'assenza di corpi idrici sotterranei.

Infatti, le potenziali interferenze sono individuabili nella compromissione dell'accesso alle cavità: questo può comportare modifiche della ventilazione, che determinerebbero un'alterazione dei principali parametri ambientali in grado di influenzare le caratteristiche ecologiche dell'habitat ipogeo (in particolare temperatura, umidità).

In linea generale si rileva che la linea ferroviaria determina interazioni con la fauna ipogea da considerarsi significative per quanto concerne la sola caverna n. 1559 e trascurabili per tutte le altre caverne evidenziate.

Anche le interferenze con *Proteus anguineus* risultano circoscritte alle grotte in cui le caratteristiche ambientali risultano idonee alla presenza della specie; non sono tuttavia da escludere disturbi dovuti al propagarsi delle vibrazioni e del rumore durante la fase di esercizio dell'opera. Tali problematiche richiederanno, nelle fasi successive della progettazione, sulla base di specifiche campagne di indagine e monitoraggio, la definizione di adeguati approfondimenti tecnici tali da poter individuare adeguate misure di mitigazione.

Elettrodotti

Le opere connesse prevedono la realizzazione di alcuni elettrodotti, di cui uno sarà interamente interrato (elettrodotto FS 132 kv presso Ronchi dei Legionari), mentre altri, presso Aurisina, si connetteranno ai tralicci esistenti con conduttori aerei.

Per gli uccelli, le linee aeree nascondono rischi. I principali pericoli sono costituiti dalla perdita dello spazio vitale, dalla collisione con fili di terra e conduttori nonché dalla folgorazione.

Spesso i fili di terra e i conduttori poco visibili possono non essere percepiti come ostacoli dagli uccelli in volo o possono esserlo solo troppo tardi. Ciò può provocare perdite specialmente all'inizio del giorno e al crepuscolo, in caso di condizioni di visibilità scarsa e nel caso di alcune specie di uccelli che migrano di notte.

Il rischio di collisione è molto elevato nelle zone in cui le linee elettriche intersecano le rotte di migrazione degli uccelli e/o nelle aree di sosta e di svernamento di uccelli migratori.

La folgorazione concerne soprattutto gli uccelli che sostano o nidificano sui sostegni. Gli uccelli possono provocare cortocircuiti o messa a terra se si posano sulle mensole o sui conduttori. I tralicci dell'alta tensione sono costruiti in modo che, di regola, non vi sia rischio di folgorazione per i volatili. La morte sopraggiunge in seguito a cortocircuito se l'uccello tocca simultaneamente due conduttori percorsi da tensione diversa, in seguito a dispersione verso terra se l'uccello viene in contatto contemporaneamente con un conduttore percorso da corrente e il sostegno messo a terra. Per la cicogna bianca e il gufo reale la morte per folgorazione è una delle più frequenti cause note di morte, oltre alle Cicogne e agli Strigidi ciò riguarda anche i Corvi e i Rapaci diurni (dati bibliografici da uno studio eseguito dalla Associazione delle Aziende elettriche Svizzere AES).

Va evidenziato che l'unico elettrodotto in progetto, nell'area di Aurisina, ha lunghezza limitata (in totale due campate, con lunghezza complessiva di 310 m); esso si dispone ortogonalmente alle due linee AV esistenti (un elettrodott FS, su cui si realizza l'allacciamento, ed un elettrodotto Terna) e non si pone lungo linee migratorie. Pur considerando che la laguna di Grado e la laguna di Marano rappresentano importanti aree di sosta per numerose specie di uccelli, considerando la notevole distanza che separa queste aree dall'elettrodotto in progetto e la ridotta estensione di quest'ultimo, è possibile ritenere che non vi saranno impatti diretti significativi sull'avifauna connessi con la formazione della nuova linea elettrica.

5.3.3 Ecosistemi

La costruzione della linea ferroviaria comporta in determinati tratti la sottrazione di vegetazione, e di conseguenza la modificazione di habitat; considerate le caratteristiche del tracciato, si tratta di un impatto limitato alle sole zone dove la linea attraversa la pianura coltivata e, una volta penetrata nel territorio carsico, nei brevi tratti dove non corre in galleria.

Di seguito viene effettuata l'analisi delle interferenze evidenziate lungo il tracciato, sottolineando le principali interazioni che vengono a determinarsi sulla componente a seguito dell'esercizio della linea.

5.3.3.1 Analisi delle interferenze sulla componente

In linea generale il tracciato attraversa allo scoperto gli ambienti caratterizzati da più elevato grado di antropizzazione, costituiti dalla zona della pianura alluvionale dell'Isonzo, mentre percorre per lo più in galleria gli ambiti di maggior pregio ambientale della zona del Carso, dove si riscontra la presenza degli ambiti di maggiore qualità ecologica.

In relazione all'interruzione della continuità degli habitat naturali e dei corridoi ecologici si rileva che il tracciato non determina modifiche significative rispetto allo stato attuale; nell'ambito della pianura dell'Isonzo, la nuova

linea ferroviaria viene a trovarsi all'interno di un territorio già interessato da elevata antropizzazione e da importanti linee infrastrutturali dove, dunque, non sono rilevati ecosistemi naturali.

Nell'ambito del territorio carsico la continuità degli habitat naturali e dei corridoi ecologici è assicurata dagli ampi tratti in galleria naturale, ulteriormente rafforzati dal ripristino vegetazionale previsto sulla copertura dei tratti in galleria artificiale.

Tratto km 1+600 – km 7+500

In questo tratto il tracciato attraversa l'ampia zona della pianura alluvionale, in cui gli elementi di naturalità risultano fortemente ridotti e prevalentemente localizzati nelle zone limitrofe alla fascia golenale del fiume Isonzo; la linea ferroviaria AV in progetto si sviluppa in affiancamento alla linea storica Venezia-Trieste, mantenendosi a sud dell'aeroporto di Ronchi dei Legionari, attraversando un territorio intensamente antropizzato in cui le superfici a vegetazione naturale o seminaturale sono conservate esclusivamente lungo i corsi d'acqua, sostituite dalle superfici coltivate, dalle aree edificate di tipo residenziale e commerciale, dalle aree industriali.

Le numerose alterazioni derivanti dalla pressione antropica hanno determinato sulle aree libere l'insediamento di una vegetazione assai lontana dallo stadio climax, legata alle attività agricole, alla flora di sostituzione più tipica degli ambiti di pianura (in particolare *Robinia pseudacacia*), alla flora esotica ornamentale tipicamente introdotta nelle aree urbanizzate; non si riscontra la presenza significativa di elementi di tipo naturale neanche lungo il corso del Canale dei Dottori, il cui alveo artificializzato risulta privo di copertura vegetale significativa.

Lungo il corso dell'Isonzo, al contrario, si mantengono habitat igrofili che manifestano tuttora un discreto valore ecologico.

L'analisi degli ecosistemi individuati sull'area esaminata evidenzia i seguenti caratteri territoriali:

- la maggior parte del territorio presenta una connotazione prevalente di tipo rurale rappresentata significativamente da aree agricole di importante estensione;
- l'impatto determinato dall'attività agricola è relativamente intenso, conseguenza degli elevati input di energia necessari per la conduzione di attività cerealicole intensive;
- il sistema rurale delle siepi e dei filari campestri è assai limitato e non concorre a migliorare il valore ecologico del territorio; la presenza di aree a vegetazione arborato-arbustiva è per lo più limitata alle fasce ripariali dell'Isonzo, lontane dalle aree direttamente interessate dal progetto;
- nell'occupazione permanente del suolo è da evidenziare la presenza di importanti infrastrutture viarie che limitano gli spostamenti della fauna, costituiscono cesura negli ecosistemi e tendono a formare aree intercluse con limitazioni di utilizzo.
- l'insieme degli elementi umidi, di origine naturale o artificiale, rende alcune aree limitate relativamente interessanti per la fauna ed in particolare per l'avifauna, tuttavia le caratteristiche quantitative e qualitative che li contraddistinguono sono limitatamente in grado di innalzare il valore ecologico del territorio;

Sulla base di tali considerazioni, si ritiene che in questo tratto la modificazione degli habitat non comporti impatti rilevanti sui sistemi ecologici presenti, poiché gli habitat coinvolti presentano un grado di naturalità mediamente basso.

Tratto km 7+600 – km 13+395

Il tratto si sviluppa in parte in superficie e in parte in galleria, attraversando ambiti vegetazionali che conservano elementi naturali significativi, quali praterie termofile, querceti, pinete, cespuglieti, zone umide; nelle zone di superficie, in particolare, verranno interessate le vegetazioni dei prati aridi submediterranei orientali e dei

rimboschimenti a conifere, oltre a zone di querceto a roverella; inoltre, la realizzazione della linea ferroviaria interesserà brevi tratti di gallerie a salice bianco e di cespuglieti medio europei.

Da prog. 7+600 a prog. 7+825: in questo tratto la nuova linea ferroviaria attraversa situazioni di naturalità interamente impegnate dall'ecosistema della landa carsica, che viene interessata e soppressa per 180 ml; la realizzazione della nuova linea vi interferirà in maniera diretta, tuttavia non significativa considerata l'esiguità della superficie.

Da prog. 8+378 a prog. 9+320: in questo tratto la nuova linea ferroviaria interviene nuovamente sulla landa carsica, interessata e soppressa per 660 ml; oltre a questa, vengono coinvolti nelle opere un ecosistema dei boschi di conifera per la misura di 160 ml e un ecosistema della boscaglia carsica per la misura di 120 ml; la realizzazione della nuova linea vi interferirà in maniera diretta e significativa.

Da prog. 9+475 a prog. 9+700: in questo tratto la nuova linea ferroviaria interessa l'ecosistema dei boschi di conifera, che verrà interessato per 230 ml; la realizzazione della nuova linea vi interferirà in maniera diretta, tuttavia non significativa considerata l'esiguità della superficie.

Da prog. 10+877 a prog. 11+384: in questo tratto la nuova linea ferroviaria attraversa un ecosistema delle zone umide per la misura di 90 ml e una boscaglia carsica per la misura di 210 ml; la realizzazione della nuova linea vi interferirà in maniera diretta e significativa sulla boscaglia carsica, non significativa per quanto concerne l'ecosistema delle zone umide.

Da prog. 11+744 a prog. 12+722: in questo tratto la nuova linea ferroviaria interessa formazioni di boscaglia carsica, prevedendone l'interruzione per 120 ml, oltre all'ecosistema della landa carsica per 440 ml; la realizzazione della nuova linea vi interferirà in maniera diretta e significativa.

Da prog. 12+926 a prog. 13+395: in questo tratto il nuovo tracciato affianca la linea ferroviaria esistente, interessando una zona di contatto tra la boscaglia carsica, per 320 ml, e l'ecosistema dei boschi di conifera, per 150 ml, in un contesto complessivo già parzialmente degradato da fenomeni di inquinamento floristico; la realizzazione della nuova linea vi interferirà in maniera diretta ma non significativa poiché prevede la sottrazione, peraltro limitata, di habitat già sottoposti ad alterazioni nella composizione specifica.

Tratto compreso tra le gallerie, dalla km 13+095 fino a Trieste

Dalla km 13+095 sino a Trieste il tracciato ferroviario si sviluppa pressoché interamente in galleria, uscendo in superficie solamente per brevi tratti.

Tra questi, l'area della la Stazione di Aurisina, in corrispondenza del quale si rileva la presenza di un ambito di boscaglia a carattere termofilo a dominanza di roverella a contatto con formazioni di cespugli termofili; in questo tratto il tracciato interferisce con l'ecosistema della boscaglia carsica per 130 ml, con l'ecosistema della landa carsica per 280 ml e con sistemi agricoli estensivi per 390 ml.

In prossimità del bivio di Aurisina, tra la prog. 22+800 e la prog. 24+500, sul tracciato AV si riscontra l'interferenza della linea con l'ecosistema della landa carsica per 690 ml e con la boscaglia carsica per 430 ml.

Opere connesse

Oltre a quanto sopra, riferito alla sola linea ferroviaria, si aggiungono le occupazioni di territorio dovute alle opere connesse; si fa riferimento ai seguenti elementi infrastrutturali:

- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 9+315, che impegnano l'ecosistema della landa carsica per 640 mq e l'ecosistema della boscaglia carsica per 130 mq;

- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 10+877, che impegnano l'ecosistema dei rimboschimenti artificiali di conifera per 500 mq;
- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 13+095, che impegnano rimboschimenti artificiali di conifera per 980 mq e l'ecosistema della boscaglia carsica per 710 mq;
- area di soccorso sanitario prevista alla progr. 13+095, che impegna rimboschimenti artificiali di conifera per 840 mq e l'ecosistema della landa carsica per 140 mq;
- area fabbricati tecnologici previste alla progr. 13+150, che impegna rimboschimenti artificiali di conifera per 500 mq;
- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 24+450, che impegnano l'ecosistema della boscaglia carsica per 740 mq;
- area di soccorso sanitario prevista alla progr. 24+450, che impegna l'ecosistema della boscaglia carsica per 1.500 mq;
- area di sosta per mezzi di soccorso e area fabbricati tecnologici previste alla progr. 22+800, presso lo snodo di Aurisina, che impegnano l'ecosistema della boscaglia carsica per 1.350 mq e l'ecosistema della landa carsica per 190 mq;
- viabilità da adeguare per l'accesso alla cabina MT e agli impianti tecnologici alla progr. Km 17+800, che impegna l'ecosistema della landa carsica per 640 ml e l'ecosistema della boscaglia carsica per 160 ml

Gallerie artificiali

Il sistema delle gallerie artificiali e degli imbocchi di galleria naturale impegnano direttamente la sottrazione di diversi tipi di vegetazione, determinando un interessamento diretto anche degli habitat che ne sono conseguenza.

In particolare, l'incidenza diretta derivante dalla costruzione dei manufatti sugli ecosistemi viene definita dalla tabella seguente:

Ecosistema della landa carsica	1076 ml
Ecosistema dei boschi di conifera	154 ml
Ecosistema della boscaglia carsica	1146 ml
TOTALE	**2376 ml**

Si tratta di una misura significativa, tuttavia pressoché interamente mitigata dalla restituzione di nuove vegetazioni, seppur esclusivamente arbustive, inserite sulla copertura artificiale delle gallerie.

Elettrodotti

La costruzione della linea prevede la realizzazione di nuove tratte di elettrodotto, necessarie per allacciare le sottostazioni elettriche; il progetto tecnico definisce che l'elettrodotto di alimentazione della SSE di Ronchi dei Legionari sarà interamente interrato, mentre presso Aurisina verranno realizzate due campate di un nuovo elettrodotto che andrà a collegarsi alla linea AT FS esistente.

Si ritiene che la costruzione di tale elettrodotto non comporti in ogni caso interferenze sulla componente Ecosistemi.

5.4 Definizione degli interventi di mitigazione

5.4.1 Vegetazione

Gli interventi di mitigazione ambientale vengono finalizzati al contenimento degli impatti procurati dalla nuova linea ferroviaria sulla componente, intervenendo con nuove piantagioni in tutte le situazioni che lo rendono possibile; si tratta, infatti, di individuare lungo la linea gli spazi disponibili per introdurre vegetazione che possa assolvere alle necessità paesaggistiche e naturalistiche di cui necessita il progetto.

Gli interventi, per quanto limitati, si pongono per obiettivo la restituzione di qualità paesaggistica e di qualità naturalistica, espressa attraverso il recupero della biodiversità, il miglioramento della funzionalità delle reti ecologiche, la formazione di nuovi habitat seminaturali; con tali finalità il programma di mitigazione ambientale si esprime attraverso la formazione di macchie boscate e di elementi arbustivi disposte a siepe.

Le macchie boscate

In corrispondenza del nodo ferroviario di Monfalcone vengono individuate due ampie aree intercluse rimaste ritagliate tra le diverse linee, attualmente in gran parte sede di binari da dismettere, che divengono oggetto di recupero ambientale con macchie boscate; si pensa, infatti, di poter intervenire su quelle aree nel rispetto delle norme di sicurezza della linea ferroviaria, introducendo cortine di vegetazione arborato-arbustiva.

Si fa riferimento ad un'Area nord, estesa per circa 7.100 mq, e ad un'Area sud, estesa per circa 18.300 mq.

Una terza area adiacente è quella che verrà occupata dal cantiere base, delimitata dal canale dei Dottori e dalla rilocazione del binario pari della linea storica. Tale area ha un'estensione di circa 12.500 mq.

Per la formazione delle macchie boscate si prevede l'introduzione della vegetazione forestale mesofila di natura autoctona, rappresentata dal consorzio floristico del querco-carpineto; si farà ricorso ad un impianto a densità elevata, con utilizzo congiunto di specie a rapido accrescimento, in grado di raggiungere in tempi brevi stature considerevoli, e di specie dalla chioma densa e robusta ma di più lento accrescimento ed efficaci solo in un secondo tempo.

L'inserimento delle specie a più rapido accrescimento consente di sfruttare le capacità di preparazione del suolo, accelerando notevolmente l'affermazione del bosco; le piante che sviluppano su più livelli garantiscono l'arricchimento in humus e per l'effetto parzialmente ombreggiante procurato dalle chiome agiscono con immediati effetti positivi sull'accrescimento delle piante di statura inferiore, che restano protette dalle forti condizioni di calura estiva e si trovano a vegetare in condizioni di suolo fresco e libero dalle erbe infestanti.

A rapido accrescimento, seppur con caratterizzazione diversa, sono da considerarsi *Populus alba, Ulmus minor e Fraxinus excelsior;* le specie a più lento accrescimento (*Quercus robur, Carpinus betulus, Acer campestre*) avranno una dimensione a 5 anni di lieve capacità mascherante, tuttavia contribuiranno con l'intreccio della loro vegetazione a mantenere un forte grado di copertura nello strato inferiore.

Una importante componente arbustiva costituirà lo strato inferiore, disposta in modo particolare lungo il margine delle aree, a definire frange di vegetazione bassa, densa e compatta.

Le macchie boscate verranno formate con la vegetazione tipica di un assetto floristico posto in condizioni di suolo fresco e profondo, ricorrendo all'applicazione della vegetazione climax propria delle foreste insediate nella pianura alluvionale dell'Isonzo, ascrivibile al *Querco-carpinetum* tipico:

Specie arborea	%	Specie arbustiva	%
Fraxinus excelsior	10	*Corylus avellana*	10
Populus alba	10	*Crataegus monogyna*	10
Quercus robur	10	*Cornus mas*	10
Carpinus betulus	10	*Ligustrum vulgare*	10
Acer campestre	5	*Euonymus europaeus*	5
Ulmus minor	5	*Cornus sanguinea*	5
	50		50

Si ritiene corretto mettere a dimora piantine di misura forestale, ossia non più alte di 120 cm; il desiderio di ottenere un'efficace copertura del suolo rende opportuna la scelta di un sesto di impianto relativamente fitto che consenta nello stesso tempo la meccanizzazione delle operazioni di manutenzione; si prevede in questo senso il disegno di filari distanti tra loro 3 metri, su cui le piantine risultino tra loro distanti 1,5 metri (1 pianta ogni 4,5 mq) e in posizione sfalsata rispetto alla fila attigua.

Uno schema di questo tipo permette di giungere in tempi brevi alla costituzione di un ambiente più vicino a quello reale del bosco, anche sotto il profilo microclimatico, evitando la realizzazione di un prato alberato che si otterrebbe facendo uso di sesti di impianto più spaziati.

Per mascherare il meglio possibile la regolarità dell'impianto (comunque necessaria per una logica impostazione dei lavori di piantagione e di manutenzione) le file non saranno rettilinee ma ad andamento sinusoidale; la semina di un prato a perdere di ridotta taglia sotto i rimboschimenti alleggerisce le operazioni di manutenzione e conferisce nello stesso tempo un effetto estetico migliore.

Le siepi arbustive

Lungo numerosi tratti della nuova infrastruttura ferroviaria il risultato migliore in termini di mitigazione ambientale viene raggiunto introducendo cortine vegetazionali esclusivamente arbustive, in grado di coniugare le funzioni protettive con funzioni più strettamente paesaggistiche, mantenendo sempre i connotati forestali della vegetazione autoctona.

Viene formato in questo modo un arbusteto lineare di protezione, inserito in posizione immediatamente esterna alla recinzione, in grado di mitigare i disturbi percettivi generalizzati procurati in particolare dalle barriere antorumore e con ulteriore funzione di cucitura verso gli elementi di naturalità presenti sul territorio.

Gli spazi disponibili rendono possibile il solo inserimento di siepi in fila singola, sviluppate esclusivamente in senso lineare; per la stessa ragione si ritiene opportuno utilizzare specie esclusivamente arbustive, più contenute nello sviluppo e meglio adatte per un mascheramento al suolo; per ottenere un rapido ed efficace risultato in termini percettivi verranno sempre scelte piantine in misura forestale, disposte alla distanza di 1,5 metri lineari.

Per la scelta delle specie arbustive ci si riferisce al quadro vegetazionale potenziale autoctono, modificandone le definizioni in funzione delle differenti condizioni stazionali, distinguendo le due tipologie fondamentali della vegetazione della pianura isontina e della vegetazione propria del climax carsico.

Nel primo caso viene presa a modello la vegetazione mesofila climax del querco-carpineto, propria dei suoli alluvionali della pianura dell'Isonzo, individuando solamente le specie cespugliose distribuite sui margini soleggiati:

Specie arbustiva	%	Specie arbustiva	%
Crataegus monogyna	15	*Euonymus europaeus*	15
Cornus mas	15	*Viburnum lantana*	10

Ligustrum vulgare	*15*	*Cornus sanguinea*	*10*
Prunus spinosa	*15*	*Corylus avellana*	*5*
			100

Nel secondo caso viene presa a modello la vegetazione climax del bosco di carpino nero e roverella, che dà luogo alle formazioni termofile proprie della boscaglia carsica, individuando solamente le specie cespugliose distribuite sui margini soleggiati:

Specie arbustiva	%	Specie arbustiva	%
Cotinus coggygria	*15*	*Crataegus monogyna*	*10*
Prunus mahaleb	*15*	*Prunus spinosa*	*10*
Viburnum lantana	*15*	*Cornus mas*	*10*
Ligustrum vulgare	*10*	*Corylus avellana*	*5*
Coronilla emerus	*10*		
			100

La vegetazione mesofila del querco-carpineto verrà utilizzata nella formazione delle siepi campestri previste nei seguenti casi:

WBS	Localizzazione intervento	Pk inizio	Pk fine	Lunghezza (ml)
IA-01	VE-TS Pari	1+807	1+807	70
IA-03	VE-TS Dispari	2+057	2+407	350
IA-04	VE-TS Pari	2+300	2+400	100
IA-05	NI 04 lungo cavalcaferrovia	3+250	3+650	450 x 2
IA-06	VE-TS Pari	5+050	5+250	200
IA-07	VE-TS Dispari	5+850	6+100	250

La vegetazione termofila del querceto di carpino nero e roverella verrà utilizzata nella formazione delle siepi campestri previste nei seguenti casi:

WBS	Localizzazione intervento	Pk inizio	Pk fine	Lunghezza (ml)
IA-13	VE-TS AV Dispari	8+378	9+315	905
IA-14	VE-TS AV Pari	8+378	9+315	920
IA-18	VE-TS AV Dispari	9+475	9+700	225

WBS	Localizzazione intervento	Pk inizio	Pk fine	Lunghezza (ml)
IA-19	VE-TS AV Pari	9+475	9+700	225
IA-22	VE-TS AV Dispari	11+173	11+384	210
IA-23	VE-TS AV Pari	11+173	11+384	210
IA-25	VE-TS AV Dispari	11+744	11+998	255
IA-26	VE-TS AV Pari	11+744	11+998	255
IA-27	VE-TS AV Dispari	12+348	12+500	150
IA-28	VE-TS AV Pari	12+348	12+500	150
IA-29	VE-TS AV Dispari	12+600	12+722	120
IA-30	VE-TS AV Pari	12+600	12+722	120
IA-35	VE-TS AV Dispari	12+926	13+095	175
IA-36	VE-TS AV Pari	12+926	13+095	140
IA-45	Interconnessione Aurisina Pari	0+800	1+224	410
IA-46	Interconnessione Aurisina Pari	0+000	0+980	910
IA-47	VE-TS AV Dispari	22+770	23+100	300
IA-48	Interconnessione TS Villa Opicina	1+500	1+700	170
IA-49	VE-TS AV Dispari	23+692	23+992	225
IA-50	Interconnessione TS Villa Opicina	1+650	1+700	50
IA-51	VE-TS AV Pari	23+882	23+992	110
IA-52	VE-TS AV Dispari	24+035	24+500	425
IA-53	VE-TS AV Pari	24+035	24+500	435
IA-54	Interconnessione TS Villa Opicina	2+400	2+600	225
IA-55	Interconnessione TS Villa Opicina	2+400	2+600	240

Gli arbusteti termofili

Nel caso delle gallerie artificiali, il progetto di costruzione prevede necessariamente l'eliminazione dell'intera copertura vegetazionale ed il successivo ripristino sulla nuova copertura, adeguatamente completata da riporto di terreno sopra la soletta.

Si tratta in questi casi di provvedere alla chiusura della ferita procurata dagli interventi sulla vegetazione esistente con nuove piantagioni, seguendo logiche di rinaturalizzazione che devono prevedere l'utilizzo delle stesse specie sottratte; particolare accorgimento che si vuole, tuttavia, tenere in considerazione è la piantagione di sole specie arbustive, di statura contenuta, tale da non determinare nel tempo alcuna interferenza con le coperture.

Anche in questo caso viene presa a modello la vegetazione climax del bosco di carpino nero e roverella, che dà luogo alle formazioni termofile proprie della boscaglia carsica, individuando solamente le specie cespugliose distribuite sui margini soleggiati; in particolare, vengono ritenute preminenti le specie pioniere, individuate in *Cotinis coggygria* e *Prunus mahaleb*.

Specie arbustiva	%	Specie arbustiva	%
Cotinus coggygria	15	*Rosa canina*	10
Prunus mahaleb	15	*Prunus spinosa*	10
Viburnum lantana	10	*Cornus mas*	10
Ligustrum vulgare	10	*Crataegus monogyna*	5
Coronilla emerus	10	*Corylus avellana*	5
			100

Occorre considerare che alcune gallerie artificiali vengono scavate a cielo aperto e successivamente completamente ritombate (GA02, GA04, GA05, GA06, GA09, GA13, GA18); su queste è possibile procedere alla piantagione dell'intera superficie.

Altre gallerie artificiali, per quanto lunghe, fungono da imbocco alle gallerie naturali (GA03, GA07, GA08, GA10, GA11, GA12, GA14, GA16); su queste è possibile procedere alla piantagione della copertura ad eccezione degli ultimi 10-15 metri, che rimarranno forzatamente scoperti.

Di conseguenza, gli arbusteti termofili tipici del bosco di carpino nero e roverella verranno inseriti sulla copertura dei manufatti nel modo seguente:

WBS	Localizzazione intervento	Pk inizio	Pk fine	Lunghezza (ml)
IA-09	UD-TS - GA 01	0+640	1+290	660
IA-11	VE-TS Dispari - GA 02	7+611	8+075	495
IA-12	VE-TS AV - GA 05	7+825	8+378	550
IA-15	VE-TS Dispari - GA 03	8+800	8+871	70
IA-16	VE-TS Dispari - GA 04	9+237	9+290	55
IA-17	VE-TS AV - GA 06	9+315	9+475	160
IA-20	VE-TS AV - GA07	9+700	9+775	75
IA-21	VE-TS AV - GA08	10+850	10+877	25
IA-24	VE-TS AV - GA 09	11+384	11+744	360
IA-31	VE-TS AV - GA 10	12+722	12+775	50
IA-32	VE-TS AV - GA 10	12+722	12+775	50
IA-33	VE-TS AV - GA 11	12+880	12+926	45

WBS	Localizzazione intervento	Pk inizio	Pk fine	Lunghezza (ml)
IA-34	VE-TS AV - GA 11	12+880	12+926	45
IA-37	VE-TS AV - GA 12	13+095	13+150	55
IA-38	VE-TS AV - GA 12	13+095	13+150	55
IA-39	VE-TS AV - GA 13	17+675	17+950	275
IA-40	VE-TS AV - GA 13	17+675	17+950	275
IA-41	VE-TS AV - GA 14	22+685	22+800	115
IA-42	VE-TS AV - GA 14	22+685	22+800	115
IA-43	Interconnessione Aurisina Pari - GA 16	0+700	0+800	100
IA-44	Interconnessione Aurisina Dispari - GA 16	1+482	1+557	75
IA-56	VE-TS AV - GA 18	24+477	25+052	575

Il filare di cipresso

In corrispondenza della prog. 1+807, trasversalmente alla linea e a nord della ferrovia, a cornice di un breve tratto della strada Turriaco-Pieris viene riqualificato il viale di ingresso al cimitero, da arricchire su entrambi i lati con piante di cipresso (*Cupressus sempervirens*) disposte in filare ad interasse di 12 metri, su entrambi i lati.

Dovranno essere utilizzate alla piantagione piante a pronto effetto, di statura non inferiore a 4 metri.

Intervento: formazione di filare in doppia fila 60 ml x 2

5.4.2 Fauna

Gli interventi di mitigazione consistono nella realizzazione di interventi indirizzati al recupero ambientale delle aree interessate dalla nuova infrastruttura e al suo migliore inserimento nel paesaggio locale; gli interventi di mitigazione, inoltre, vengono progettati a supporto di misure ipotizzate per la mitigazione di altre componenti, come per esempio le strutture di mascheramento delle barriere antirumore o delle opere intrusive nel paesaggio.

Per quanto riguarda la fauna, tali interventi risalgono indirettamente al recupero della funzionalità del sistema ecologico, da attuarsi con le opportune piantagioni; di tipo diretto sono da considerarsi esclusivamente gli elementi indirizzati alla salvaguardia delle popolazioni avifaunistiche che possono transitare sul territorio, interferito dalle linee di elettrodotto.

5.4.2.1 Elettrodotti

Per quanto concerne gli elettrodotti previsti dal progetto, nonostante il loro impatto sia stato valutato non rilevante, per evitare eventuali collisioni è previsto l'utilizzo di marcature dei fili di terra e dei conduttori con spirali chiare o marcature bianco-nere a forte contrasto, che possono rendere i fili maggiormente visibili; per evitare la folgorazione, i conduttori vanno a trovarsi a una distanza minima di 140 cm. I sostegni più pericolosi sono infatti quelli costruiti in modo che i conduttori passino al di sopra della mensola o in cui le morsetterie sotto tensione si elevano al di sopra delle teste dei sostegni.

5.4.2.2 Monitoraggio faunistico

La costruzione della linea ferroviaria comporterà modificazioni dell'ecosistema, della vegetazione e della flora sia sulle aree limitrofe la linea sia sulle aree di cantiere; per valutare il verificarsi di situazioni di degrado diviene, di conseguenza, necessario provvedere al monitoraggio della fauna potenzialmente soggetta a disturbi presente lungo la linea, in modo da prevenirne eventuali danni irreversibili.

L'attività di monitoraggio deve prevedere una caratterizzazione *ante operam* delle popolazioni ritenute rappresentative e potenzialmente soggette ad impatto, in modo da definirne lo stato attuale; durante la realizzazione delle opere, inoltre, dovranno essere eseguite precise campagne di monitoraggio.

Le specie per cui si ritiene importante prevedere un piano di monitoraggio sono individuate tra i chirotteri che vivono nelle grotte della zona carsica; nel presente studio, infatti, non è stato possibile valutare gli impatti su queste specie, anche alla luce del fatto che non sono noti dati di dettaglio sulla loro distribuzione all'interno delle cavità carsiche. Tuttavia, è possibile che queste specie restino influenzate dal rumore e dalle vibrazioni prodotte dall'opera, sia in fase di cantiere che in fase di esercizio.

Per questa ragione si propone l'attivazione di una campagna di monitoraggio distinta nelle 3 fasi *ante*, corso e *post operam*, da attuare nelle cavità accessibili dall'esterno situate nella fascia ristretta lungo il tracciato. Tali attività esplicitano puntualemente quanto riportato al Quadro Progettuale par. 7.3.8 del presente Studio di Impatto Ambientale.

Nel dettaglio, si tratta delle seguenti cavità:

- Cavernetta a SW di S. Pelagio. N° Cat. Reg. 1557, galleria;
- Grotta presso Aurisina. N° Cat. Reg. 3945, galleria;
- Grotta Sorpresa. N° Cat. Reg. 4399, cavità complessa;
- Grotta Vittoria. N° Cat. Reg. 526, cavità complessa.

Si prevede il monitoraggio particolare delle seguenti specie di chirotteri, inseriti nella Direttiva 79/409/CEE:

- *Barbastella barbastellus*;
- *Miniopterus schreibersi*;
- *Rhinolophus blasii*;
- *Rhinolophus euryale*;
- *Rhinolophus ferrumequinum*;
- *Rhinolophus hipposideros*.

Gli studi relativi alla conservazione dei chirotteri prevedono sempre la stima della consistenza numerica delle popolazioni presenti in un determinato territorio; solamente possedendo questa informazione è infatti possibile stabilire quali sono le specie maggiormente minacciate e seguirne gli andamenti demografici nel tempo.

Un approccio utile può essere rappresentato dalla stima dell'abbondanza relativa ricavabile dai dati raccolti con le catture nelle aree di alimentazione o con i rilevatori ultrasonori; i censimenti possono essere condotti anche presso i *roost*, che rappresentano la tipologia di rilevamento più frequentemente adottata nelle indagini sulla chirotterofauna.

I rifugi dei chirotteri sono tecnicamente definiti *roost* secondo una terminologia anglosassone ormai in uso anche in Italia; la parola, traducibile come "posatoio", definisce un qualsiasi luogo utilizzato dai chirotteri per il riposo.

Il conteggio degli individui presenti nei *roost* figura tra le metodologie più utili per stimare la consistenza numerica delle popolazioni di chirotteri in una data area. Molte specie sono altamente gregarie e alcuni roost possono non di rado ospitare migliaia di individui.

5.4.3 Ecosistemi

Le opere di mitigazione riferibili alla componente Ecosistemi fanno riferimento a quanto già previsto per gli aspetti vegetazionali, alle quali si rimanda.

5.5 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte negli aspetti ambientali in esame sono costituite dagli enti pubblici preposti alla tutela dell'ambiente, dalle associazioni ambientaliste di livello locale, dai cittadini residenti in prossimità delle opere in progetto, il cui rapporto con gli elementi naturali potrà essere modificato a seguito dell'inserimento dell'opera.

Dato l'elevato livello di qualità ambientale di alcune delle aree interessate dal tracciato, si ritiene che la componente in oggetto sarà di estremo interesse per tutte le parti esterne sopra indicate.

5.6 Bibliografia

A.A.V.V., 1958 – Conosci l'Italia, La Flora - Touring Club Italiano

FENAROLI L. – GAMBI G., 1976 – Alberi – Museo Tridentino di Scienze Naturali

GELLINI R.,1990 – Botanica forestale – CEDAM – Padova

PIGNATTI S., 1982 – Flora d'Italia – EDAGRICOLE

PIGNATTI S., 1994 – Ecologia del paesaggio – UTET

PIGNATTI S., 1998 – I boschi d'Italia, ginecologia e biodiversità – UTET

MARCHIORI S., SBURLINO G. (1996) Present vegetation of the Venetian plain. Allionia, 34: 165-180

FERRARI C., PIROLA A. & SARTORI F., 1988. La situazione della flora e della vegetazione in Europa. Natura e Mont., 35 (3).

FEOLI, CHIAPELLA, POLDINI "Prati e pascoli del Friuli su substrati basici" Studia Geobotanica, 13: 3-140 (1993)

POLDINI L. - 1985 - L'Asaro-Carpinetum betuli Lausi 64 del Carso nordadriatico. Studia Geobot. 5: 31-38

MARTINI F. (1987) L'endemismo vegetale del Friuli Venezia Giulia. Biogeographia 13: 339-399

FAVRETTO D., POLDINI I.(1985) The vegetation in the dolinas of the Karst Region near Trieste. Studia Geobotanica 5: 5-18

POLDINI L., GIOTTI G., MARTINI F., BUDIN S. (1984) Introduzione alla flora e alla vegetazione del Carso. Lint. Trieste. 198 pp

POLDINI L. (1985) L'Asaro-Carpinetum betuli Lausi 64 del Carso Nordadriatico. Studia Geobotanica, 5: 31-38

POLDINI L. (1989) La vegetazione del Carso isontino e triestino. Ed. Lint: 1-313

POLDINI L. (1995) La classe Festuco-Brometea nell'Italia Nord-orientale. Fitosociologia 30: 47-50

POLDINI L. (1996) Vegetation outlines in Friuli Venezia Giulia. Allionia 34 (pp.277-285)

POLDINI L., ORIOLO (1994) La vegetazione dei prati da sfalcio e dei pascoli intensivi (Arrhenateretalia e Poo-Trisetalia) in Friuli. Studia geobotanica 14: suppl. 1: 3-48.

POLDINI, PERTOT (1989) Criteri di indicizzazione del valore naturalistico sull'esempio del Carso triestino-goriziano. Inf. Bot. Ital. 21 (1-3): 133-151

POLDINI, VIDALI (1995) Prospetto sistematico della vegetazione del Friuli Venezia Giulia. Atti Conv. Lincei. XI Giornata dell'Ambiente. Convegno sul tema "La vegetazione italiana" Roma, 5 giugno 1993. Acc. Naz. Lincei 115.

POLDINI, VIDALI (2001) Lista bibliografica. Fitosociologia 38 (2) Suppl. 1: 13-51.

AA.VV. 1976. Le foci dell'Isonzo. Tip. Artigiana Saccardo, Tricesimo.

A.A.VV. 1981. Studio e progettazione naturalistica del territorio del comune di Duino-Aurisina: relazione naturalistica. Regione Aut. Friuli-Venezia Giulia: 1-52.

A.A.VV. 1985. Studio naturalistico del Carso riestino e goriziano. Reg. Aut. Friuli-Venezia Giulia, Univ. di Trieste: 1-363.

AA.VV. 1991. Inventario faunistico regionale permanente. Primi risultati relativi al periodo riproduttivo 1986-1990. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia. Udine: 1-231.

AA.VV. 1994 (a cura di Fr. Perco). La Fauna del Friuli occidentale. Amm. Provinciale Pordenone. Grafiche GEAP. Pordenone.

AA.VV. 2001. Studio sull'avifauna ittiofaga della fascia costiera del Friuli-Venezia Giulia con particolare riferimento alla laguna di Grado e Marano. Analisi delle problematiche socio-economiche. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia. Az. Parchi e Foreste Regionali. Serv. Conserv. Natura. Stampa Selekta, Udine.

AA. VV. 2007. Piano d'azione per la conservazione dell'Orso bruno nelle Alpi centro-orientali – PACOBACE. Ist. Naz. Fauna Selvatica, Documenti Tecnici, XX: 1-143.

AGNELLI P., MARTINOLI A., PATRIARCA E., RUSSO D., SCARAVELLI D. & Genovesi P., (a cura di), 2004. Linee guida per il monitoraggio dei Chirotteri: indicazioni metodologiche per lo studio e la conservazione dei pipistrelli in Italia. Quaderni di Conservazione della Natura; numero 19.

ASSOCIAZIONE DELLE AZIENDE ELETTRICHE SVIZZERRE AES 2009. Protezione degli uccelli sulle linee elettriche areree a corrente forte con tensioni nominali superiori a 1 kv. Seconda edizione rielaborata.

AZZOLINI M., KRAVOS K., PANZARIN L., PASSARELLA M. & SGORLON G. 2003. Risultati del censimento nazionale delle oche (generi *Anser* e *Branta*), febbraio 2003. Avocetta 27: 29.

BACCETTI N., SERRA L., TINARELLI R., UTMAR P., CHERUBINI G., KRAVOS K. & CASINI L. 1992. Nuovi conteggi di Limicoli costieri svernanti nelle zone umide adriatiche. Riv. ital. Orn. 62: 3-12.

BACCETTI N., DALL'ANTONIA P., MAGAGNOLI P., MELEGA L., SERRA L., SOLDATINI C. & ZENATELLO M. 2002. Risultati dei censimenti degli uccelli acquatici svernanti in Italia: distribuzione, stima e trend delle popolazioni nel 1991-2000. Biol.Cons. Fauna, 111: 1-240.

BARBINA A. 1982. Uccelli con noi. Problemi dell'avifauna nell'ambiente urbano. Regione Aut. Friuli-Venezia Giulia. Chiandetti. Udine.

BENSON P. 1982. Towards a conservation of our native Amphibians. Herptile 7: 13-18.

BENUSSI E. 1982. Nidificazione di Codibugnolo, *Aegithalos caudatus*, forma a testa bianca, nel Carso triestino. Riv. ital. Orn., 52 (1-2): 119-120.

BENUSSI E. 1983. Contributo allo studio dell'ornitofauna nidificante in Provincia di Trieste. Atti Civ. Mus. St. Nat., Trieste, XXXIV, 3: 127-141.

BENUSSI E. & PERCO Fa. 1984. Osservazioni eco-etologiche sull'Astore, *Accipiter g. gentilis*, nel Carso triestino. Gli Uccelli d'Italia, 9 (1-2): 3-25.

BENUSSI E. 1985. Osservazioni sulla presenza del Marangone minore (*Phalacrocorax pygmaeus*, Pallas) in Italia. Atti Civ. Mus. St. Nat., Trieste, XXXVII, 3: 255-259.

BENUSSI E. 1985. Ricerche ecologico-faunistiche nei biotopi umidi delle "Noghere Alte" (Comune di Muggia - Trieste). Indagine ornitologica. Atti Civ. Mus. St. Nat., Trieste, XXXVII, 1: 143-151.

BENUSSI E., FLAPP F. & MANGANI U. 1993. La nidificazione, in forma coloniale, di *Larus cachinnans michahellis* nell'area urbana della città di Trieste. Fauna, 3 (3): 91-96.

BENUSSI E. & MANGANI U. 1994. La popolazione urbana nidificante di *Larus cachinnans* nella città di Trieste. Dati preliminari sullo status e diffusione della specie. Atti VI Conv. Ital. Ornitologia, 498.

BENUSSI E., FLAPP F. & MANGANI U. 1994. La popolazione di *Larus cachinnans michahellis* nidificante nella città di Trieste. Avocetta, 18: 21-27.

BENUSSI E., GENERO F. & PURIC A. 1997. Distribuzione dell'Allocco degli Urali, *Strix uralensis macroura*, nel Friuli-Venezia Giulia, nella Slovenia occidentale e nell'Istria. Fauna, 4: 91-100.

BENUSSI E. 1997. Indagine su una popolazione di rapaci notturni (Strigiformes) dell'Italia nord-orientale. Falco, 12: 5-12.

BENUSSI E. 1998. La situazione faunistica dell'ambiente carsico nel territorio della provincia di Trieste. Atti Seminario Nazionale: "La molteplicità della Natura. Risorsa per l'Educazione ambientale e per il Turismo sostenibile". Provincia di Trieste, 37-47.

BENUSSI E. & BEMBICH L. 1998. Caratteristiche, *status* ed evoluzione della colonia urbana di *Larus cachinnans michahellis* nella città di Trieste. Annales, 13: 67-74.

BENUSSI E. & BRESSI N. 2000. Segnalazione di Allocco degli Urali, *Strix uralensis*, sul Carso triestino. Atti Museo Civ. St. Nat., Trieste, 48: 11-14.

BLANDFORD P.R.S. 1988 Biology of the polecat *Mustela putorius*: a literature review. Mammal Review, 17,155-198.

BOCCA M., 2006, Galliformi alpini, pressione antropica e misure di tutela. In Atti del Convegno "I Galliformi alpini, Torino, 2006, Regione Piemonte", 187-190.

BOITANI L., VINDITTI M. R., 1987 La Volpe rossa. Ed agricole, Bologna: pp. 241.

BOLDREGHINI P., SANTOLINI R., TINARELLI R., KRAVOS K., PERCO F., UTMAR P. & ZANUTTO I. 1997. Different Cormorant diets in two coastal wetands of the northern Adriatic Sea. Suppl. Ric. Biol. Selvaggina 26: 371-376.

BOLDREGHINI P., VOLPONI S., SANTOLINI R., CHERUBINI G. & UTMAR P. 1997. Recent trend of the Cormorant *Phalacrocorax carbo* population wintering in the Northern Adriatic, Italy. Ekologia Polska 45/1: 17-22.

BORDIGNON L. 1984. Limite settentrionale della distribuzione del Gruccione (*Merops apiaster*) in Italia. Risultati di un'inchiesta. Riv. Ital. Orn. 54 (3-4): 215-220.

BORGO A. 1998. Censimento della comunità di Accipitriformi, Falconiformi e Strigiformi di un settore delle Prealpi veneto-carniche e dati preliminari sulle preferenze ambientali. Boll. Mus. Civ. St. Nat. Venezia Suppl. 48: 74-77.

BREHM K., LUNEBURG H., THEEDE J. 1992. The first toad tunnel and drift fence system without interference of geomagnetic orientation of Amphibians. In Quad. Civ. Staz. Idrobiol., 19: 79-92.

BRESSI N., DOLCE S. 1999. Osservazioni di Anfibi e Rettili in grotta. Riv. Idrobiol., 38, 1/2/3.

BRICHETTI P. 1985. Guida degli Uccelli nidificanti in Italia. F.lli Scalvi Ed.. Brescia.

BRICHETTI P. 1985. Distribuzione attuale del Galliformi (Galliformes) in Italia. Atti sem. Biologia Galliformi. Arcavacata: 15-27.

BRICHETTI P. & FASOLA M. 1986. Distribuzione geografica degli Uccelli nidificanti in Italia, Corsica e isole maltesi. 4. Fam. Ardeidae (generi Nyxticorax, Ardeola, Egretta, Ardea). Ann. Mus. St. Nat. Brescia, 22: 41-102.

BRICHETTI P. 1988. Distribuzione geografica degli Uccelli nidificanti in Italia, Corsica e isole maltesi. 5. Aggiornamenti e rettifiche (Parti 1-4). Ann. Mus. St. Nat. Brescia, 24: 147-174.

BRICHETTI P. & FASOLA M., 1990 Distribuzione geografica degli Uccelli nidificanti in Italia, Corsica e isole maltesi. Ann. Mus. St Nat. Brescia, 22:41-102.

BRICHETTI P., DE FRANCESCHI P. & BACETTI N. (eds.), 1992 Fauna d'Italia. Aves I. Gavidae-Phasianidae. Calderini, Bologna.

BRICHETTI P. & CHERUBINI G. 1996. Popolazione di uccelli acquatici nidificanti in Italia. Situazione 1995. Avocetta, 20: 85-86.

BRICHETTI P. & GARIBOLDI A. 1997. Manuale pratico di ornitologia. Vol. 1. Ed. Edagricole. Bologna.

BRICHETTI P. A MASSA B., 1997 Check-list degli uccelli italiani aggiornata a tutto il 1996. Riv. ital. Ornt 68:129-152.

BRICHETTI P. & CHERUBINI G. 1997. Popolazione di uccelli acquatici nidificanti in Italia. Situazione 1996. Avocetta, 21: 218-219.

BRICHETTI P. & GARIBOLDI A. 1999. Manuale pratico di ornitologia. Vol. 2. Ed. Edagricole. Bologna.

BRICHETTI P., CHERUBINI G. & SERRA L. 2000. Uccelli acquatici nidificanti: 1997 e 1998. Avocetta, 24: 55-57.

BRICHETTI P. & GARIBOLDI A. L. 2002. Manuale di ornitologia 3. Ed. Edagricole. Bologna.

BRICHETTI P. & FRACASSO G. 2003. Ornitologia italiana. Vol. I-Gaviidae-Falconidae. Alberto Perdisa Ed., Bologna.

BULGARINI F., CALVARIO E., FRATICELLI F., PETRETTI F., SARROCCO S. (EDS) 1998 Libro rosso degli animali d'Italia. Vertebrati. WWF Italia, Roma.

CADAMURO A., FACCHIN G., 2003. La gestione venatoria dei Galliformi alpini nel Friuli Venezia Giulia, 2003. In Atti del seminario di Trento, "Galliformi di montagna, Associazione cacciatori della provincia di Trento", 35-42.

CANDOTTO S:, CASTELLANI R. & PARODI R. 2003. Nidificazione di una coppia di Albanella minore *Cyrcus pygargus* nella bassa pianura friulana, con la femmina e un giovane aventi piumaggio melanico. Avocetta 27:106.

CASTELLANI R., PARODI R. & PERCO F. 1985. Primo caso accertato di svernamento di Cigni selvatici *Cygnus cygnus* in Italia. Atti III Convegno Italiano di Ornitologia. Salice Terme: 249-250.

CAUGHIEY G. 1977 Analysis of vertebrate population. John Wiley ariti Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, IX: 1-234.

CESCHIA L. & PERCO F. 1996. Conservazione e sviluppo delle zone umide: Isola della Cona, Comune di Staranzano. Atti V Congresso Associazione Culturale Bisiaca. Staranzano: 21-44.

CHITTARO S, KRAVOS K., UTMAR P., VERGINELLA L., SPOTO M. & FERRERO E.A. 1999. Preliminary observations on daily and seasonal activity of the Shag and the cormorant population in the Gulf of Trieste. Waterbird Conservations and management. Waterbird Society, 23° Annual Meeting and Workshop. Grado.

DE FRANCESCHI P.F. 1997. Status della Pernice bianca in Friuli. Natura Alpina 48/2: 21-31.

DENTESANI B. 1997. La presenza e la nidificazione del Picchio rosso minore (*Picoides minor*) nel Friuli-Venezia Giulia. Fauna 4: 115-118.

DINETTI M. & FRAISSINET M. 2001. Ornitologia urbana. Ed. Calderini, Edagricole. Bologna.

DOLCE S., PICKL E. & BENUSSI E., 1982. Fauna di particolare interesse nell'ambito dei fenomeni carsici: proposta per una adeguata tutela. Atti V Conv. Reg. Speleol. del Friuli-Venezia Giulia, Amm. Prov. Trieste, 251-261.

DUMONT, A.-G., BERTHOUD, G., TRIPET, M.., SCHNEIDER, S., DÄNDLIKER, G., DUCOMMUN, A., MÜLLER, S. & M.. TILLE, 2000 - Interactions entre les réseaux de la faune et des voies de circulation. Manuel. Mandat de recherche 8/97 sur proposition de l'Union des professionnels suisses de la route (VSS). 194 S. + 1 CD.

FASCE P. & FASCE L. 1984. L'Aquila reale in Italia. Ecologia e conservazione. LIPU. Parma.

FASOLA M. & BRICHETTI P. 1993. Colonizzazioni recenti nell'avifauna italiana. Suppl. Ric. Biol. Selvaggina XXI: 51-65.

FELCHER L. & ZORZENON T. 1997. Osservazioni di Falco della Regina (Falco eleonore) nel Friuli-Venezia Giulia. Fauna, 4: 79-82.

FILACORDA S., ZACCHIGNA M., DENTESANI B., FABRO C. & SUSMEL P. 2003. Presenza di rapaci, diversità ornitica e vegetazionale nel Carso goriziano. Avocetta 27:108.

FLORIT F., DE FRANCESCHI P.F. & PARODI R. 1999. Effetti del riordino fondiario sull'avifauna nidificante di un ambiente rurale del medio Friuli. Avocetta 23: 173.

FORNASARI L., DE CARLI E., BRAMBILLA S., BUVOLI L., MARITAN E. & MINGOZZI T. 2002. Distribuzione dell'avifauna nidificante in Italia: primo bollettino del progetto di monitoraggio MITO2000. Avocetta 26: 59-115.

GALEOTTI P. & GARIBOLDI A. 1994. Territorial Behaviour and Habitat Selection by the Scops Owl *Otus scops* in a Karsic Valley (NE Italy). In: Meyburg e Chancellor (eds.) "Raptor Conservation Today". WWGBP, The Pica Press, 501-505.

GARIBOLDI A., RIZZI V. & CASALE F. 2000. Aree importanti per l'avifauna in Italia. LIPU, pp. 528.

GASPARO F. 1995. La fauna delle grotte e delle acque carsiche sotterranee della Venezia Giulia, stato delle ricerche e check list delle specie cavernicole. Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan". Vol. 32. pp. 17-42 ,Trieste.

GENERO F. & CALDANA M. 1997. L'Aquila reale (Aquila chrysaetos) nel Friuli-Venezia Giulia: status, distribuzione, ecologia. Fauna 4: 59-78.

GENGHINI M., 1994. I miglioramenti ambientali a fini faunistici. Istituto Nazionale per la Fauna Selvatica, Documenti Tecnici, n. 16

GOTTARDO E., LUISE R., ZORZENON T., OTA S. & FLORIT F. 2001. Il censimento del Re di quaglie *Crex crex* nel Friuli-Venezia Giulia nel 2000. Avocetta 25: 212.

GOTTARDO E., LUISE R., ZORZENON T., OTA S., DI GALLO M., FACCHIN G. & FLORIT F. 2003. Censimento del Re di quaglie *Crex crex* nel Friuli-Venezia Giulia negli anni 2001 e 2002.. Avocetta 27: 111.

GUZZON C. & UTMAR P. 1999. Prima nidificazione di Airone cenerino *Ardea cinerea* in Friuli-Venezia Giulia. Avocetta 23: 88.

GUZZON C. & UTMAR P. 1999. Censimento, scelta dell'habitat e densità della popolazione di Falco di palude *Circus aeruginosus* nidificante in Friuli-Venezia Giulia. Avocetta 23: 87.

GUZZON C. 2001. Ghiandaia marina *Coracias garrulus*: prima nidificazione in Friuli-Venezia Giulia. Avocetta 25: 216.

GUZZON C., KRAVOS K. & UTMAR P. 2001. Censimenti mensili di limicoli nelle zone umide costiere del Friuli-Venezia Giulia. Primi dati: anno 1999. Avocetta 25: 217.

GUZZON C., KRAVOS K. & UTMAR P. 2001. Monitoraggio dell'avifauna in Laguna di Marano (Udine), nelle adiacenti aree agricole e boschi planiziali (1997-1999). Avocetta 25: 218.

GUZZON C. 2003. Presenza del tarabuso *Botaurus stellaris* in periodo riproduttivo in Friuli-Venezia Giulia. Avocetta 27: 162.

GUZZON C., TOUT C.P. & UTMAR P. (a cura di), 2005. I censimenti degli uccelli acquatici svernanti nelle zone umide del Friuli Venezia Giulia, anni 1997-2004. Associazione Studi Ornitologici e Ricerche Ecologiche del Friuli Venezia Giulia (A.ST.O.R.E.-FVG). 'Centro Stampa' di A. Candido & F. Sganghero Snc – Monfalcone (GO).

GUZZON C. & UTMAR P. 2005. The importance of protected areas for breeding and wintering waterbirds in the coastal wetlands of Friuli Venezia Giulia (North-East Italy). In: AsOER (red.) – Avifauna acquatica: esperienze a confronto. Atti del I Convegno (30 aprile 2004, Comacchio). Tipografia Giari, Codigoro, pp. 66-67.

KRAVOS K., UTMAR P., VERGINELLA L. & SPOTO M. 2001. Il monitoraggio dell'avifauna del Golfo di Trieste. Avocetta 25: 219.

KRAVOS K., CANDOTTO S., GUZZON C. & UTMAR P. 2003. La presenza del Fischione *Anas penelope* nella fascia costiera del Friuli-Venezia Giulia (1989-2002). Avocetta 27: 163.

LAPINI L., DALL'ASTA A., DUBLO L., SPOTO M., VERNIER E., 1996. Materiali per una teriofauna dell'Italia nord-orientale (Mammalia, Friuli Venezia Giulia). Gortania. Atti Mus. Friul. St. Naturale 17 pp. 149-258

MERIGGI A. 1989. Analisi critica di alcuni metodi di censimento della fauna selvatica (Aves, Mammalia). Aspetti teorici ed applicativi. Ric. Biol. Selvaggina, 83:1-59.

MESCHINI E. & FRUGIS S. (Eds.) 1993. Atlante degli uccelli nidificanti in Italia. Suppl. Ric. Biol. Selvaggina, XX.

PANDINI W.1996. Monitoraggio permanente delle popolazioni di Lepre (*Lepus europaeus*) metodi di attuazione e utilizzo dei risultati. Relazione inedita Osservatorio Faunistico di Gorizia.

PARODI R., 1996. Piano Faunistico della Provincia di Gorizia. Amm. Prov. Gorizia pp. e allegati.

PARODI R. (red.) 1999. Gli uccelli della provincia di Gorizia. Pubblicazione Museo Friulano di Storia Naturale. Udine. N. 42: 1-356.

PARODI R., 1999 Gli uccelli della provincia di Gorizia. Pubbl. Museo Friul. Storia Nat., 42. Gestione Faunistica e Pianificazione Territoriale.

PARODI R., 2006. Check-list degli Uccelli del Friuli Venezia Giulia. Gortania, Atti Museo Friul. di Storia Nat., 28 (2006): 207-242.

PERCO F. 1993. Osservazioni recenti di Cigno minore (*Cygnus columbianus bewickii*) e Cigno selvatico (*Cygnus cygnus*) nel Friuli-Venezia Giulia. Fauna 3: 124-125.

Perco F. 1993. Prima segnalazione certa di Gobbo rugginoso (*Oxyura leucocephala*) nel Friuli-Venezia Giulia. Fauna 3: 128-129.

PERCO F. & UTMAR P. 1993. Gli Aironi nel Friuli-Venezia Giulia: situazione attuale e storica. Fauna 3: 63-76.

PERCO F. 1994. La conservazione e la gestione faunistica degli Anseriformi in Italia. Parte prima. Habitat 36: 20-31.

PERCO F. 1994. La conservazione e la gestione faunistica degli Anseriformi in Italia. Ultima parte. Habitat 38: 28-33.

PERCO F. 1994. La conservazione e la gestione faunistica degli Anseriformi in Italia. Parte seconda. Habitat 37: 24-30.

PERCO F. 1995. I censimenti faunistici. Ultima parte. Habitat 53: 23-36.

PERCO F. 1996. L'avifauna selvatica in Italia: una risorsa? Habitat 56: 49-53.

PERCO F. & UTMAR P. 1996. Ricostruzione della biodiversità ed ecoturismo compatibile: l'isola della Cona alle foci dell'Isonzo. In "L'avifauna degli ecosistemi di origine antropica". Monografia Associazione Studi Ornitologici Italia Meridionale. Napoli. N. 5: 158-160.

PERCO F. & UTMAR P. 1997. Il censimento degli Anatidi e della Folaga svernanti nel Friuli-Venezia Giulia (1988-1996). Fauna 4: 23-36.

PERCO F., CASSETTI P. & UTMAR P. 2000. Cormorani e marangoni in Italia e nel Friuli-Venezia Giulia (Aves, *Phalacrocoracidae*). Gortania 22: 291-338.

PERCO Fr., 1976. La situazione degli Ungulati nelle Venezie (pp. 297-329). In: AA. VV. "S.O.S. Fauna. Animali in pericolo in Italia". WWF, tip. Savini Mercuri, Camerino.

PETRUCCO R:, BENUSSI E., 1996. Piano Faunistico della Provincia di Trieste. Amm. Prov. Pordenone pp. e Allegati

PODLOUCKY R. 1989. Protection of Amphibians on road - examples and experiences from Lower Saxony, 15-28. In Amphibians and roads. Proceedings of the Toad Tunnel Conference, Rendsburg, Federal Republic of Germany, 7-8 January 1989. Edited by Langton T.E.S., Published by ACO Polymer Products Ltd SG17 5JS, England.

RASSATI G. & TOUT C.P. 2002. The Corncrake (*Crex crex*) in Friuli-Venezia giulia (North-eastern Italy)- Avocetta 26 : 3-6.

RASSATI G. 2003. Il Gufo reale *Bubo bubo* in un settore della Val Tagliamento (Alpi Carniche): dati preliminari. Avocetta 27: 36.

RASSATI G. 2003. Distribuzione del Picchio tridattilo *Picoide tridactylus* in Friuli-Venezia Giulia. Avocetta 27: 173.

RASSATI G. 2003. Distribuzione del Picchio cenerino *Picus canus* in Friuli-Venezia Giulia. Avocetta 27: 174.

RASSATI G. & RODARO P. 2003. Aspetti stazionali, caratteristiche vegetazionali e gestionali di alcuni siti riproduttivi del Re di quaglie *Crex crex* in Carnia (Alpi orientali, Friuli-Venezia Giulia). Avocetta 27: 175.

SCARAVELLI D. & UGARKOVIC M. 2003. Preliminary data on prey of *Bubo bubo* in Friuli-Venezia giulia and Croatia. Avocetta 27:103.

SCARTON F., VALLE R., GRUSSU M., RUSTICALI R., CORSO A. & UTMAR P. 1997. Nuovi dati sulla biologia riproduttiva della Volpoca, Tadorna tadorna, in Italia. Riv. ital. Orn. 67: 85-94.

SERRA L., MAGNANI A., DALL'ANTONA P. & BACCETTI N. 1997. Risultati dei censimenti degli uccelli acquatici svernanti in Italia, 1991-1995. Biol. Cons. Fauna, 101: 1-309.

SERRA L. & BRICHETTI P. 2000. Uccelli acquatici nidificanti: 1999. Avocetta 24:133-138.

SERRA L. & BRICHETTI P. 2002. Uccelli acquatici nidificanti: 2000. Avocetta 26:123-129.

SPAGNESI M. & SERRA L. (a cura di), 2005. Uccelli d'Italia. Quad. Cons. Natura, 22, Min. Ambiente - Ist. Naz. Fauna Selvatica.

SSBF (Société Suisse de la Biologie de la Faune, Ed.), 1999 - Faune, construction de routes et trafic. Coire.

The IUCN Species Survival Commission, 2008. 2007 IUCN Red List of Threatened Species. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources, http://www.iucnredlist.org. Sito visitato in data 23 giugno 2008.

TROCCHI V e RIGA F., 2005 I Lagomorfi in Italia. Linee guida per la conservazione e la gestione. Min. Politiche Agricole e Forestali-Istituto nazionale Fauna Selvatica, Documenti tecnici, 25:1-128.

TUCKER G. .M., Heath M. F., 1994 - Birds in Europe. Their Consevation Status. BirdLife International, Cambridge.

UFAFP et al., 1998 - Paesaggio Svizzero Concezione della Confederazione. Ufficio federale dell'ambiente, delle foreste e del paesaggio / Ufficio federale delle pianificazione del territorio (editori). Berna. 175 pagg.

UTMAR P. 1988. Il censimento della popolazione nidificante di Germano reale (*Anas platyrhynchos*) nelle principali zone umide del Friuli-Venezia Giulia. Suppl. Ric. Biol. Selvaggina 14: 81-87.

ZACCHIGNA M., DENTESANI B., & FILACORDA S. 2003. Relazioni tra avifauna e vegetazione di pascoli e lande nel Carso. Avocetta 27: 61.

ZUCCA P., DELOGU M., PESARO S. & MATTEDI S. 2003. Serratospiculum sp. in rapaci del genere *Falco*: indagine epidemiologica in Italia e prima segnalazione per il Friuli-Venezia Giulia. Avocetta 27:147.

6 VIBRAZIONI

6.1 Introduzione

6.1.1 Premessa

L'esercizio di una linea ferroviaria costituisce una potenziale fonte di impatto vibrazionale sui ricettori circostanti (edifici e persone al loro interno). Il metodo previsionale adottato in questo studio per la stima di tale impatto si basa su misure sperimentali (condotte in altri progetti) impiegate in una modellazione specifica del fenomeno di propagazione delle vibrazioni fino ai ricettori.

6.1.2 Struttura dello studio

La valutazione dei livelli vibrazionali indotti ai ricettori dal passaggio di un treno richiede, in linea di principio:

- La definizione di uno spettro in frequenza della sorgente (passaggio di un convoglio ferroviario) all'origine, in prossimità del binario.
- La definizione di una relazione di attenuazione (o di un algoritmo) che consenta di determinare, in funzione della geometria della sorgente, delle caratteristiche geotecniche dei terreni e della distanza del ricettore dalla sorgente, il livello vibrazionale al piede del ricettore in condizioni di campo libero.
- La determinazione delle funzioni di trasferimento tra il piede della fondazione dove il moto vibratorio è stato definito dalla risoluzione dei precedenti punti, e le diverse posizioni all'interno di un edificio dove si suppone ubicato il ricettore (problema risposta strutturale).
- Il modello di esercizio, per il traffico viaggiatori e merci, con indicazione delle tipologie di convogli ferroviari, frequenze e velocità di transito.

Di conseguenza l'organizzazione dello studio è la seguente:

- Introduzione e definizione delle grandezze di riferimento e convenzioni adottate nella stesura del progetto.
- Elenco e descrizione della Normativa tecnica di riferimento adottata per lo studio.
- Identificazione delle aree potenzialmente critiche caratterizzate dalla presenza di ricettori potenzialmente impattati lungo la linea, con relativa destinazione d'uso.
- Identificazione dei parametri geotecnici di interesse per le analisi, svolta sulla base delle indagini condotte per il progetto dell'opera.
- Identificazione degli spettri di sorgente delle vibrazioni dovute a transito di treni, ottenuti da misurazioni sperimentali eseguite su linee di riferimento.
- Valutazione della meccanica di propagazione delle vibrazioni nel terreno, dalla sorgente al piede dei ricettori. Le modalità di attenuazione dei segnali vibratori nel terreno sono state definite impiegando adeguati modelli di attenuazione calibrati su misure sperimentali.
- Valutazione dell'effetto delle strutture degli edifici sul livello di vibrazione stimato.
- Calcolo del livello di vibrazione ai ricettori in fase di esercizio, con illustrazione della metodologia complessiva adottata per determinare la risposta vibrazionale in campo libero, nonché descrizione dei risultati ottenuti dalle analisi previsionali, identificando di conseguenza i tratti per i quali siano da prevedere interventi di mitigazione di impatto.

6.1.3 Bibliografia di riferimento

[1] Aki, K., and Richards, P.G. (1980). "Quantitative Seismology: Theory and Methods.", W.H. Freeman and Company, San Francisco, 932 pp.

[2] Kurzweil, L. G., 1979, Groundborne Noise and Vibration From Underground Rail System, Journal of Sound Vibration, 66(3), pp.363-370.

[3] Lai, C.G., Simultaneous inversion of Rayleigh phase velocity and attenuation for near-surface site characterization, Tesi di Dottorato, Georgia Tech University, 1998.

[4] Lai, C.G., Rix, G.J. (2002). "Solution of the Rayleigh Eigenproblem in Viscoelastic Media". Bulletin of Seismological Society of America, Vol.92, No.6, pp. 2297-2309.

[5] Nelson J.t., Saurenman H.J., State of the art Review Prediction and Control of Groundborne Noise and Vibration from Rail Trandit Trains, 1983 U.S. Department of Transportation Report UMTA-06-0049-83-4

[6] Ohta Y., Goto N. (1978). Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes, Earthquake Engineering and Structural Dinamics, Vol. 6, pp. 167-187.

[7] Pezzoli P., Le vibrazioni indotte dal traffico su rotaia e tecniche di previsione, Ingegneria ferroviaria, N.6, Giugno 2004, Edita dal Collegio Ingegneri Ferroviari Italiani (CIFI), Roma.

[8] Saurenman, H.J., Wilson, G.P., "Handbook of urban noise and vibration control", 1982.

[9] Wilson, Ihrig and Associates, Inc, Handbook of urban rail noise and vibration control, 1982, Oakland, Ca, U.S Department of Commerce National Technical Information Service NTIS.

[10] Di Nicola, P., Indagine sperimentale sull'impatto vibrazionale della fresa scudata (TBM) per lo scavo della galleria di linea della nuova metropolitana di Torino, Tesi di Laurea in Ingegneria Civile, Politecnico di Torino, 2008.

[11] Fornaro, M., Patrucco, M. e Sambuelli, L., Vibration from explosives, high energy hydraulic hammers and TBMs; experience from Italian Tunnels.

[12] Hiller, D. M. e Crabb, G. I., Groundborn Vibration caused by Mechanised Construction Works, Highways Agency, TRL Report 429, 2000.

[13] Godio A., Patrucco M., Ranieri G. e Sambuelli, L., Analysis of ground vibration due to the use of high energy hydraulic hammers in tunnel drifting, Proc. Della International Conference Towards New Worlds in Tunnelling, Vieitez-Usesa and Montane-Cartaxo (eds), A A Balkema, Rotterdam, pp 151-158, 1992.

[14] Rahaman, M.E. e Orr, T.L.L., Using trenches to reduce tunneling vibrations, Geotechnical Engineering 161, Issue GE5, Ottobre 2008.

[15] Rahman, M.E., Prediction of ground vibrations due to a tunnel boring machine, Tesi di Dottorato, Trinity College (Irlanda), 2007.

[16] Young A., Tam K., A Practical Methodology for Impact Assessment of Tunnel Boring Machine Generated Noise, Transactions, Vol.8, No.3

[17] Carnevale M., Young G. & Hager J., Monitoring of TBM-induced ground vibrations, North American Tunneling'00, Ozdemir(ed.) 2000 Balkema, Rotterdam ISBMN 9058091627

[18] Gorla M., Idrogeofisica. Geofisica applicata all'idrogeologia. Metodologie per le analisi idrogeologiche e ambientali., D. Flaccovio, 2009

6.1.4 Grandezze di riferimento

La grandezza primaria per la misura delle vibrazioni ai ricettori è il valore RMS (Root-Mean-Square) dell'accelerazione:

$$a = \left[\frac{1}{T} \int_0^T [a(t)]^2 \, dt \right]^{0.5}$$

Il livello di accelerazione viene espresso in dB come:

$$L = 20 \cdot Log_{10} \frac{a}{a_0}$$

dove a_0 è il valore dell'accelerazione di riferimento, pari a 10-6 m/s² (norma ISO1683).

Gli spettri di vibrazione, nel campo di frequenze da 1 a 80 Hz, vengono rappresentati per terzi di ottava, con i valori centrali di ottava indicati in Tab. 6.1.

Nella definizione della direzione del moto di vibrazione si intende con longitudinale la direzione parallela all'asse dei binari, trasversale la direzione perpendicolare all'asse dei binari, verticale la direzione perpendicolare al piano orizzontale (vedi Fig. 6.1 seguente).

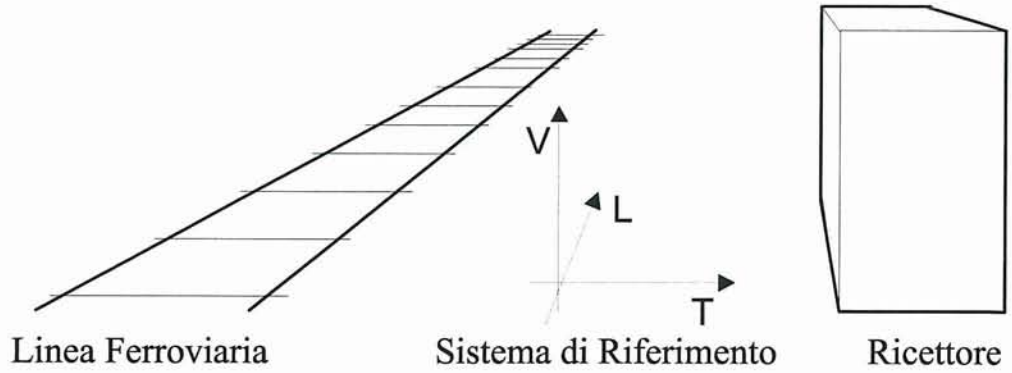


Fig. 6.1 - Orientamento delle componenti di vibrazione. L = longitudinale, T = trasversale, V = verticale, rispetto alla linea ferroviaria

Numero di banda di frequenza	Frequenza centrale [Hz]	Numero di banda di frequenza	Frequenza centrale [Hz]
0	*1*	*10*	*10*
1	*1.25*	*11*	*12.5*
2	*1.6*	*12*	*16*
3	*2*	*13*	*20*
4	*2.5*	*14*	*25*
5	*3.15*	*15*	*31.5*
6	*4*	*16*	*40*
7	*5*	*17*	*50*
8	*6.3*	*18*	*63*
9	*8*	*19*	*80*

Tab. 6.1 - Rappresentazione del campo di frequenze di interesse per terzi di ottava

6.2 Riferimenti legislativi

Non esistendo legislazione vigente specifica, si riporta di seguito la principale normativa tecnica esistente in riferimento all'aspetto ambientale in esame.

- ISO 2631, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997.
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuos and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 2003.
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 3: Evaluation of exposure to whole-body vibration in the frequency range 0.1 to 0.63 Hz, 1985.
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, 1990.
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, Amendment 1, Predicting natural frequencies and damping of buildings.
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983.
- UNI 9916, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, 2004.
- UNI 9614, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, 1990.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.
- CEI 29-1 Misuratori di livello sonoro (conforme alla pubblicazione IEC 651), 1983.

Al fine di valutare l'impatto vibrazionale all'interno degli edifici in termini di disturbo indotto sulle persone, nel presente studio si farà riferimento alla norma italiana UNI 9614, la quale recepisce le prescrizioni fondamentali della precedente edizione della normativa internazionale (ISO 2631).

Si noti che i livelli massimi di vibrazione imposti per la limitazione del disturbo sulla persona sono generalmente più restrittivi di quelli relativi al danneggiamento degli edifici (normativa ISO 4866 e UNI 9916). Quindi, si può ragionevolmente assumere che, nel caso in cui la vibrazione non superi i limiti fissati per il disturbo sugli individui, non si abbiano di conseguenza effetti seppur minimi di danneggiamento sugli edifici.

Il veicolo ferroviario può essere definito come sorgente di vibrazione intermittente. Infatti, un ricettore adiacente ad una linea ferroviaria è soggetto ad una serie di eventi di breve durata, separati da intervalli in cui la vibrazione ambientale denota una ampiezza significativamente più bassa.

Per valutare l'effetto della vibrazione sul comfort, le componenti di moto lungo le tre direzioni vengono "sommate" (composte) in corrispondenza del ricettore (la persona stessa), in accordo con la normativa, la quale richiede la somma delle componenti quando nessuna di queste è predominante sulle altre. Il valore totale dell'accelerazione $\hat{a}_r$ al ricettore, funzione della frequenza, si ottiene a partire dalle tre componenti di moto longitudinale $\hat{a}_{r,L}$, trasversale $\hat{a}_{r,T}$, e verticale $\hat{a}_{r,V}$ come:

$$\hat{a}_r = \sqrt{[\hat{a}_{r,L}]^2 + [\hat{a}_{r,T}]^2 + [\hat{a}_{r,V}]^2}$$

Il sistema di riferimento impiegato per la definizione degli effetti della persona è definito in Fig. 6.2.

Data la diversa destinazione d'uso degli edifici soggetti alla valutazione del livello vibratorio, si è adottato nel presente studio il criterio della posizione dell'individuo non nota o variabile.

6.2.1.1 Norma UNI 9614 (disturbo)

Rispetto alla normativa ISO 2631 recepita peraltro in maniera sostanziale, la Normativa UNI 9614 caratterizza la vibrazione di livello non costante quale quella proveniente dal transito di veicoli ferroviaria attraverso l'espressione del livello di accelerazione in dB:

$$L = 20 \cdot \mathrm{Log}_{10} \frac{a}{a_0}$$

dove a è il valore efficace r.m.s. dell'accelerazione sul periodo T di misura, e a_0 il valore di riferimento precedentemente definito. Considerando cumulativo l'effetto di tutte le componenti di accelerazione per frequenze da 1 a 80 Hz vanno introdotti opportuni filtri di ponderazione che rendano tali componenti equivalenti dal punto di vista della percezione da parte dell'individuo (vedi Fig. 6.3).
Il livello dell'accelerazione complessiva ponderata in frequenza L_W è fornito dalla relazione:

$$L_w = 10 \cdot \left(\mathrm{Log}_{10} \sum_i 10^{L_{i,w}/10} \right)$$

dove $L_{i,w}$ sono i livelli di vibrazione in accelerazione calcolati per terzi di ottava, ponderati in frequenza secondo i filtri della già citata Fig. 6.3.
Al fine di valutare il livello di disturbo si impiegano i valori limite di normativa riportati nella Tab. 6.2 seguente. I valori si riferiscono a sorgenti di tipo continuo e, pertanto, il loro impiego è a vantaggio di sicurezza nell'analisi del disturbo arrecato da sorgenti intermittenti quali i treni.

Luogo	A [m/s²]	L[dB]
Aree critiche	3.3 * 10-3	71
Abitazioni (notte)	5.0*10-3	74
Abitazioni (giorno)	7.2*10-3	77
Uffici	14.4*10-3	83
Fabbriche	28.8*10-3	89

Tab. 6.2 - Valori limite di vibrazione (UNI 9614)

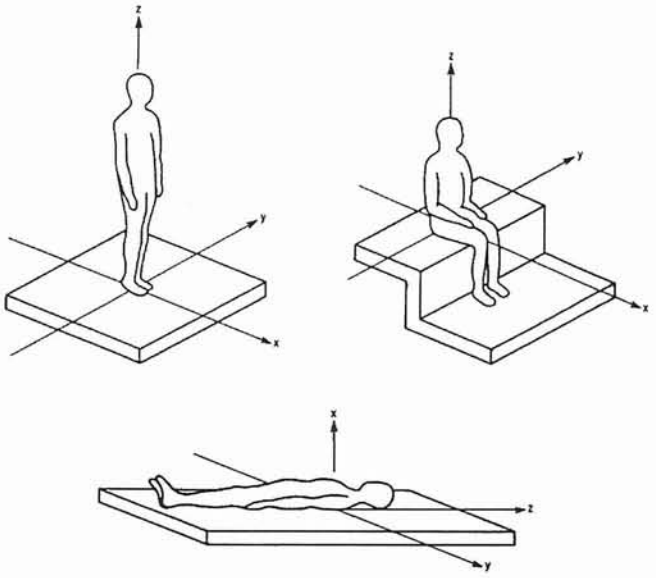


Fig. 6.2 - Definizione degli assi di riferimento rispetto alla posizione della persona (ISO2631)

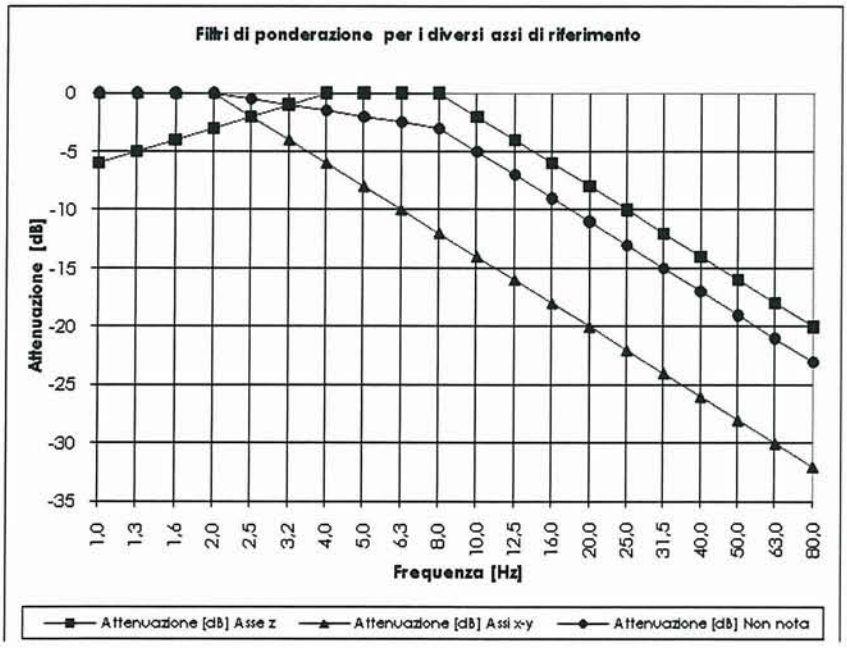


Fig. 6.3 - Attenuazione dei filtri di ponderazione per diverse posture dell'individuo (UNI 9614)

6.2.1.2 Norma UNI 9916 (danno agli edifici)

I danni agli edifici determinati dalle vibrazioni vengono trattati dalla UNI 9916 "Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici", norma in sostanziale accordo con i contenuti tecnici della ISO 4866, ed in cui viene richiamata, sebbene non faccia parte integrante della norma, la DIN 4150 (parte 3).

La norma UNI 9916 fornisce una guida per la scelta di appropriati metodi di misura, di trattamento dei dati e di valutazione dei fenomeni vibratori allo scopo di permettere anche la valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli

edifici, con riferimento alla loro risposta strutturale ed integrità architettonica. Altro scopo della norma è quello di ottenere dati comparabili sulle caratteristiche delle vibrazioni rilevate in tempi diversi su uno stesso edificio, o su edifici diversi a parità di sorgente di eccitazione, nonché di fornire criteri di valutazione degli effetti delle vibrazioni medesime.

La normativa stabilisce che i danni strutturali arrecati agli edifici sono estremamente rari, mentre possono essere più frequenti i cosiddetti danni di soglia (in inglese definiti come "cosmetic damage") quali fessure nell'intonaco, accrescimenti di fessure già esistenti, danneggiamenti di elementi architettonici.

Per la descrizione del fenomeno vibratorio, la norma raccomanda che sia rispettato un criterio di ripetizione delle misure effettuate per tenere conto dell'aleatorietà dei fenomeni (ad es. il transito del treno) in termini di durata ed intensità. Quali grandezze di interesse la UNI 9916 individua:

- Velocità di picco puntuale ("peak particle velocity", p.p.v.), definita come il valore massimo del modulo del vettore velocità misurato in un dato punto, o ottenuto per integrazione. La determinazione della velocità di picco puntuale (p.p.v.) richiede la misurazione simultanea delle tre componenti mutuamente perpendicolari della velocità nel punto considerato, combinate vettorialmente per determinare, istante per istante, il modulo della velocità risultante, che deve essere confrontato con il valore della velocità di soglia di riferimento, stabilito dalla normativa (la quale indica i riferimenti della normativa inglese, BS 5528-4 per lavorazioni di cantiere).
- Velocità di picco di una componente puntuale (p.c.p.v. - peak component particle velocity), definita come il valore massimo (p.c.p.v.) del modulo di una delle tre componenti di moto (nel caso presente le componenti sono la longitudinale, trasversale e verticale). L'appendice D della norma riporta, a titolo di esempio, i valori di riferimento della p.c.p.v. indicati dalle DIN 4150-3 e BS 7385-2.

Complessivamente, il trasferimento della vibrazione dalla sorgente del treno all'edificio avviene attraverso il terreno, come moto impresso alla base dell'edificio stesso. La durata del fenomeno (transito del treno) è sicuramente transitoria, essendo caratterizzata da lunghi momenti di silenzio tra un transito e l'altro, sicuramente superiori a 5 volte il periodo proprio delle strutture.

L'intervallo di frequenze di interesse è generalmente compreso, nel caso in esame, tra 1 e 100 Hz. Tale intervallo interessa una grande casistica di edifici e di elementi strutturali di edifici sottoposti ad eccitazione naturale (venti, terremoti ecc.) e ad eccitazioni causate dall'uomo (traffico, attività di costruzione, ecc.). In alcuni casi l'intervallo di frequenza significativo delle vibrazioni può essere più ampio, ma tuttavia le eccitazioni con contenuto in frequenza superiore a 150 Hz non sono tali da influenzare significativamente la risposta dell'edificio.

L'appendice B della UNI 9916 contiene i criteri di accettabilità dei livelli di vibrazione espressi in p.c.p.v. con riferimento alla Normativa Tedesca DIN 4150 riassunti nella Tabella 6.3.

Categoria	Tipi di strutture	Misura alla fondazione campi di frequenza			Misura al pavimento dell'ultimo piano per le componenti orizzontali
		< 10 Hz	10÷50 Hz	50÷100 Hz	Frequenze diverse
1	Edifici utilizzati per scopi commerciale, edifici industriale e simili	20	20 ÷ 40	40 ÷ 50	40
2	Edifici residenziale e simili	5	5 ÷ 15	15 ÷ 20	15
3	Strutture particolarmente sensibili alle vibrazioni, non rientranti nelle categorie precedenti e di grande valore intrinseco	3	3 ÷ 8	8 ÷ 10	8

Tab. 6.3 - Limiti massimi delle velocità di vibrazione (p.c.p.v.) sugli edifici [V_{picco} in mm/s] [1]

La norma internazionale ISO 4866 fornisce una classificazione degli effetti di danno a carico delle strutture secondo i seguenti tre livelli:

- Danno di soglia, ovvero la formazione di fessure filiformi sulle superfici dei muri a secco o accrescimento di fessure già esistenti sulle superfici in gesso o sulle superfici di muri a secco, formazioni sempre di fessure filiformi nei giunti di malta delle costruzioni in muratura di mattoni. Il danno di soglia può essere atteso nel caso di vibrazioni di breve durata con contenuto in frequenza apprezzabile dopo 4 Hz e velocità vibrazionali comprese tra 4 e 50 mm/s. Per vibrazioni continue il danno di soglia può verificarsi con velocità di vibrazione comprese tra 2 e 5 mm/s.
- Danno minore, ossia la formazione di fessure più aperte, distacco e caduta di gesso o di pezzi di intonaco dai muri; formazione di fessure in murature di mattoni. Un danno minore può verificarsi, nel caso di vibrazioni di piccola durata con apprezzabile contenuto in frequenza oltre i 4 Hz, in un intervallo di velocità compreso tra 20 e 100 mm/s. Per vibrazioni continuate un danno minore è atteso con velocità della vibrazione comprese tra 3 e 10 mm/s.
- Danno maggiore, ovvero danneggiamento di elementi strutturali. Comprende fessure nei pilastri, aperture di giunti, fessure nei blocchi di muratura. Può verificarsi per vibrazioni di piccola durata con frequenze superiori a 4 Hz e velocità vibrazionali comprese tra 20 e 100 m/s, oppure per vibrazioni continue associate a velocità da 5 a 20 mm/s.

Si osserva che i valori di riferimento indicati dalla normativa UNI 9916 riguardano unicamente l'effetto diretto delle vibrazioni, non gli effetti indiretti quali ad esempio cedimenti provocati dalla compattazione del terreno a seguito delle vibrazioni, da considerarsi a parte e qui non compresi (oltre che non attesi per le ampiezze del

[1] Si intende la massima delle tre componenti della velocità nel punto di misura.

fenomeno vibratorio generato da treni). Inoltre, occorre considerare che il superamento dei limiti indicati non implica necessariamente il verificarsi del danno, ma piuttosto un segnale di necessità di indagini più approfondite, da svolgersi anche con rilievi mirati.

6.3 Valutazione dello stato attuale

6.3.1 Identificazione delle aree potenzialmente critiche

Con il fine di stimare il livello vibrazionale ai ricettori (edifici e persone presenti al loro interno), la fascia di interesse, ossia l'area a cavallo del tracciato all'interno della quale è lecito attendersi un potenziale impatto (comunque verificata attraverso le elaborazioni condotte successivamente), può essere cautelativamente assunta, sulla base di pregresse esperienze, nell'intervallo tra 100 e 250 m per lato, in funzione delle caratteristiche della linea e dei terreni. Nello studio, la fascia di interesse è stata estesa a 250 m per lato dei tratti in superficie (nel caso specifico, in prevalenza su rilevato o viadotto), mentre, in corrispondenza dei tratti in galleria, si è assunta pari a 100 m.

In funzione della presenza di ricettori individuati all'interno della fascia di potenziale impatto, identificati a partire dal censimento effettuato, sono stati individuati i seguenti tratti omogenei (le progressive si riferiscono al binario pari della linea AV/AC Venezia-Trieste):

- Dal km 1+600 (inizio progetto) al km 3+750, si rileva la presenza di numerosi edifici a destinazione d'uso essenzialmente residenziale (comuni di Pieris, Turriaco, Begliano).
- Dal km 3+750 al km 5+500 circa, in corrispondenza della stazione di Ronchi dei Legionari, sono localizzati edifici a principale destinazione d'uso industriale, oltre all'Aeroporto Friuli Venezia Giulia (lato binario dispari).
- Dal km 5+500 al km 7+610 circa si rileva la presenza di numerosi edifici (residenziali ed industriali), appartenenti al comune di Ronchi dei Legionari.
- Dal km 7+610 al km 12+330 il tracciato attraversa una zona boschiva caratterizzata da assenza di ricettori all'interno della fascia di interesse.
- Dal km 12+330 al km 12+725, si rileva la presenza di edifici sparsi (rurali) all'interno della fascia di interesse.
- Dal km 12+725 al km 17+300 il tracciato attraversa una zona boschiva, caratterizzata dall'assenza sostanziale di edifici.
- Dal km 17+300 al km 19+300 il tracciato attraversa una zona boschiva con presenza di edifici sparsi a carattere rurale.
- Dal km 19+300 al km 21+800 il tracciato attraversa una zona boschiva caratterizzara dall'asssenza di edifici.
- Dal km 21+800 al km 25+800 il tracciato attraversa , in corrispondenza della sede ferroviaria già esistente, l'abitato di Aurisina, con presenza di numerosi edifici.
- Dal km 25+800 al km 36+000 il tracciato è caratterizzato dall'assenza di ricettori nella fascia di interesse di 100 m.
- Dal km 36+000 al km 36+365 il tracciato attraversa in galleria profonda l'abitato denso di Trieste.

In relazione alle linee di interconnessione (Udine- Trieste, Venezia-Trieste e Aurisina):

- Dal km 0+000 al km 3+078 della linea di interconnessione Udine – Trieste il tracciato attraversa una zona densamente abitata (Comune di Ronchi dei Legionari nel primo tratto e di Monfalcone nel secondo).
- Dal km 7+600 al km 10+317 della variante della linea Venezia –Trieste (binario pari), il tracciato attraversa il denso abitato di Monfalcone (lato binario pari). I ricettori presenti sono per la maggior parte a destinazione d'uso residenziale, con sporadica presenza di edifici industriali.
- Dal km 7+000 al km 8+855 della variante della linea Venezia –Trieste (binario dispari), il tracciato attraversa una zona sostanzialmente non urbanizzata.
- Dal km 0+000 al km 1+224 dell'interconnessione B.P. AV e dal km 0+000 al km 1+988 dell'interconnessione B.D. AV non sono presenti ricettori nella fascia di interesse.
- Dal km 0+000 al km 0+740 e dal km 1+675 al km 2+992 (fine tratta) della variante L.S TS. C.LE – Villa Opicina B.P. non sono presenti ricettori.
- Dal km 0+740 al km 1+675 della variante L.S.TS. C.LE – Villa Opicina B.P, il tracciato interessa la zona residenziale del comune di Aurisina.

Per quanto riguarda i tratti previsti in galleria, ai fini dello studio di impatto vibrazionale per la fase di esercizio, vengono innanzitutto considerati come potenzialmente critici i tratti con approfondimento dal piano campagna minore di 50m, ritenendo (sulla base di esperienze pregresse) che per approfondimenti maggiori del piano del ferro non sia atteso impatto alla presente scala di valutazione. Di conseguenza, risultano potenzialmente critici i seguenti tratti in galleria:

- dal km 7+825 al km 8+378;
- dal km 9+315 al km 9+475;
- dal km 9+700 al km 10+200 e dal 10+200 al km 10+877;
- dal km 11+384 al km 11+744;
- dal km 12+722 al km 12+926;
- dal km 13+095 al km 13+500 e dal km 17+100 al km 18+700 e dal km 21+800 al km 22+800;
- dal km 24+477 al km 25+800.

Per quanto riguarda le interconnessioni alla linea AV/AC Venezia - Trieste, le gallerie con copertura inferiore ai 50 m sono localizzate lungo i seguenti tratti:

- Dal km 0+640 al km 1+290 della linea di interconnessione Udine – Trieste B.P e B.D.;
- Dal km 0+000 al km 0+800 della linea di interconnessione B.P. AV;
- Dal km 0+500 al km 1+557 della linea di interconnessione B.D. AV
- Dal km 7+611 al km 8+871 e dal km 9+237 al km 9+290 (della variante binario dispari della linea Venezia- Trieste).

Sulla base della zonazione sopra descritta (integrata da considerazioni svolte sull'approfondimento del piano ferro rispetto al piano campagna), è stato assegnato ai singoli tratti un indice di criticità rispetto alla presenza di ricettori nell'intorno della linea, secondo il criterio seguente:

A. forte criticità;
B. media criticità;
C. bassa criticità;

D. criticità assente: assenza di ricettori nella fascia di interesse di 100 m nei tratti in galleria e 250m nei tratti in superficie. Approfondimento della galleria maggiore di 50m dal piano campagna.

Nelle Tabb. 6.4 e 6.5 viene riassunto il risultato della zonazione sopra descritta, completata dalla classificazione rispetto al fattore di criticità introdotto. Nelle Figg. 6.5a-d, le porzioni di tracciato critiche sono rappresentate su foto aeree. Si osserva come, naturalmente, i tratti in superficie di attraversamento dei centri urbani siano i più critici: in particolare sono interessate le località di Pieris, Turriaco, Begliano, Dobbia, Ronchi dei Legionari, Cave di Selz, Monfalcone, Trieste. Nella restante parte del tracciato, per la maggior parte in galleria, la criticità è da ritenersi pressoché nulla, o comunque molto ridotta. Sono stati esclusi dallo studio, i tratti classificati come "D", caratterizzati da criticità assente, aventi una lunghezza complessiva di circa 25 km su 36 totali di tracciato.



Fig. 6.4 - Tipologia di tracciato (in azzurro i tratti in superficie su rilevato e viadotto) in rosso i tratti in galleria

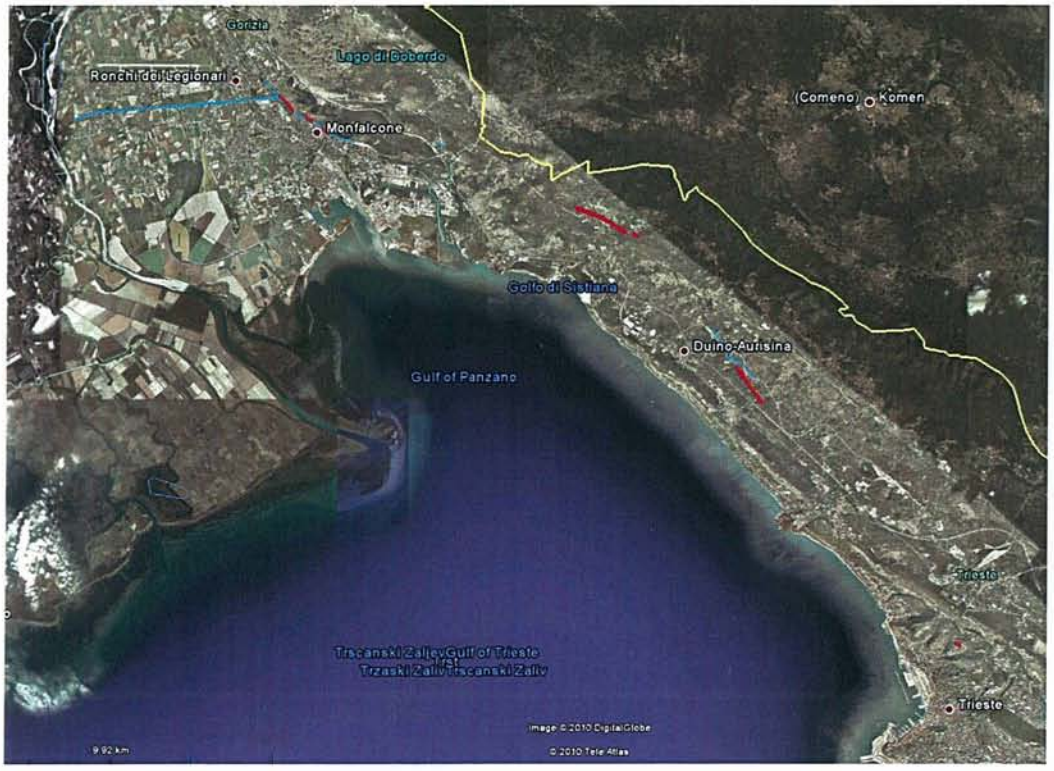


Fig. 6.5a - Tratti potenzialmente critici (azzurro: tratti in superficie su rilevato e viadotto, rosso: gallerie)



Fig. 6.5b - Tratti potenzialmente critici. Particolare del tratto iniziale del tracciato (dalla pk 1+600 alla pk.7+000 circa) con sviluppo in rilevato tra Pieris e Ronchi dei Legionari



Fig. 6.5c - Tratti potenzialmente critici (azzurro: rilevato, rosso: galleria). Particolare del tratto della linea di interconnessione Udine-Trieste, Comune di Monfalcone

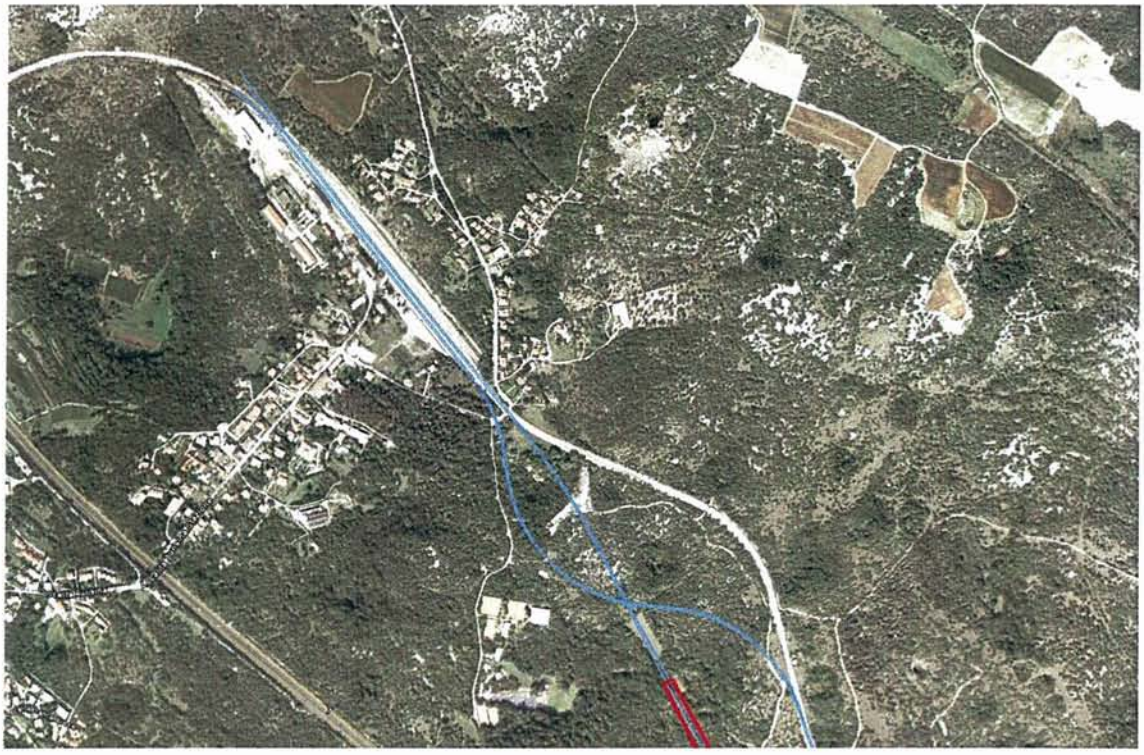


Fig. 6.5d - Tratti potenzialmente critici (azzurro: rilevato, rosso: galleria). Particolare del tratto della linea AV dalla pk. 23+000 alla pk. 25+800 circa, Comune di Aurisina

ID Tratto omogeneo	Progressive [Km]	Indice di criticità
1	1+600 – 3+750	A
2	3+750-5+500	C
3	5+500-7+610	A
6	7+610-12+330	D
7	12+330-12+725	C
8	12+725-17+100	D
9	17+100-18+700	C
10	18+700-19+000	D
11	19+000-19+300	B
12	19+300-23+000	D
13	23+000-25+800	C
14	25+800-36+365	D

Tab. 6.4 - Zonazione del tracciato in termini di criticità: tratta AV/AC Venezia Trieste

ID Tratto omogeneo	Progressive [Km]	Indice di criticità
15	0+000-3+078 Udine – Trieste	A
16	7+600-10+317 Venezia –Trieste B.P.	A
17	7+000-8+855 Venezia –Trieste B.D	D
18	0+000-1+224 interconnessione AV B. P. e da 0+000-1+988 AV B.D.	D
19	0+000-0+740 e 1+675-2+992 della variante L.S. TS. C.LE – Villa Opicina B.P.	D
20	0+740-1+675 della variante L.S. TS.C.LE – Villa Opicina B.P.	A

Tab. 6.5 - Zonazione del tracciato in termini di criticità: tratte di interconnessione alla linea AV/AC Venezia – Trieste

6.3.2 Caratterizzazione geodinamica dei terreni attraversati

Le modalità di propagazione delle vibrazioni emesse da una qualsiasi sorgente posta in superficie o in profondità presentano una dipendenza dalle caratteristiche di deformabilità, dissipative e di stratificazione del mezzo attraverso cui le vibrazioni stesse si trasmettono.

Le ampiezze vibrazionali considerate in questo studio, legate alla fase di esercizio della linea ferroviaria, sono generalmente inferiori alla cosiddetta soglia di deformazione lineare ciclica. Pertanto, ai fini della modellazione teorica del problema di propagazione delle vibrazioni, si ritiene giustificata l'assunzione di un modello costitutivo del terreno di tipo viscoelastico lineare. I parametri che definiscono tale modello, necessari a caratterizzare i diversi strati del deposito di terreno interessato dai fenomeni vibratori, sono riconducibili a:

- il modulo di rigidezza a taglio (G) o la velocità (V_S) di propagazione delle onde sismiche trasversali, stante la relazione $G = \rho V_S^2$;
- la densità di massa (ρ);
- il coefficiente di Poisson (ν);
- il fattore di smorzamento a taglio (D_S) e a compressione (D_P).

Tali parametri possono essere desunti sulla base delle informazioni provenienti dalle indagini effettuate o ottenuti da bibliografia. In particolare, per quel che concerne i profili V_P e V_S si è partiti dalla caratterizzazione geologica dell'area, seguita dalla zonazione geodinamica del tracciato per formazioni omogenee.

6.3.2.1 Sintesi delle caratteristiche geologiche dell'area

L'area del Carso appartiene, per quanto attiene all'evoluzione geologica in senso lato, alla "piattaforma carbonatica carsico-friulana", propaggine settentrionale della "placca Adria". Dal punto di vista litologico, la piattaforma è data da una potente successione di rocce prevalentemente carbonatiche, di età da triassica nella zona di radice a eocenica al tetto; la successione carbonatica è sovrastata da una potente successione clastica quarzoso-feldspato-calcarea (Flysch) eocenica. Dal punto di vista strutturale in senso più stretto, il Carso fa parte di un'ampia unità geologica detta "Piattaforma di Comeno", caratterizzata da un'anticlinale debolmente asimmetrica con asse a

direzione NW-SE (dinarica) complicata da una serie di pieghe secondarie (ad asse sub parallelo a quello principale) e da alcune faglie. Di queste ultime, le principali sono orientate parallelamente alla struttura maggiore e dislocano parte dei fianchi individuando modesti graben e horst sub paralleli.

Come meglio descritto ed approfondito nel capitolo relativo alla componente "*Suolo e Sottosuolo*", il tracciato ferroviario in oggetto intercetta le Unità Geologiche di seguito descritte:

- dalla pk di inizio progetto alla pk 7+610 i ***Depositi Alluvionali della Piana dell'Isonzo*** (ghiaie in matrice sabbiosa debolmente limosa);
- dalla pk 7+615 alla pk 10+865 i ***Calcari di Monte Coste*** (Calcari fango-sostenuti grigio nocciola, alternanze di micriti grigio scure laminate e livelli brecciati, micriti; unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media carsificabilità);
- dalla pk 10+865 alla pk 10+950 le alternanze di dolomie e calcari della ***Formazione di Monrupino*** (Brecce a cemento e clasti dolomitici, dolomie da grigio chiare a grigio scure, dolomie calcaree grigio chiare, alternanze calcareo-dolomitiche; unità dalle caratteristiche geomeccaniche complessive da buone a non molto buone e dalla bassa carsificabilità);
- dalla progressiva 10+ 950 alla pk 11+795 i ***Calcari di Monte Coste*** (idem);
- dalla progressiva 11+795 alla pk 13+890, la ***Formazione di Monrupino*** (idem);
- dalla 13+890 alla pk 17+230 i ***Calcari di Monte Coste*** (idem);
- dalla progressiva 17+230 alla pk 21+950 la ***Formazione di Monrupino*** (idem);
- dalla progressiva 21+950 alla pk 24+086 i ***Calcari a Rudiste*** (wackestone e packstone grigio chiari ricchi in rudiste - radiolitidi e hippuritidi - con variazioni latero-verticali a unità più micritiche; unità complessivamente dalle ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla alta se non altissima carsificabilità);
- dalla progressiva 27+350 alla progressiva 27+520 i calcari dell'intervallo inferiore della ***Formazione Liburnica*** (Calcari tipo wackestone e packstone, prevalenti verso la parte alta, grigi o nocciola molto fossiliferi (Lb). Calcari con frammenti di Radiolitidi, cui si sovrappongono mudstone e wackestone fossiliferi con livelli di breccia, associati a fenomeni pedogenetici; calcari fango sostenuti grigio scuri a foraminiferi; unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media carsificabilità);
- dalla progressiva 27+520 alla pk 28+520 i calcari dell'intervallo superiore della ***Formazione Liburnica*** (idem);
- dalla progressiva 28+520 fino alla pk 28+800 i ***Calcari ad Alveoline e Nummuliti*** (Calcari grigi, packstone prevalenti, fossiliferi, ricchi in macroforaminiferi. Nella parte superiore sono presenti wackestone e packstone e alternanze calcareo-marnose; al top della successione si hanno frequenti conglomerati a clasti arrotondati, inglobati in matrice marnosa; unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media se non medio alta carsificabilità);
- dalla progressiva circa 28+800 a fine tracciato il ***Flysch*** (Depositi torbiditici costituiti da alternanze di arenarie e marne siltose (FT). Nella porzione basale si possono rinvenire livelli di marne, marne calcaree e calcari argilloso-marnosi; unità dalle caratteristiche geomeccaniche estremamente variabili, non carsificabile).

6.3.2.2 Zonazione geotecnica/geodinamica lungo il tracciato

Nell'ambito delle attività propedeutiche alla progettazione della linea ferroviaria in oggetto, sono state eseguite n.2 diverse campagne di indagini geognostiche (2003/2004 e 2010) finalizzate alla caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dalla sede della infrastruttura ferroviaria. Nell'ambito di tali campagne sono stati realizzati, nel complesso, n. 40 sondaggi (n.24 sondaggi nella campagna del 2003/2004; n.16 sondaggi nel 2010).

Rimandando agli elaborati relativi per la descrizione dei risultati ottenuti, dai dati di prove in sito si sono ricavati i parametri di interesse per lo studio del comportamento dinamico delle formazioni incontrate. In particolare, è possibile suddividere il tracciato della linea AV/AC di progetto in cinque differenti settori con comportamento omogeneo:

- il *Primo Settore (S1)* si sviluppa, dalla pk di inizio tracciato (pk 1+600) fino alla progressiva indicativa del km 7+600, interamente su ***depositi alluvionali*** (ghiaioso sabbiosi) ascrivibili alla piana dell'Isonzo.
- il Secondo *Settore (S2)* si sviluppa da Monfalcone a San Pelagio (dalla pk 7+600 alla pk 21+950), interamente in ***calcari e dolomie*** poco carsificabili con bassa probabilità di intersezione con vuoti significativi;
- il *Terzo Settore (S3)* si sviluppa da San Pelagio fino circa alla località Bosco San Primo (dalla pk 21+950 alla Stazione di Aurisina e dalla Stazione fino alla pk 25+823), interamente nei ***calcari***, altamente carsificabili e carsificati, con alta probabilità di incontrare vuoti anche significativi;
- il *Quarto Settore (S4)* si sviluppa dalla località Bosco San Primo fino a Grignano (dalla pk 25+823 fino alla pk 27+258) in ***calcari***, mediamente carsificabili, con media probabilità di incontrare vuoti significativi
- il *Quinto Settore (S5)* si sviluppa interamente nel ***Flysch di Trieste*** non carsificabile, da Grignano a Trieste (dalla pk 27+258 fino a termine tracciato, pk 36+5067).

Per quel che concerne le condizioni idrogeologiche, le letture piezometriche effettuate in corrispondenza dei sondaggi eseguiti lungo la linea hanno consentito di individuare la superficie piezometrica ad una quota costantemente inferiore al piano ferro. Tuttavia, ai fini delle analisi qui condotte, la falda è stata considerata sempre presente nella porzione di terreno indagata, a vantaggio di sicurezza per i tratti in cui essa non è stata riscontrata, e in accordo alle osservazioni nei depositi alluvionali della Piana dell'Isonzo, per i quali la soggiacenza è ridotta.

Su alcuni dei campioni prelevati durante la campagna di indagine del 2010, sono state effettuate prove soniche per la determinazione della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs (riportate in Tabella 6.6). Tuttavia, le risultanze di tali prove, normalmente eseguite su campioni di buona qualità, sono generalmente rappresentative del comportamento dinamico dell'ammasso nel suo complesso, interessato dalla propagazione del campo d'onde vibrazionali. Tale ammasso, nel caso in esame, presenta sicuramente fenomeni di alterazione, fratturazione e carsismo variabili. Sulla caratterizzazione dell'ammasso si basano le valutazioni condotte nella stima del livello vibratorio a distanze crescenti dalla linea. Pertanto, si è ricorsi a dati di letteratura (Gorla, 2009) nella determinazione dei valori di Vs caratteristici dei tratti individuati, dove non fossero disponibili informazioni da indagine.

Campione	Profondità di prelievo	pk indicativa sondaggio	Formazione Geologica	Settore Geodinamico	Vs
TS6-CR9	137	29+500	Flysch	*Quinto Settore*	2691 m/s
TS8-CR2	65.5	32+500	Flysch	*Quinto Settore*	2702 m/s
TS9-CR2	40.5	33+000	Flysch	*Quinto Settore*	2649 m/s
TS9-CR7	91	33+000	Flysch	*Quinto Settore*	2453 m/s
TS10-CR4	120	27+500	Calcari di Liburnica	*Terzo Settore*	2282 m/s
TS10-CR5	130	27+500	Calcari di Liburnica	*Terzo Settore*	3046 m/s
TS16-CR3	13	12+500	Formazione di Monrupino	*Secondo Settore*	4101 m/s
TS17-CR4	59	10+250	Calcari di Monte Coste	*Secondo Settore*	3156 m/s
TS17-CR5	71	10+250	Calcari di Monte Coste	*Secondo Settore*	3883 m/s

Tab. 6.6 - Risultanze delle prove soniche eseguite su campioni prelevati in sito

Il quadro complessivo ricostruito è il seguente:

a) Primo settore *Depositi Alluvionali* (da pk 2+000 a pk 7+600): il profilo di V_S di riferimento rappresentato in Fig. 6.6 è stato ricavato dall'interpretazione dei risultati della prova SPT (sondaggio TS1), utilizzando correlazioni di letteratura (Ohta & Goto, 1978).

   a. Profilo stratigrafico di riferimento:

   b. da 0 a 2 m, limo argilloso – sabbioso;

   c. da 2 a 17 m, ghiaia più o meno sabbiosa;

   d. da 17 a 21 m, limo sabbioso a luoghi debolmente argilloso;

   e. da 21 a 30 m (massima profondità di interesse), ghiaia con sabbia.

I parametri del modello di attenuazione adottati sono i seguenti.

0 – 2 m	Vs = 160 m/s	$\nu = 0.41$	$D_S = D_P = 0.04$	$\rho = 19$ KN/m^3
2 – 4 m	Vs = 200 m/s	$\nu = 0.41$	$D_S = D_P = 0.04$	$\rho = 19$ KN/m^3
4 – 12 m	Vs = 250 m/s	$\nu = 0.41$	$D_S = D_P = 0.04$	$\rho = 19$ KN/m^3
12 – 20 m	Vs = 340 m/s	$\nu = 0.41$	$D_S = D_P = 0.04$	$\rho = 19$ KN/m^3
20 – 30 m	Vs = 360m/s	$\nu = 0.41$	$D_S = D_P = 0.04$	$\rho = 19$ KN/m^3

b) Secondo settore: *Calcari e Dolomie poco carsificabili* (da pk 7+600 a pk 21+950). Il profilo di V_S di riferimento rappresentato in Fig. 6.7 stato ipotizzato considerando, sulla base dei dati di letteratura, una velocità media dell'ammasso pari a 1500 m/s, trattandosi di calcari e dolomie con basso grado di carsificabilità.

I parametri del modello di attenuazione adottati sono i seguenti.

0 – 2 m	Vs = 1000 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
2 – 4 m	Vs = 1100 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
4 – 6 m	Vs = 1200 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
6 – 8 m	Vs = 1300 m/s	$\nu = 0.25$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 22$ KN/m^3
8 – 10 m	Vs = 1400 m/s	$\nu = 0.25$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 22$ KN/m^3
10 – 30 m	Vs = 1500 m/s	$\nu = 0.25$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 22$ KN/m^3

c) Terzo settore: *Calcari altamente carsificati* (da pk 21+950 alla pk 25+823). Il profilo di V_S di riferimento rappresentato in Fig. 6.8 stato ipotizzato considerando, sulla base dei dati di letteratura, una velocità media dell'ammasso pari a 800 m/s, trattandosi di calcari altamente carsificabili.

I parametri del modello di attenuazione adottati sono i seguenti.

0 – 2 m	Vs = 500 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
2 – 4 m	Vs = 550 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
4 – 6 m	Vs = 600 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
6 – 8 m	Vs = 650 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
8 – 10 m	Vs = 750 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
10 – 30 m	Vs = 800 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3

d) Quarto settore: *Calcari mediamente carsificabili* (da pk 25+823 alla pk 27+258). Il profilo di V_S di riferimento rappresentato in Fig. 6.9 stato ipotizzato considerando, sulla base dei dati di letteratura, una velocità media dell'ammasso pari a 1200 m/s, trattandosi di calcari altamente carsificabili. trattandosi di calcari mediamente carsificabili.

I parametri del modello di attenuazione adottati sono i seguenti.

0 – 2 m	Vs = 700 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
2 – 4 m	Vs = 800 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
4 – 6 m	Vs = 900 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
6 – 8 m	Vs = 1000 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3

8 – 10 m	Vs = 1100 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
10 – 30 m	Vs = 1200 m/s	$\nu = 0.25$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 22$ KN/m^3

e) Quinto settore: *Flysch* (da pk 27+258 a fine tracciato). Il profilo di V_S di riferimento rappresentato in Fig. 6.10 stato ipotizzato considerando, sulla base dei dati di letteratura, una velocità media dell'ammasso pari a 700 m/s, trattandosi di depositi anche torbosi con alternanze di arenarie e marne, queste ultime a costituire vie d'onda preferenziali con ridotti gradi di attenuazione del segnale vibratorio.

I parametri del modello di attenuazione adottati sono i seguenti.

0 – 2 m	Vs = 350 m/s	$\nu = 0.41$	$D_S = D_P = 0.04$	$\rho = 19$ KN/m^3
2 – 4 m	Vs = 430 m/s	$\nu = 0.41$	$D_S = D_P = 0.04$	$\rho = 19$ KN/m^3
4 – 6 m	Vs = 480 m/s	$\nu = 0.41$	$D_S = D_P = 0.04$	$\rho = 19$ KN/m^3
6 – 8 m	Vs = 550 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
8 – 10 m	Vs = 630 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3
10 – 30 m	Vs = 700 m/s	$\nu = 0.35$	$D_S = D_P = 0.03$	$\rho = 20$ KN/m^3

Per le formazioni litoidi (settori 2-5), nella definizione dei profili di Vs di riferimento suddetti, si è ipotizzata la presenza, nei primi 10m di spessore di strati di alterazione con riduzione delle caratteristiche meccaniche dell'ammasso verso la superficie.

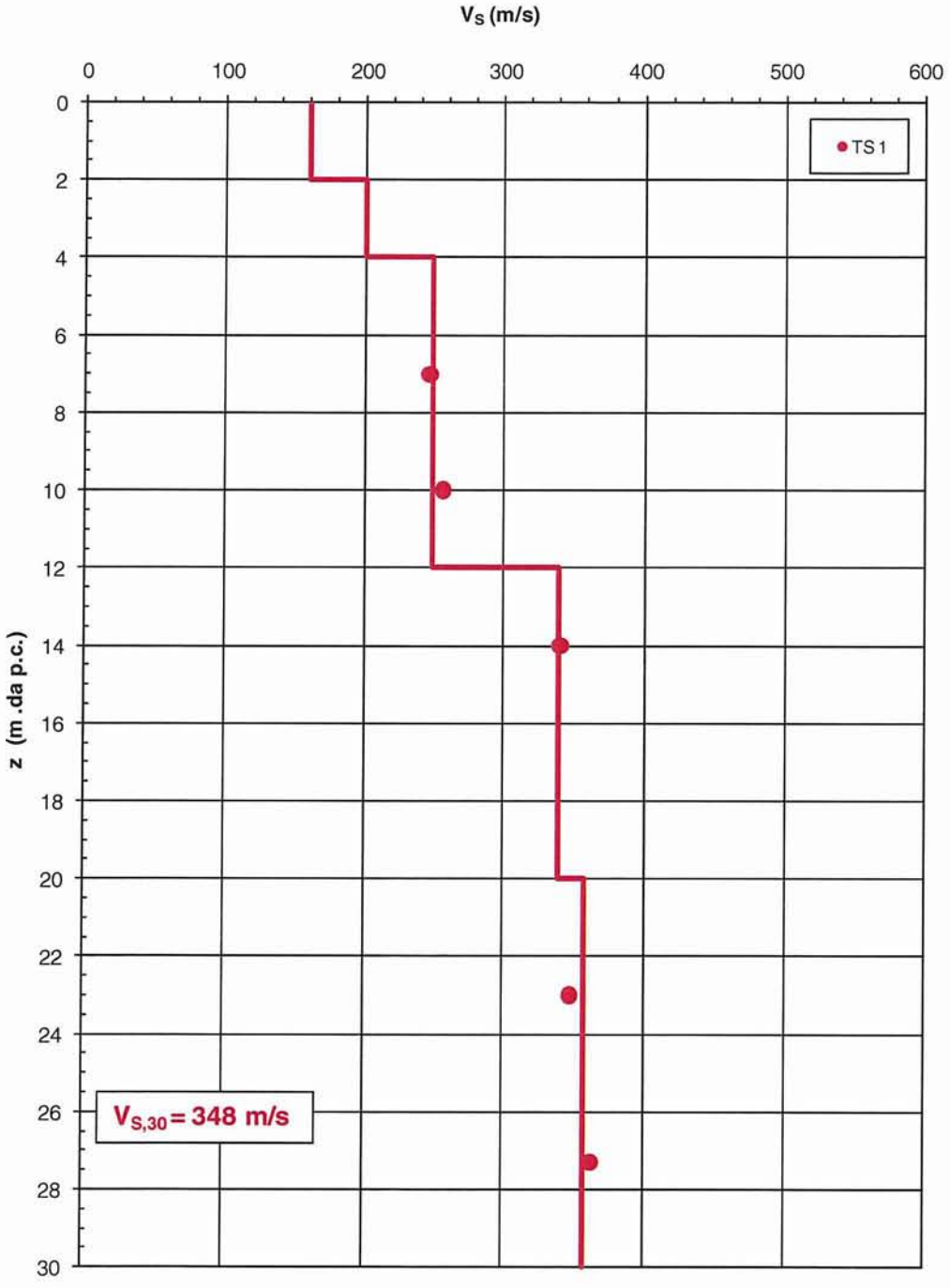


Fig. 6.6 - Velocità delle onde sismiche trasversali Vs per il Primo Settore (dalla Pk 2+000 km alla pk 7+600) basata sull'interpretazione delle prove SPT del sondaggio TS1

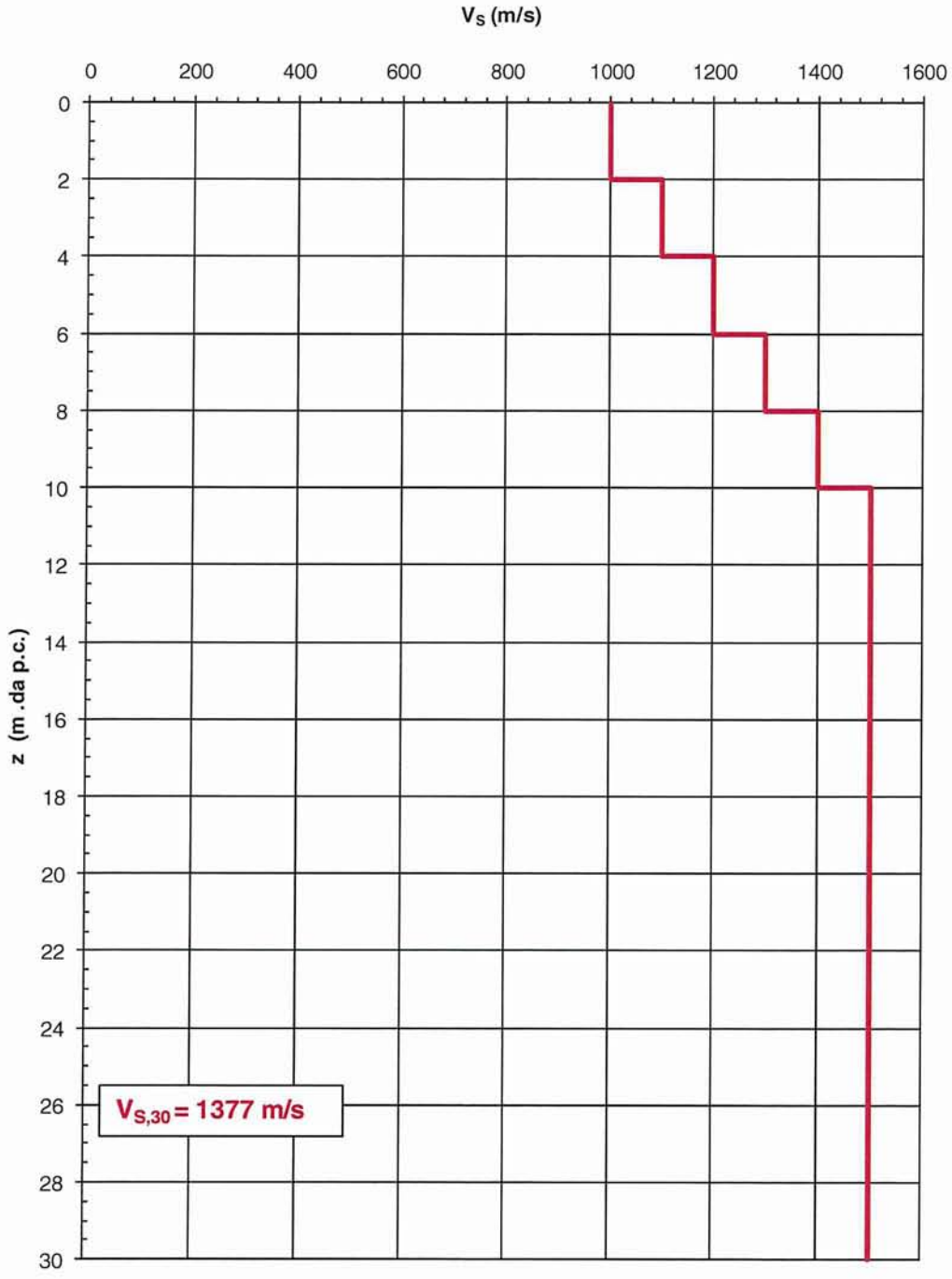


Fig. 6.7 - Velocità delle onde sismiche trasversali Vs per il Secondo Settore (dalla Pk 7+600 km alla pk 21+950) basata su dati di letteratura

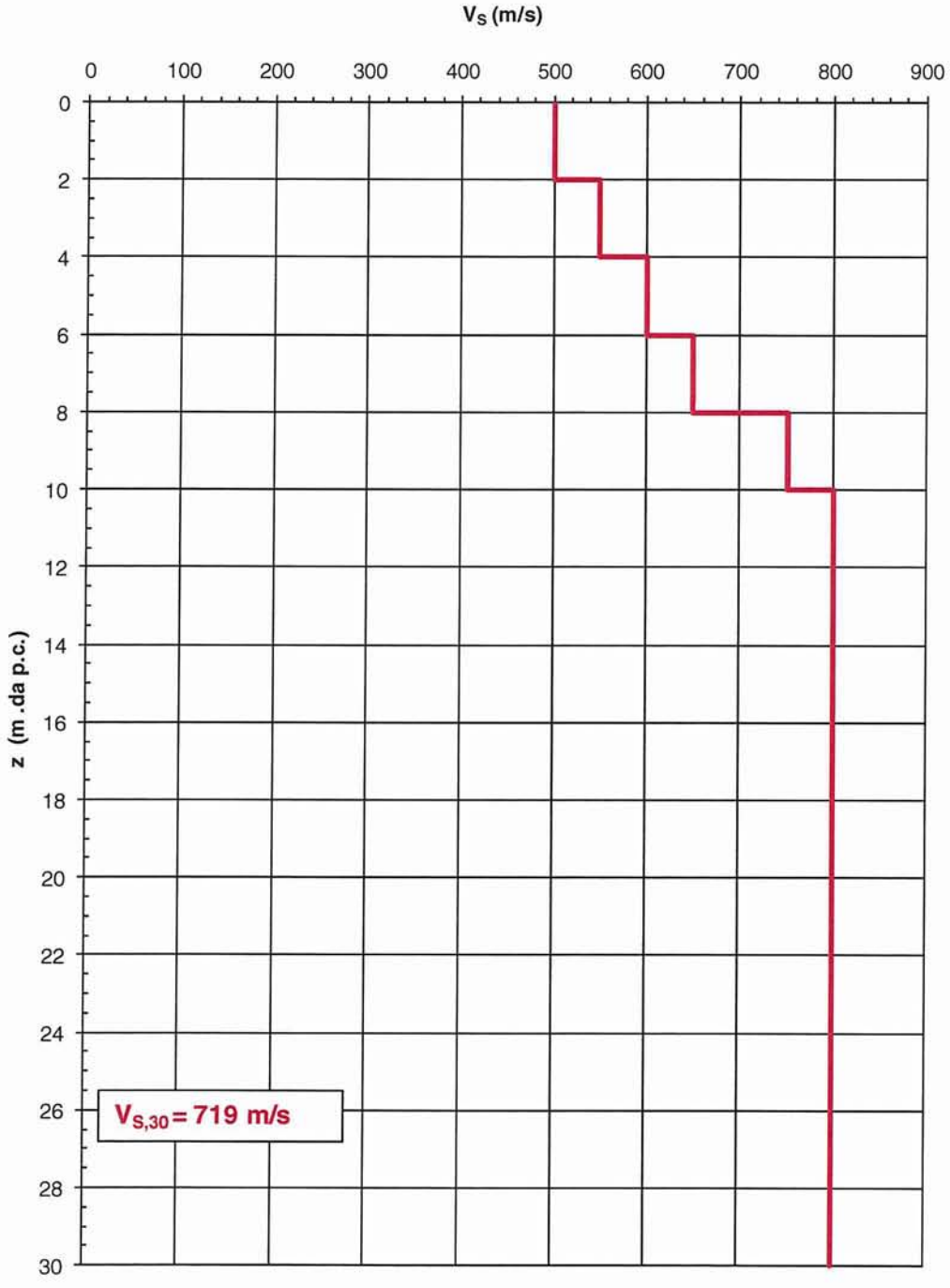


Fig. 6.8 - Velocità delle onde sismiche trasversali Vs per il Terzo Settore (dalla Pk 21+950 km alla pk 25+823) basata su dati di letteratura

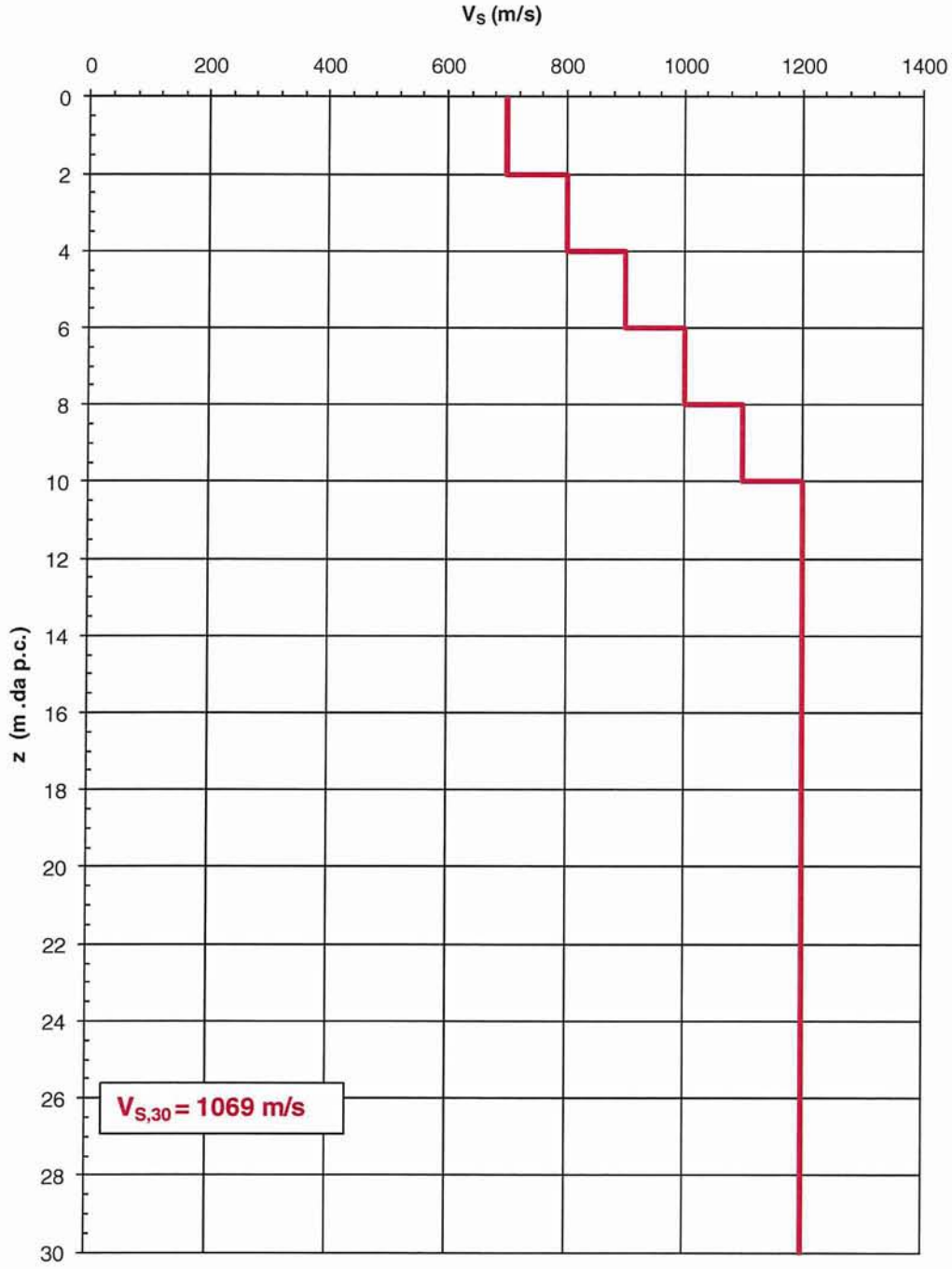


Fig. 6.9 - Velocità delle onde sismiche trasversali Vs per il Quarto Settore (dalla Pk 25+823 km alla pk 27+258) basata su dati di letteratura

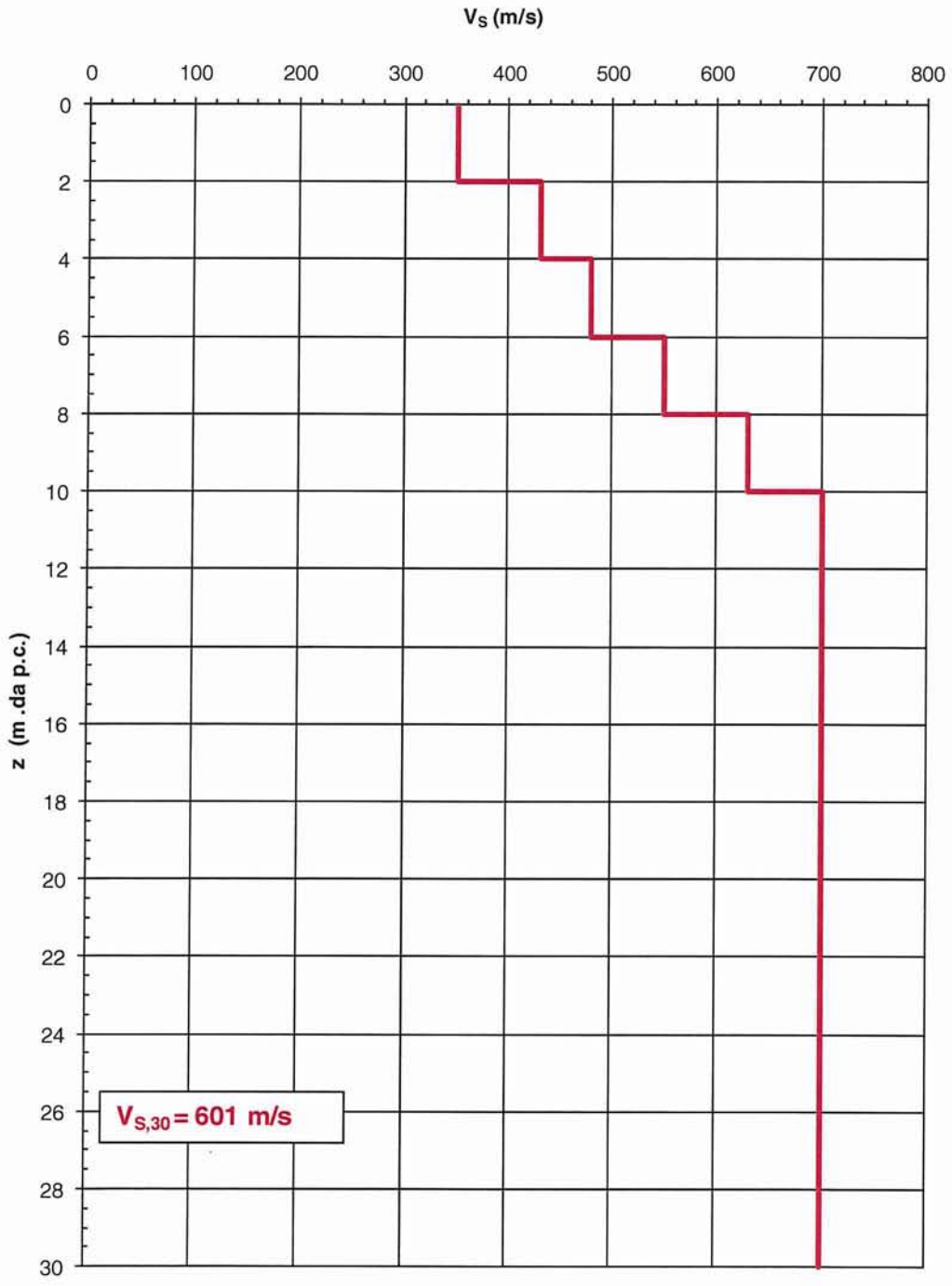


Fig. 6.10 - Velocità delle onde sismiche trasversali Vs per il Quinto Settore (dalla Pk 27+258 km alla pk 36+506) basata su dati di letteratura

6.4 Valutazione delle interferenze

6.4.1 Caratterizzazione della sorgente vibratoria

La definizione dello spettro di sorgente per i tratti in superficie (viadotto e rilevato) è stata basata sull'ipotesi di considerare quali convogli di progetto i treni di tipologia ETR500, ETR460 e Intercity.

Gli spettri di sorgente vengono definiti sulla base dei risultati dei rilievi vibrazionali descritti nel documento "A112 00 E 15 RG AR0103 002 0 Linea Milano-Napoli, Nodo di Bologna, Penetrazione Urbana Linea A.V., Tutela, Mitigazione e Monitoraggio Ambientale, Vibrazioni – Caratterizzazione sorgente (TRATTA A.V.)". Tali rilievi sono stati condotti con il fine di caratterizzare le vibrazioni indotte dal transito di convogli ferroviari AVv in corrispondenza delle traverse ferroviarie e nelle vicinanze di linee A.V. (campo libero). Il sito di misura è localizzato nelle vicinanze di un tratto attrezzato con armamento A.V., su viadotto e rilevato, nel comune di Alviano (TR) e i rilievi hanno riguardato transiti di veicoli ferroviari di tipologia Intercity (E402) e Eurostar (ETR500 e ETR460). Rimandando al citato documento per i dettagli si osserva che le misure impiegate qui per definire lo spettro di sorgente sono state ottenute posizionando un punto di misura, costituito da un coppia di accelerometri, a circa 3m dalla rotaia più esterna alla base del rilevato, registrando le componenti verticale e trasversale di vibrazione.

Per la caratterizzazione dei tratti in superficie su rilevato è stato utilizzato lo spettro sorgente definito dalla media dei passaggi registrati dal passaggio di treni Eurostar ETR 500 e ETR 460 ed Intercity E 402, misurati in corrispondenza del camminamento. In Figg. 6.11 e 6.12 sono riportate le due componenti (V e T) dello spettro così definito (linee rosse) insieme alle medie dei transiti distinti per tipologia di convoglio. La componente longitudinale viene ipotizzata pari a 2/3 di quella verticale.

Per la caratterizzazione dei tratti in superficie su viadotto è stato utilizzato lo spettro sorgente definito dalla media dei passaggi registrati dal passaggio di treni Eurostar ETR 500 e ETR 460 ed Intercity E 402, misurati al suolo. In Fig. 6.13 è riportata la componente verticale dello spettro così definito (linea rossa), insieme alle medie dei transiti distinti per tipologia di convoglio.

Per i tratti in galleria, sia naturale che artificiale, è stato impiegato lo spettro sorgente medio delle registrazioni relative ai passaggi di treni Eurostar ETR 500 e Intercity E 402, valutato in corrispondenza del camminamento. In Figg. 6.14 e 6.15 sono riportate le componenti trasversale, verticale dello spettro sorgente utilizzato nelle simulazioni (linee rosse) insieme alle medie dei transiti distinti per tipologia di convoglio.

In Tab. 6.7 vengono elencate le ampiezze spettrali espresse in livello di accelerazione relative ai tre spettri sorgente definiti per le diverse tipologie di tracciato.

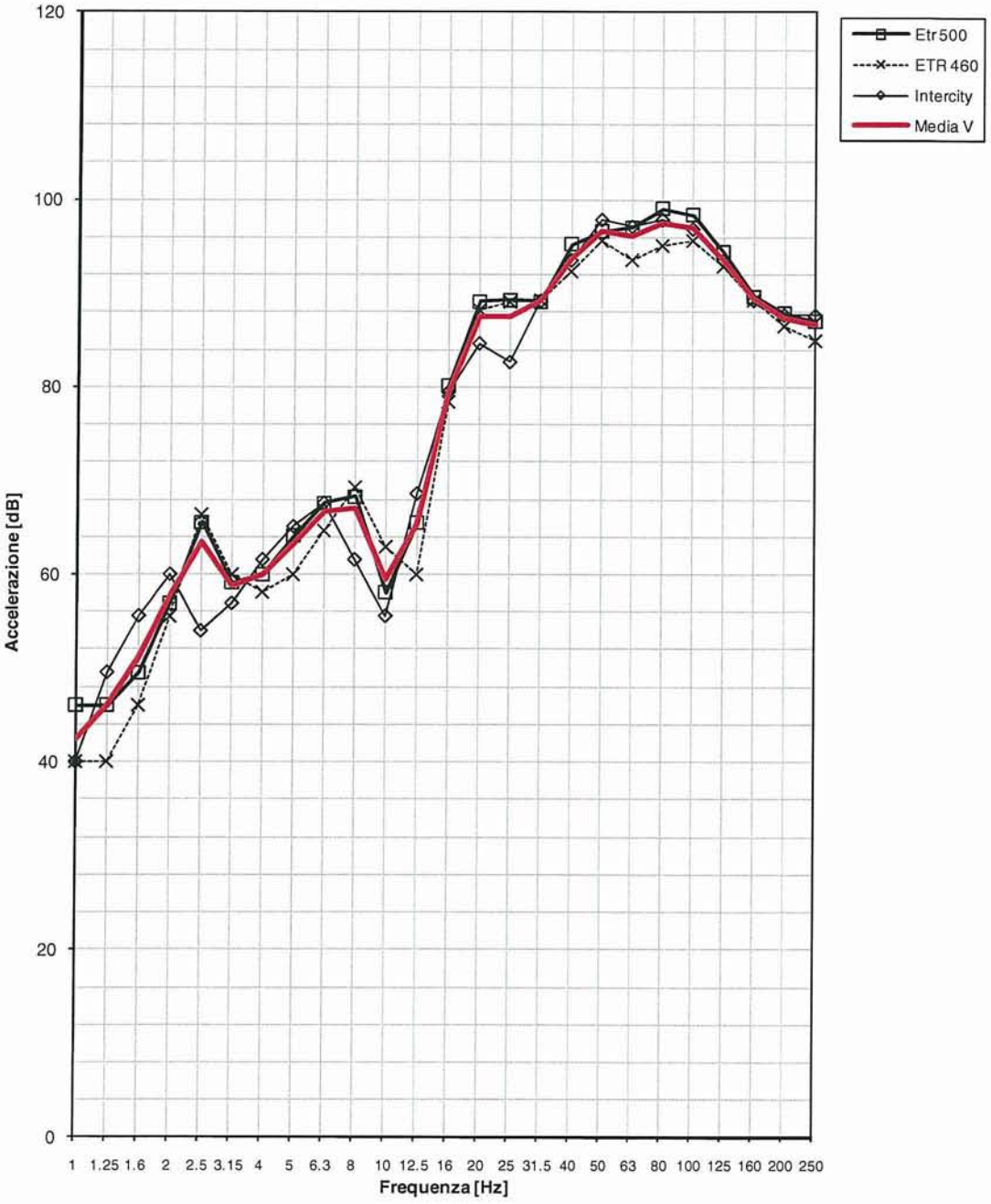


Fig. 6.11 - Spettro sorgente per il tratto in rilevato lungo la componente verticale (punto di misura al camminamento). Con la linea continua rossa viene rappresentata la media dei segnali utili rilevati (spettro sorgente)

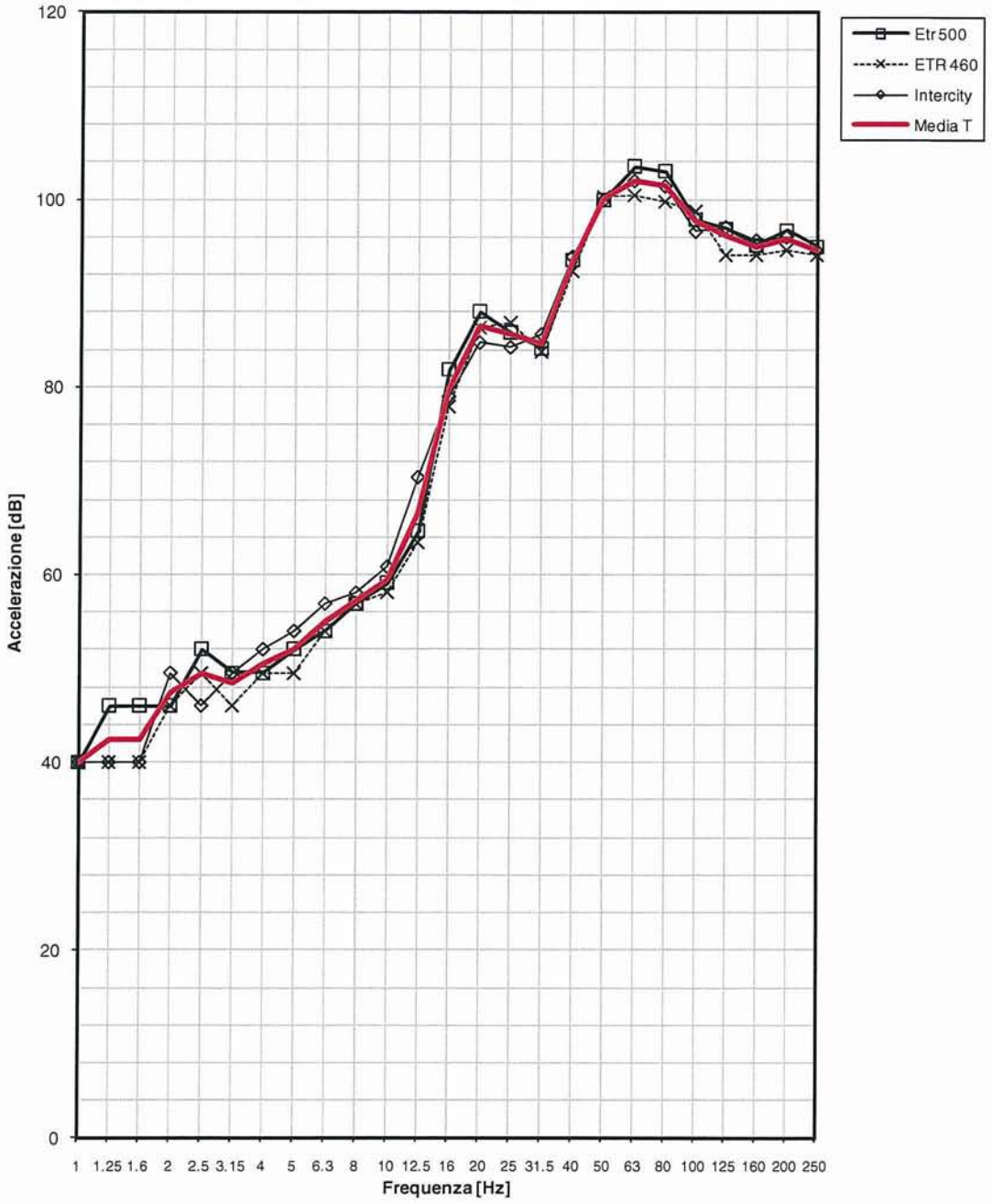


Fig. 6.12 - Spettro sorgente per il tratto in rilevato lungo la componente trasversale (punto di misura al camminamento). Con la linea continua rossa viene rappresentata la media dei segnali utili rilevati (spettro sorgente)

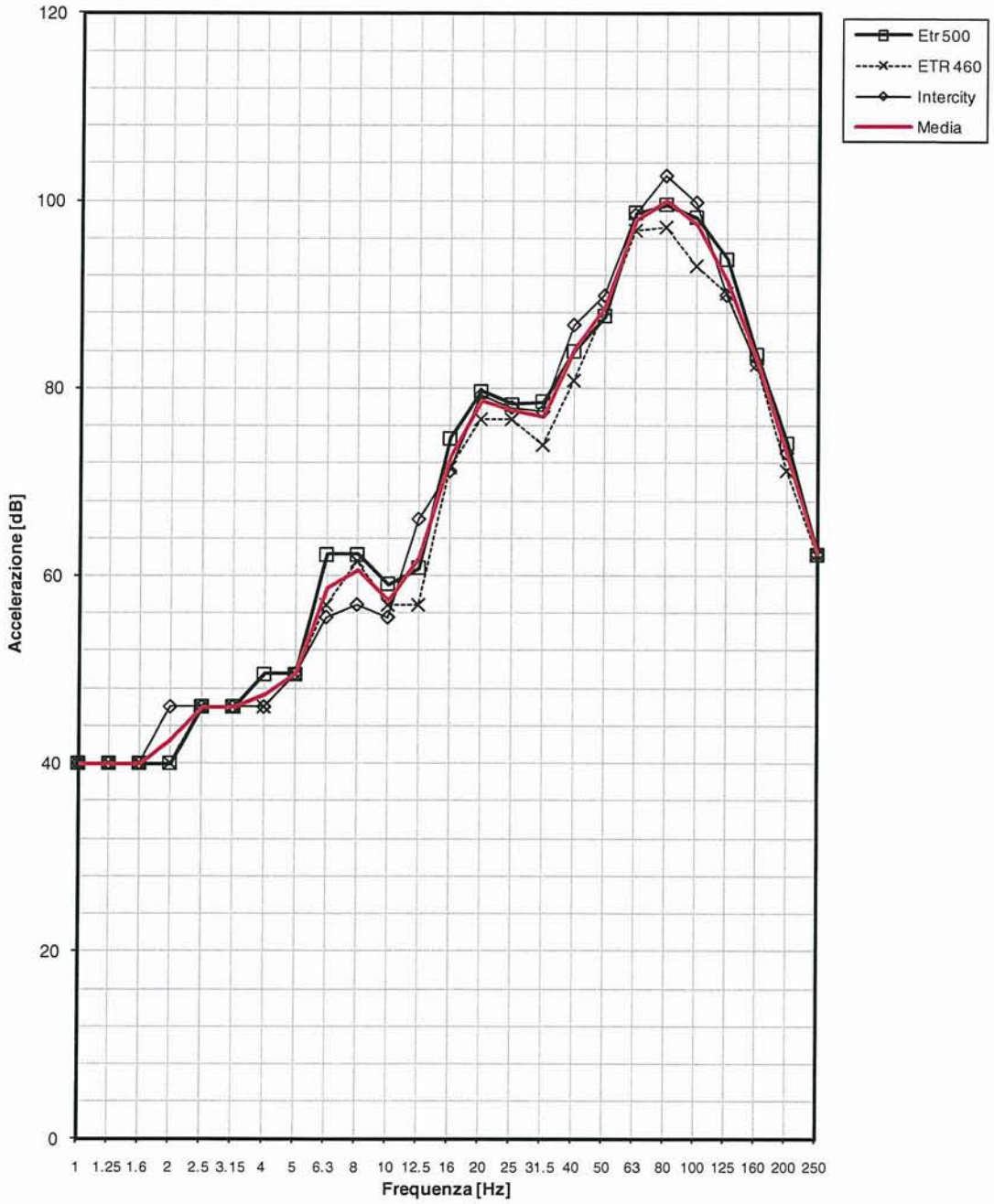


Fig. 6.13 - Spettro sorgente per il tratto in viadotto lungo la componente verticale. Con la linea continua in grassetto viene rappresentata la media dei segnali utili rilevati (spettro sorgente)

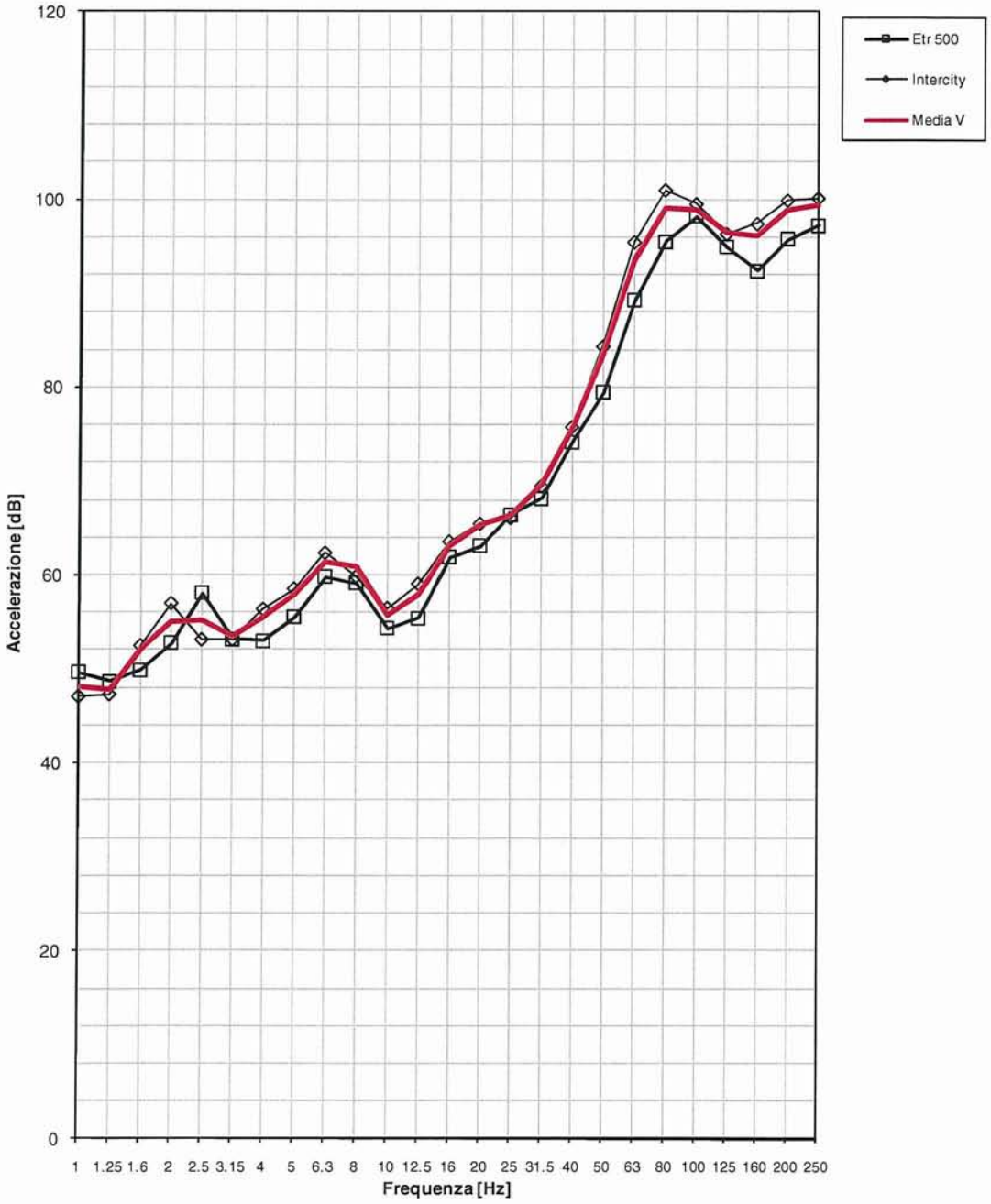


Fig. 6.14 - Spettro sorgente per il tratto in galleria naturale e artificiale lungo la componente verticale (punto di misura al camminamento). Con la linea continua rossa viene rappresentata la media dei segnali (spettro sorgente)

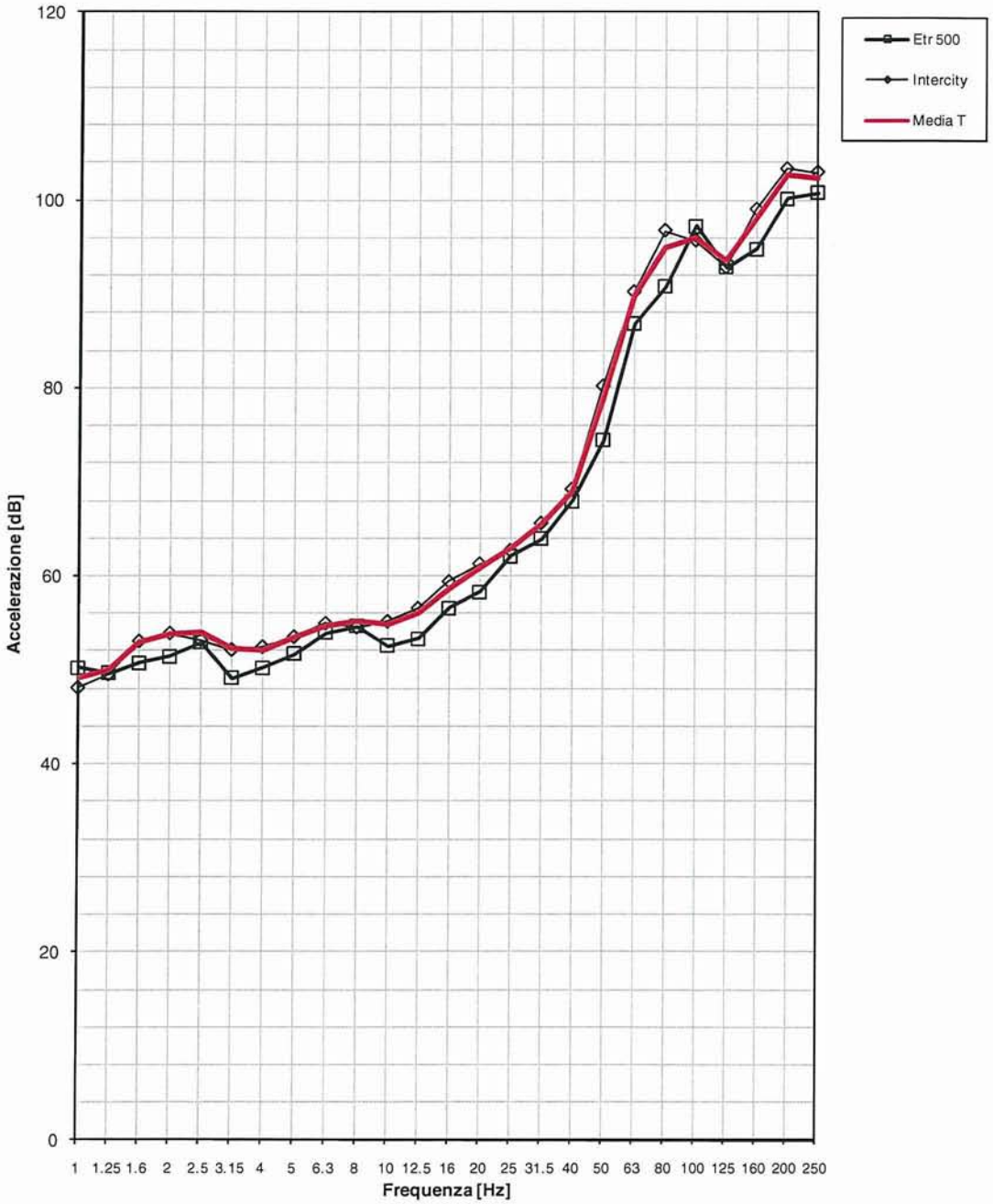


Fig. 6.15 - Spettro sorgente per il tratto in galleria naturale e artificiale lungo la componente trasversale (punto di misura al camminamento). Con la linea continua rossa viene rappresentata la media dei segnali (spettro sorgente)

	Galleria naturale/artificiale			Rilevato			Viadotto		
Freq (Hz)	**L**	**T**	**V**	**L**	**T**	**V**	**L**	**T**	**V**
1	44.53	49.12	48.06	38.49	40.00	42.01	36.48	N/D	40.00
1.25	44.19	49.95	47.72	41.67	42.01	45.19	36.48	N/D	40.00
1.6	48.54	52.94	52.06	46.85	42.01	50.38	36.48	N/D	40.00
2	51.46	53.88	54.98	53.97	47.19	57.49	38.49	N/D	42.01
2.5	51.74	53.94	55.26	58.48	49.20	62.00	42.50	N/D	46.02
3.2	49.98	52.20	53.50	55.14	48.37	58.66	42.50	N/D	46.02
4	52.08	52.17	55.60	56.36	50.38	59.88	43.67	N/D	47.19
5	54.34	53.43	57.86	59.54	51.85	63.06	46.02	N/D	49.54
6.3	57.87	54.67	61.39	63.08	54.95	66.61	54.73	N/D	58.25
8	57.32	55.25	60.84	62.86	57.29	66.38	56.73	N/D	60.25
10	52.20	54.91	55.72	55.33	59.32	58.85	53.66	N/D	57.18
12.5	54.42	55.96	57.94	61.21	66.17	64.73	57.73	N/D	61.25
16	59.54	58.70	63.06	75.82	79.58	79.34	68.93	N/D	72.46
20	61.87	60.85	65.39	83.82	86.36	87.34	75.00	N/D	78.52
25	62.83	62.93	66.36	83.49	85.64	87.02	74.10	N/D	77.63
31.5	66.06	65.55	69.58	85.72	84.50	89.24	73.17	N/D	76.69
40	72.20	68.96	75.72	90.20	93.31	93.72	80.30	N/D	83.82
50	80.00	78.89	83.52	93.17	100.08	96.69	85.13	N/D	88.65
63	90.06	89.75	93.58	92.42	101.99	95.95	94.47	N/D	97.99
80	95.57	94.94	99.09	93.84	101.39	97.36	96.28	N/D	99.80

Tab. 6.7 - Sorgente vibratoria. Ampiezze spettrali delle componenti longitudinale, trasversale e verticale

6.4.2 Modello di attenuazione con la distanza per i tratti in superficie

L'attenuazione del campo vibrazionale con la distanza misurata da una sorgente vibratoria, sia essa posta in superficie oppure in galleria, è principalmente funzione dell'effetto combinato di due fenomeni:

- *l'attenuazione geometrica*, legata al fenomeno di propagazione dell'energia vibratoria entro volumi di terreno crescenti con la distanza dalla sorgente. In un mezzo omogeneo essa è legata sia alla geometria della sorgente (puntuale, lineare, etc.), sia alle caratteristiche del dominio sede dei fenomeni propagatori (presenza di frontiere, discontinuità, etc.). L'attenuazione geometrica dipende poi dal particolare tipo di campo vibratorio

studiato e si manifesta per esempio in modo diverso per le onde di volume rispetto alle onde di superficie o di interfaccia.

- *l'attenuazione materiale del mezzo*, legata alle caratteristiche dissipative del mezzo all'interno del quale avviene la propagazione di energia vibratoria, in questo casi il deposito di terreno. L'attenuazione materiale del mezzo è un fenomeno complesso risultante dalla interazione di diversi meccanismi, tra cui quelli ritenuti più importanti sono le perdite di energia di natura viscosa, per attrito tra le particelle di terreno e le dissipazioni dovute al movimento relativo tra fasi solida e fluida del terreno.

Poiché l'attenuazione del campo vibratorio con la distanza è fortemente influenzata dalle proprietà dinamiche dei terreni attraversati, dalle caratteristiche locali dell'infrastruttura (presenza di manufatti, variazioni di sezione ecc.), nonché dalla velocità e composizione del treno, si è assunto cautelativamente di trascurare l'attenuazione delle vibrazioni indotte dal traffico ferroviario entro i primi 10 m dalla linea (campo vicino). Per i ricettori posti a distanze r > 10 m l'attenuazione è stata valutata sulla base delle seguenti assunzioni:

- il mezzo sede di propagazione delle vibrazioni meccaniche è *debolmente dissipativo* (D_S<5%);
- il campo vibratorio nel campo lontano (*"far-field"*) è costituito unicamente da onde di superficie, ed in particolare da *onde di Rayleigh*;
- la geometria della sorgente vibratoria in movimento rappresentata dal convoglio ferroviario è ipotizzata *lineare*.

E' utile ricordare che per una sorgente lineare superficiale le onde di volume, lungo la superficie, si attenuano geometricamente come $1/r^{-1.5}$ dove r è la distanza dalla sorgente, mentre le onde di Rayleigh non subiscono alcuna attenuazione geometrica. Pertanto, il trascurare il contributo delle onde di volume nella previsione dei livelli vibrazionali a distanze maggiori di 10 m dall'asse del tracciato, appare ragionevole in virtù: a) del rapido decadimento con la distanza del contributo delle onde di volume, e b) dell'ipotesi cautelativa di assimilare il convoglio ferroviario ad una sorgente lineare.

In virtù delle assunzioni fatte, l'ampiezza spettrale A(r,ω) del campo vibratorio in funzione della distanza r dalla linea ferroviaria è stata calcolata mediante il seguente modello teorico semplificato di propagazione:

$$A(r,\omega) = A(r_0,\omega)\cdot 10^{-[\,B/20+0.434\cdot\alpha_R(r-r_0)\,]} \qquad [1]$$

dove $A(r_0,\omega)$ è l'ampiezza spettrale misurata in corrispondenza della distanza r_0 dalla linea ferroviaria (nella fattispecie, il segnale stimato a 10m di distanza), B è una costante di calibrazione determinata sulla base delle misure sperimentali disponibili, ω è la frequenza angolare in rad/s, e infine $\alpha_R=\alpha_R\omega$ il fattore di attenuazione delle onde di Rayleigh funzione della frequenza.

In un mezzo stratificato il fattore α_R è espresso dalla seguente relazione (Aki & Richards, 1980):

$$\alpha_R = \frac{\omega}{{V_R}^2}\cdot\left\{\sum_i^N V_{P_i}\cdot\left(\frac{\partial V_R}{\partial V_P}\right)_i\cdot D_{P_i} + \sum_i^N V_{S_i}\cdot\left(\frac{\partial V_R}{\partial V_S}\right)_i\cdot D_{S_i}\right\} \qquad [2]$$

dove:

- V_R è la velocità di fase associata alle onde di Rayleigh;

- V_P e V_S sono rispettivamente la velocità di propagazione longitudinale e trasversale che caratterizza ciascuno degli N strati che costituiscono il deposito di terreno;
- D_P e D_S sono rispettivamente il coefficiente di smorzamento intrinseco longitudinale e trasversale di ciascuno degli N strati che costituiscono il deposito di terreno;
- $\partial N_R/\partial N_P$ e $\partial N_R/\partial N_S$ sono le derivate parziali della velocità di fase delle onde di Rayleigh rispetto alla velocità di fase delle onde di volume di ciascuno degli N strati che costituiscono il deposito di terreno.

Il fattore di attenuazione delle onde di Rayleigh α_R si fa dipendere unicamente dalle proprietà dinamiche degli strati costituenti il deposito di terreno ed in particolare dalla loro rigidezza e dal fattore di smorzamento. In Figura 6.16 sono riportate le curve del fattore di attenuazione per i cinque profili tipo individuati (S1, S2, S3,S4 e S5).

Per quel che concerne la componente longitudinale, se la sorgente fosse rigorosamente lineare, essa sarebbe nulla nell'ipotesi di trascurare il contributo delle onde di volume (limitate al *near-field*), poiché l'ellisse di Rayleigh descritta dalle particelle di terreno risulta contenuta nel piano perpendicolare alla linea ferroviaria e quindi comprenderebbe le sole componenti verticale e trasversale. Tuttavia, al fine di considerare l'effetto indotto dalla lunghezza finita del treno, oltre che la presenza di irregolarità di tracciato, tali da indurre la generazione di un campo propagatorio non adererente completamente, in realtà, alle ipotesi teoriche (anche per la presenza di rifrazioni e riflessioni indotte dalla geometria *reale* del problema), è stata presa in conto anche la componente longitudinale.

Per i tratti in rilevato è stata assunta, in via cautelativa, nulla l'attenuazione dovuta all'infrastruttura ferroviaria.

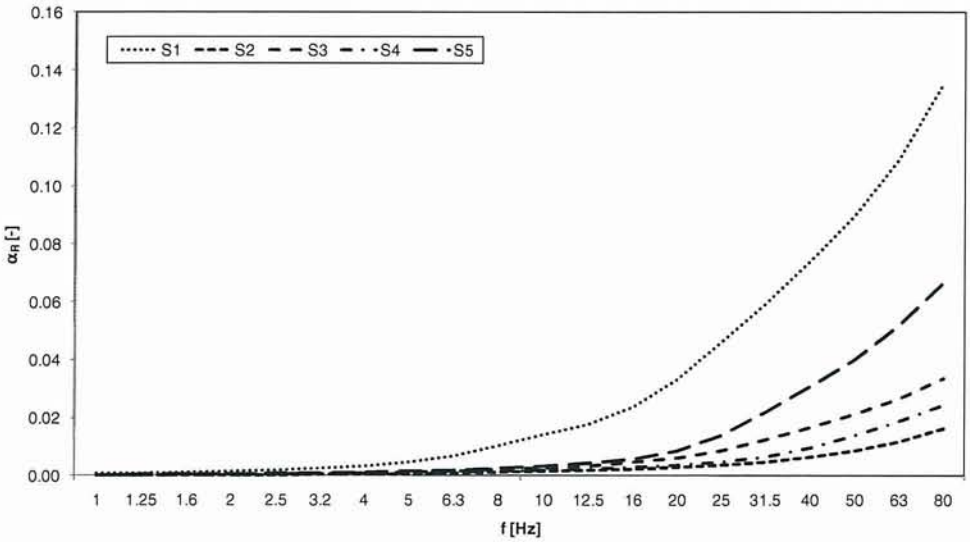


Fig. 6.16 - Curve di attenuazione delle onde di superficie di Rayleigh calcolate sulla base del modello teorico per i 5 Profili S1, S2, S3, S4,S5 individuati

6.4.3 Modello di attenuazione con la distanza per i tratti in galleria

L'effetto dell'infrastruttura ferroviara sul segnale vibratorio nel suo cammino di propagazione dalla sorgente in galleria alla superficie è stata anche condotta sulla scorta delle misure eseguite in sito a Palermo nell'ambito di un progetto precedente (vedi Doc. Rif. " Raddoppio Palermo C.Le Brancaccio/ - Carini. Tratta B Variante Palermo Notarbartolo – La Malfa. Studio Vibrazionale. RS1002D22RFM0006001A"). In particolare, la stima dell'attenuazione dovuta all'effetto di interazione dell'infrastruttura ferroviaria con il terreno circostante è stata valutata ponendo a confronto gli spettri misurati nel sito di Palermo dai seguenti sensori:

- A1.S1 e A2.S1, per valutare l'effetto di attenuazione tra il camminamento di una galleria naturale e la superficie al di sopra della stessa, con basso ricoprimento (linea nera in Fig. 6.17);
- A1.S1 e A1.S3 per valutare l'effetto di attenuazione tra la registrazione al camminamento della galleria ed il segnale in superficie, in corrispondenza di una galleria artificiale, con basso ricoprimento (linea nera puntinata in Fig. 6.17);

In Fig. 6.17 sono rappresentate le suddette attenuazioni medie (± 1 sqm) misurate sperimentalmente lungo le tre componenti, generalizzate attraverso una linearizzazione (in rosso), inserita nel modello di simulazione. In Tab. 6.8 sono riportate le ordinate spettrali per ciascuna delle componenti longitudinale, trasversale e verticale dell'attenuazione linearizzata. Fino ad una copertura pari a 10m, è stata cautelativamente assunto nullo tale effetto.

Per tenere conto dell'approfondimento della galleria, per profondità del piano del ferro superiori a 20m, è stata simulata l'attenuazione geometrica del segnale vibratorio attraverso un modello di propagazione basato sull'ipotesi fronte d'onda cilindrico per sorgente lineare in profondità (attenuazione in ampiezza con la radice di 1/r). Considerando diverse quote di approfondimento del binario D = 10, 20, 30, 40 e 50m, la quota parte di attenuazione aggiuntiva ΔL legata all'approfondimento del binario sarà data da:

$$\Delta L = 20\log_{10}\left[(D)^{-0.5}\right]$$

I valori di attenuazione sono riassunti in Tab. 6.9.

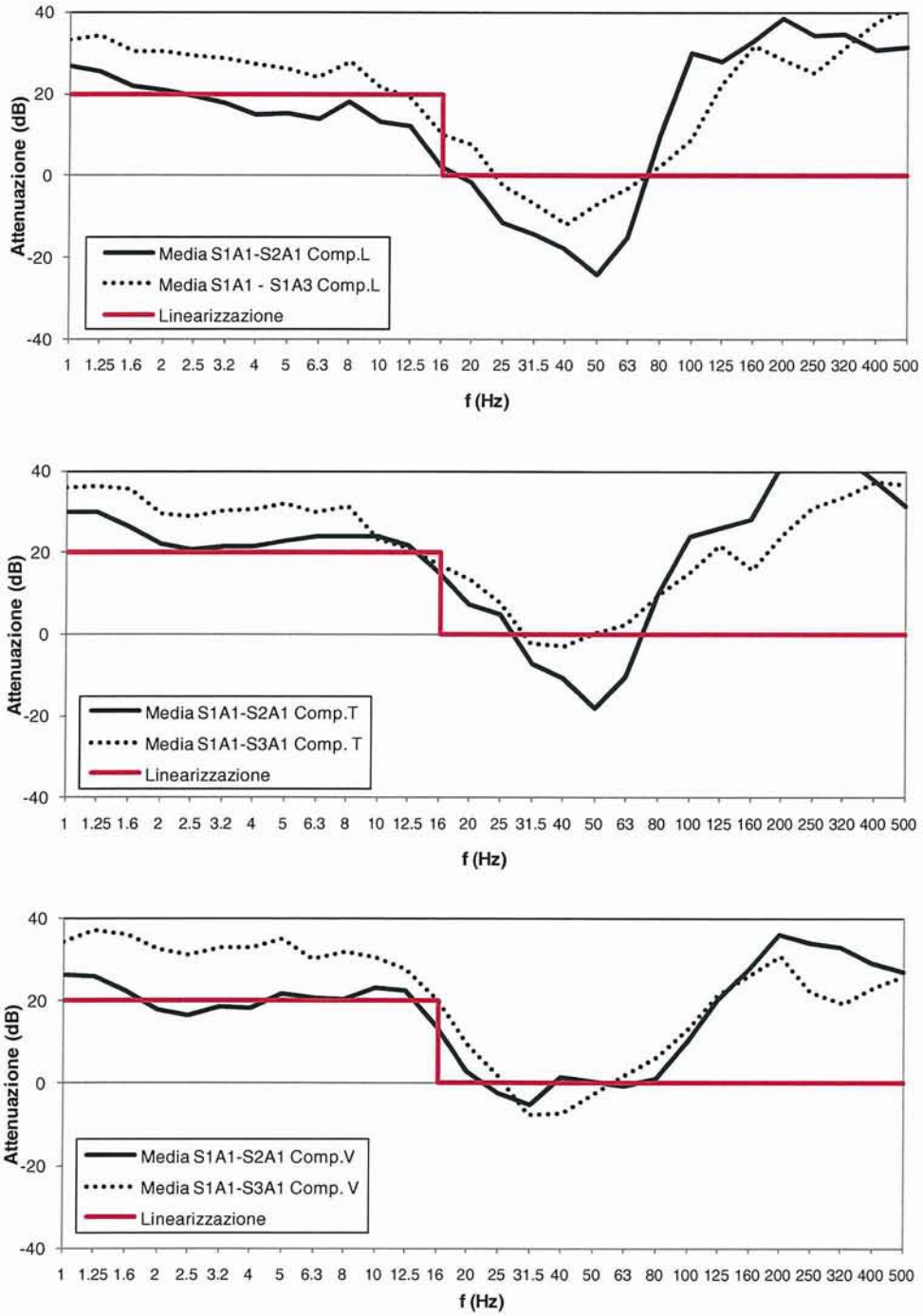


Fig. 6.17 - Misure condotte a Palermo (2010) su linea in galleria. Attenuazione misurata tra stradello ferroviario e superficie lungo le tre componenti longitudinale (sopra), trasversale (al centro) e verticale (in basso). Galleria naturale: linee nere continue. Galleria artificiale: linee nere puntinate. In rosso: linearizzazione adottata nel modello di simulazione

Copertura 10-20m			Copertura 20-30m			Copertura 30-50m		
L	T	V	L	T	V	L	T	V
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
20	20	20	30	30	30	35	35	35
0	0	0	10	10	10	15	15	15
0	0	0	10	10	10	15	15	15
0	0	0	10	10	10	15	15	15
0	0	0	10	10	10	15	15	15
0	0	0	10	10	10	15	15	15
0	0	0	10	10	10	15	15	15
0	0	0	10	10	10	15	15	15

Tab. 6.8 - Attenuazione in dB dovuta all'effetto di interazione terreno struttura per linea in galleria

D	ΔL
20-30 m	10 dB
30- 50 m	15 dB

Tab. 6.9 - Attenuazione geometrica aggiuntiva per effetto dell'approfondimento della galleria

6.4.4 Propagazione negli edifici

Nella procedura seguita per il calcolo dei livelli di vibrazione ai ricettori è stato considerato quale spettro al ricettore (persona) quello calcolato in campo libero, non tenendo conto dell'effetto indotto dalle strutture di fondazione, verticali e di piano sul livello di vibrazione all'interno degli edifici. Tale assunzione deriva essenzialmente dalle tre considerazioni seguenti:

1. la mancanza di informazioni dettagliate sulle caratteristiche degli edifici che consentano di determinare le modalità di propagazione della sorgente vibratoria all'interno degli stessi.

2. la specificità di risposta di ogni edificio in termini di amplificazione o attenuazione del livello di vibrazione. Tale specificità rende difficile estendere il risultato ottenuto su di un edificio agli edifici circostanti, tranne nel caso di evidente somiglianza (tipologia di struttura verticale, numero di piani, tipologia di orizzontamento, anno di costruzione, stato di conservazione). In misure condotte in progetti analoghi per la valutazione della risposta strutturale, si riscontra una sostanziale costanza del livello complessivo di vibrazione (calcolato secondo le indicazioni della norma UNI 9614) nel passaggio dal piano basso al piano alto dell'edificio.

3. da esperienze precedenti e dati di letteratura tecnica (ad esempio, Pezzoli, 2004), l'effetto di amplificazione indotto dal comportamento elastico delle solette sul livello di vibrazione al centro dei locali di abitazione (localizzato nell'intorno della frequenza propria di vibrazione dell'orizzontamento) è compensato su di uno spettro di frequenza più ampio dall'effetto di attenuazione indotto dall'accoppiamento terreno-struttura a livello fondazionale.

Per le ragioni suddette verranno nel seguito calcolati i livelli di vibrazione indotti in campo libero. Nelle fasi successive di progettazione potrà essere eventualmente preventivata l'esecuzione di prove mirate alla caratterizzazione del comportamento strutturale su di un campione rappresentativo di edifici tenendo conto anche del comportamento fondazionale (in termini di attenuazione del segnale vibratorio). Allorché gli edifici siano localizzati a notevole distanza da sorgenti vibrazionali (linee ferroviarie, transiti di mezzi pesanti ecc.) potranno essere usati metodi alternativi di eccitazione quali martelli battenti, vibrocompattatori, passaggi di veicoli gommati su ostacoli ecc. nelle vicinanze delle edificio sede delle misure.

6.4.5 Valutazione delle interferenze

Le simulazioni per la stima del livello vibratorio atteso in fase di esercizio della linea sono state condotte per le 3 diverse tipologia di linea in progetto (galleria naturale/artificiale, rilevato e viadotto), considerando i cinque diversi profili stratigrafici tipo precedentemente illustrati per i quali è stata stimata la curva di attenuazione nel terreno con la distanza.

Per la valutazione del livello di vibrazione a distanze crescenti dalla linea, sono stati impiegati gli spettri di sorgente definiti nel paragrafo 6.3.1 propagati attraverso la funzione di attenuazione introdotta nel paragrafo 6.3.2, tenendo conto dell'effetto di attenuazione della sorgente indotto dalla struttura di galleria naturale/artificiale con l'approfondimento (paragrafo 6.3.3).

In particolare, sono stati calcolati gli spettri di accelerazione in dB attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea. I risultati numerici sono riportati nelle Tabelle 6.10 e seguenti in termini di (a) livelli spettrali ponderati per postura non nota o variabile dell'individuo (UNI9614) e (b) valore complessivo di accelerazione ponderato L_w. Tutti i livelli calcolati fanno riferimento agli assi combinati (longitudinale, trasversale e verticale).

In Figura 6.18 e seguenti sono rappresentati in forma grafica i valori tabellari sopra descritti. Le tipologie di tracciato analizzate sono le seguenti:

- dalla pk. 1+600 di inizio progetto alla pk. 7+600 della linea AV/AC Venezia-Trieste e dalla pk. 0+000 alla pk. 0+640 della linea di interconnessione Udine-Trieste: tratto in rilevato con profilo stratigrafico ascrivibile al Primo Settore (S1);

- dalla pk 0+640 alla pk. 1+290 del binario pari della linea di interconnessione Udine-Trieste: tratto in galleria artificiale con copertura massima pari a circa 20m e profilo stratigrafico ascrivibile al Secondo Settore (S2);

- dalla pk. 1+290 alla pk. 4+820 (fine tracciato della linea di interconnessione Udine - Trieste, binario pari): tratto in rilevato che attraversa il profilo stratigrafico S2;
- dalla pk. 8+466 alla pk. 8+855 del binario dispari della linea Venezia- Trieste: tratto in galleria con approfondimento fino a circa 50m;
- dalla pk 8+466 alla pk. 8+871: tratto in galleria naturale con approfondimento fino a 20m circa e profilo stratigrafico S2.
- dalla pk. 9+237 alla pk. 9+333: tratto in galleria artificiale con approfondimento fino a 20m circa e profilo stratigrafico S2.
- dalla pk. 12+330 alla pk. 12+725: tratto in rilevato con profilo stratigrafico tipo S2;
- dalla pk. 17+100 alla pk. 17+675: tratto in galleria naturale con approfondimento maggiore di 20m; dalla pk. 17+675 alla pk. 17+850 tratto in galleria artificiale (copertura tra 10-20m) e dalla pk. 17+850 alla 18+800 tratto in galleria naturale con approfondimento del p.f. variabile tra 20 e 50m. Questi tratti interessano il profilo stratigrafico tipo S2;
- dalla pk. 23+000 alla pk. 24+477 tratto in rilevato con profilo stratigrafico S3.
- dalla pk. 0+740 alla pk. 1+675 della variante LS TS C.LE – Villa Opicina B.P. : tratto in rilevato con profilo stratigrafico tipo S3.
- dalla pk. 24+477 alla pk. 25+052 tratto dove è previsto un camerone di interconnessione (copertura tra 10-30m) e dalla pk. 25+052 alla pk. 25+452 tratto in galleria naturale con approfondimento maggiore di 20m; dalla pk. 25+452 alla pk. 25+662 è previsto un ulteriore camerone di interconnessione con approfondimento tra 30 e 50 m. Tali tratti intercettano il profilo stratigrafico S3.

In sintesi, date le premesse sulla presenza di ricettori e profondità di ricoprimento al par. 6.7, nello studio vengono analizzati i seguenti 11 casi (vedi la matrice in Tab. 6.10):

- Tratti in rilevato con profilo stratigrafico S1, S2 e S3;
- Tratti in galleria naturale/artificiale con coperture variabili (da 0-10m, 10-20, e 20-30 e 30-50m) che attraversano terreni rappresentati dai profili stratigrafici S2 e S3.

Non sono stati analizzati tratti in viadotto.

	Profilo stratigrafico				
Opera	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**
Rilevato	X	X	X		
Viadotto					
Galleria - Approfondimento 0-10m		X	X		
Galleria - Approfondimento 10-20m		X	X		
Galleria - Approfondimento 20-30m		X	X		
Galleria - Approfondimento 30-50m		X	X		

Tab. 6.10 - Matrice dei casi analizzati (esclusi i tratti potenzialmente privi di criticità)

Definendo fascia di impatto il corridoio a cavallo della linea entro il quale si ha il superamento dei limiti UNI9614 per edifici notturni (L_{eq},ponderato > 74dB), possono essere fatti i seguenti commenti:

- nei tratti in rilevato che intercettano terreni tipo S1, la fascia di impatto è pari a 40m per lato della linea. Si superano i limiti di disturbo per edifici critici in una fascia di distanza di 60m (vedi Fig. 6.18 e Tab. 6.11).
- nei tratti in rilevato che intercettano terreni tipo S2, la fascia di impatto, probabilmente sovrastimata (vedi dopo), risulta di larghezza pari a circa 250 m per lato dalla linea. Il tratto S2, data l'elevata rigidità dei terreni, risulta essere il più critico dal punto di vista dell'impatto vibrazionale (vedi Fig. 6.19 e Tab. 6.12).
- nei tratti in rilevato che intercettano terreni tipo S3, la fascia di impatto è di ampiezza pari a 200 m per lato della linea. Anche in questo caso l'elevata rigidità dei terreni conduce ad un risultato probabilmente sovrastimato (vedi Fig. 6.20 e Tab. 6.13).
- nei tratti in galleria con bassa copertura da 0-10m che intercettano terreni tipo S2, la fascia di impatto ha ampiezza in pianta di circa 65m per lato (vedi Fig. 6.21 e Tab. 6.14).
- nei tratti in galleria con copertura da 10-20m che intercettano terreni tipo S2, la fascia di impatto risulta di ampiezza pari a circa 55m per lato (vedi Fig. 6.22 e Tab. 6.15)
- nei tratti in galleria con bassa copertura da 0-10m che intercettano terreni tipo S3, l'impatto si raggiunge ad una distanza di circa 35m dalla linea (vedi Fig. 6.25 e Tab. 6.18).
- nei tratti in galleria con copertura da 10-20m che intercettano terreni tipo S3, l'impatto si raggiunge ad una distanza di circa 25m (vedi Fig. 6.26 e Tab. 6.28).
- nei tratti in galleria con copertura superiore a 20m, in corrispondenza dei due profili stratigrafici S2 e S3, non si raggiungono mai in superficie livelli di vibrazione superiori ai limiti di norma lungo tutto il tracciato. Tali tratti risultano non critici (vedi Figg. 6.23, 6.24, 6.27, 6.28 e Tabb. 6.16, 6.17, 6.20 e 6.21).

6.4.6 Interventi di mitigazione

Sulla base dei risultati ottenuti, risultano critici e quindi probabili sede di interventi di mitigazione del tipo materassini antivibranti (da dimensionare nel corso delle successive fasi di progettazione, sulla base di appositi rilievi sperimentali) i seguenti tratti di linea in progetto:

- dalla pk. 1+600 alla pk. 4+800 in rilevato;
- dalla pk. 5+600 alla pk. 7+300 in rilevato;
- dalla pk. 12+330 alla pk. 12+725 in rilevato;
- dalla 18+000 alla pk.18+290 in galleria artificiale;
- dalla pk. 23+000 alla pk. 24+300 tratto in rilevato;
- dalla pk. 0+000 alla pk. 0+640 della linea di interconnessione Udine –Trieste in rilevato;
- dalla pk 0+640 alla pk. 1+290 della linea di interconnessione Udine –Trieste in galleria;
- dalla pk. 1+290 alla pk. 4+820 della linea di interconnessione Udine –Trieste in rilevato;
- dalla pk. 0+000 alla pk. 1+675 tratto in rilevato della variante L.S. TS.C.LE – Villa Opicina B.P.

Come osservato più sopra, i tratti caratterizzati da elevata rigidezza delle formazioni geologiche incontrate sono caratterizzati nei risultati da fasce di impatto particolarmente ampie. Anche sulla base di esperienze pregresse, è ragionevole attendersi che gli approfondimenti propri di una maggiore definizione progettuale, supportato da punatuali misure di attenuazione del segnale vibratorio, possano portare a un ridimensionamento significativo dell'area di territorio impattato valutata che, pertanto, può essere considerata ampiamente cautelativa.

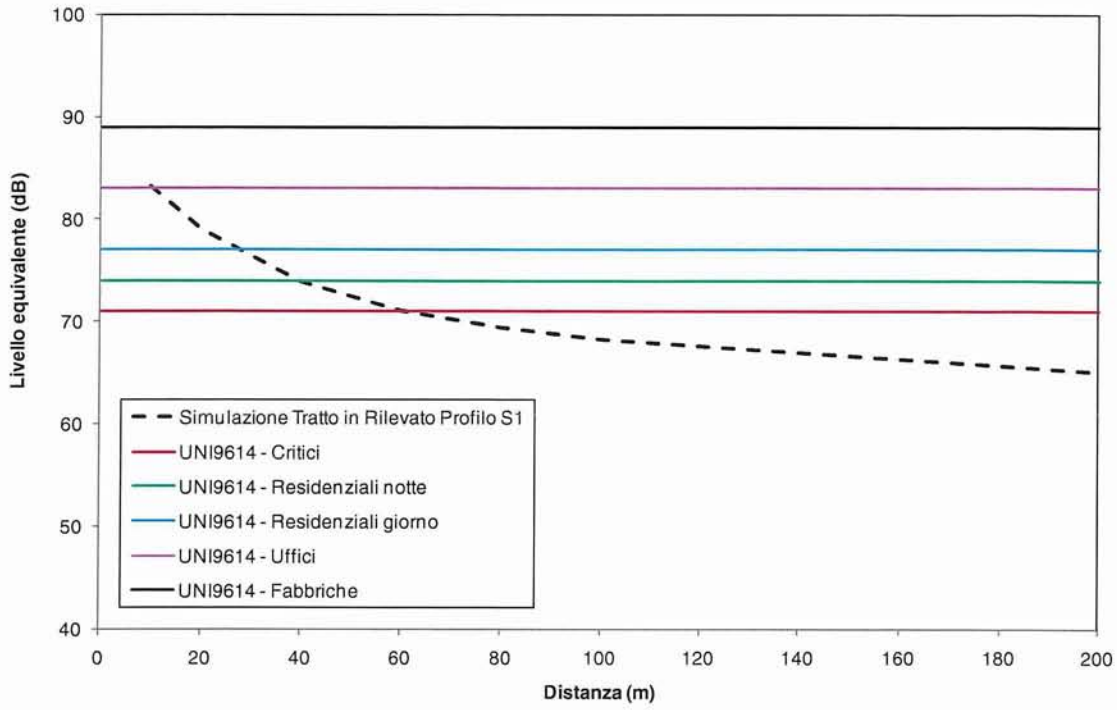


Fig. 6.18 - Tratto in rilevato, profilo stratigrafico S1. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

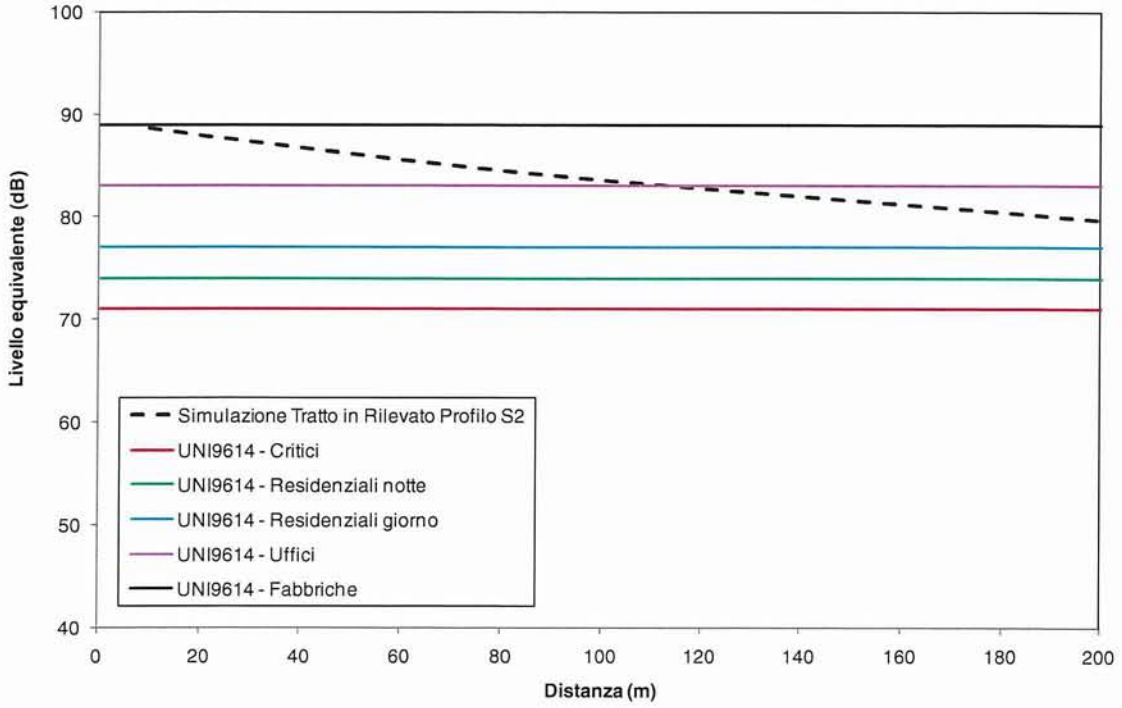


Fig. 6.19 - Tratto in rilevato, profilo stratigrafico S2. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

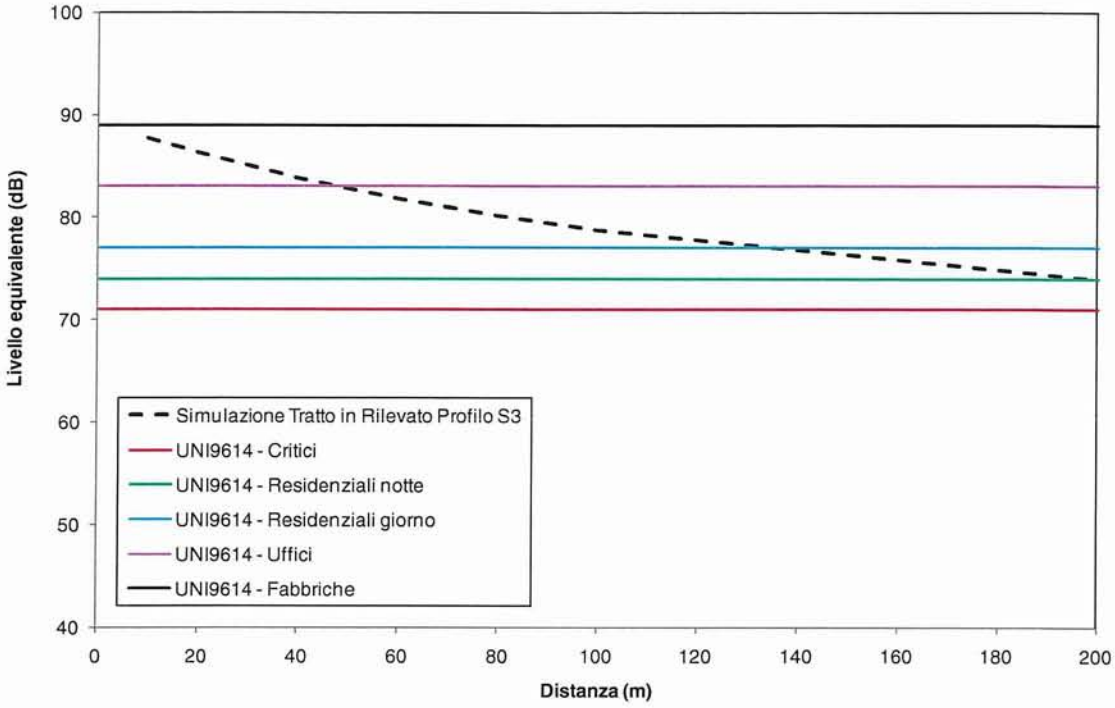


Fig. 6.20 - Tratto in rilevato, profilo stratigrafico S3. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

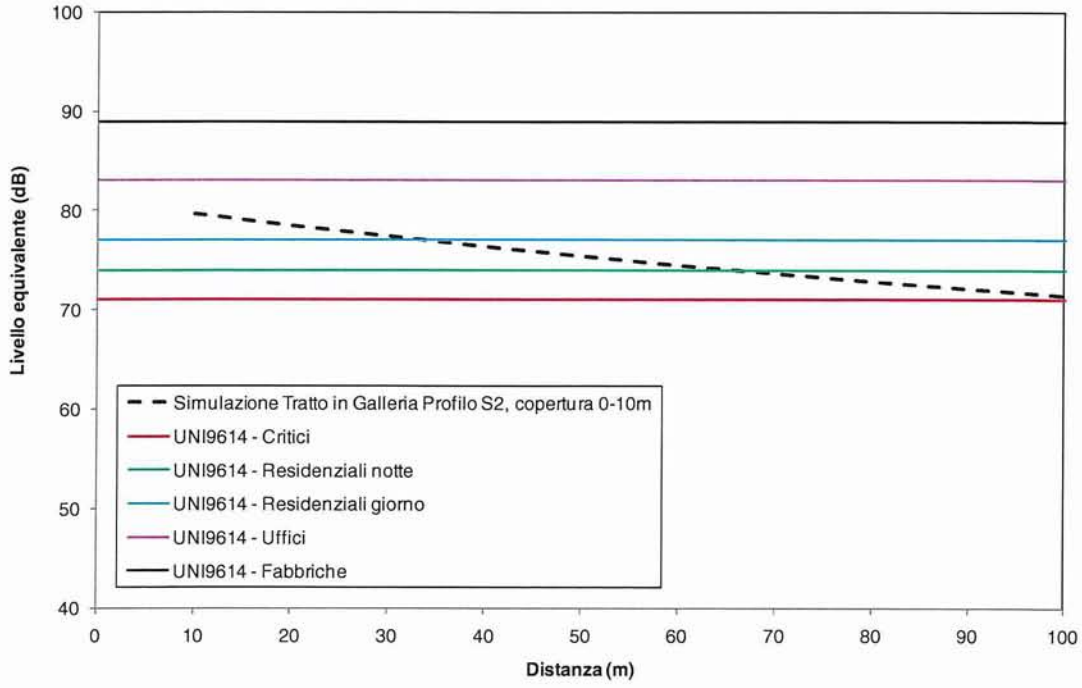


Fig. 6.21 - Tratto in galleria, profilo stratigrafico S2, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 0-10m. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

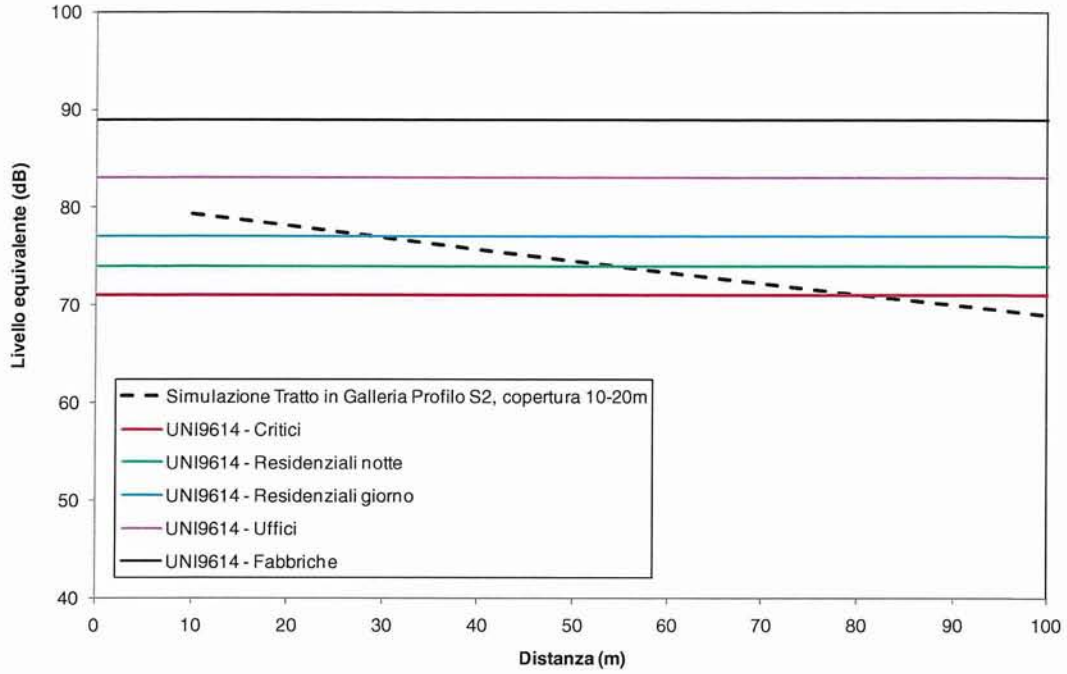


Fig. 6.22 - Tratto in galleria, profilo stratigrafico S2, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 10-20m. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

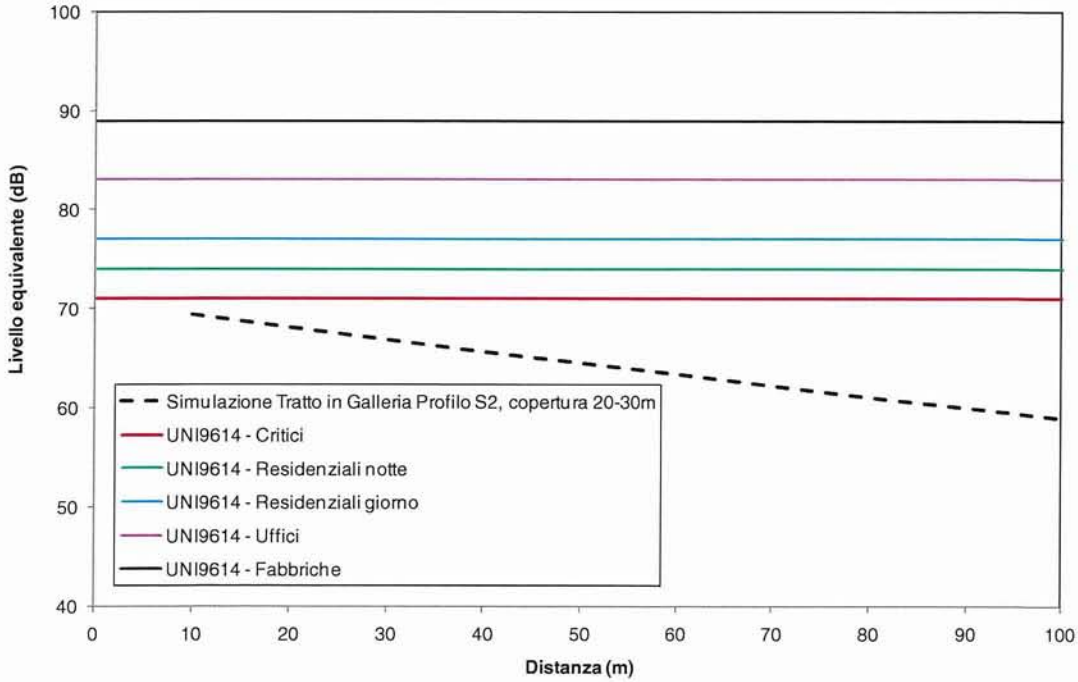


Fig. 6.23 - Tratto in galleria, profilo stratigrafico S2, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 20-30m. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

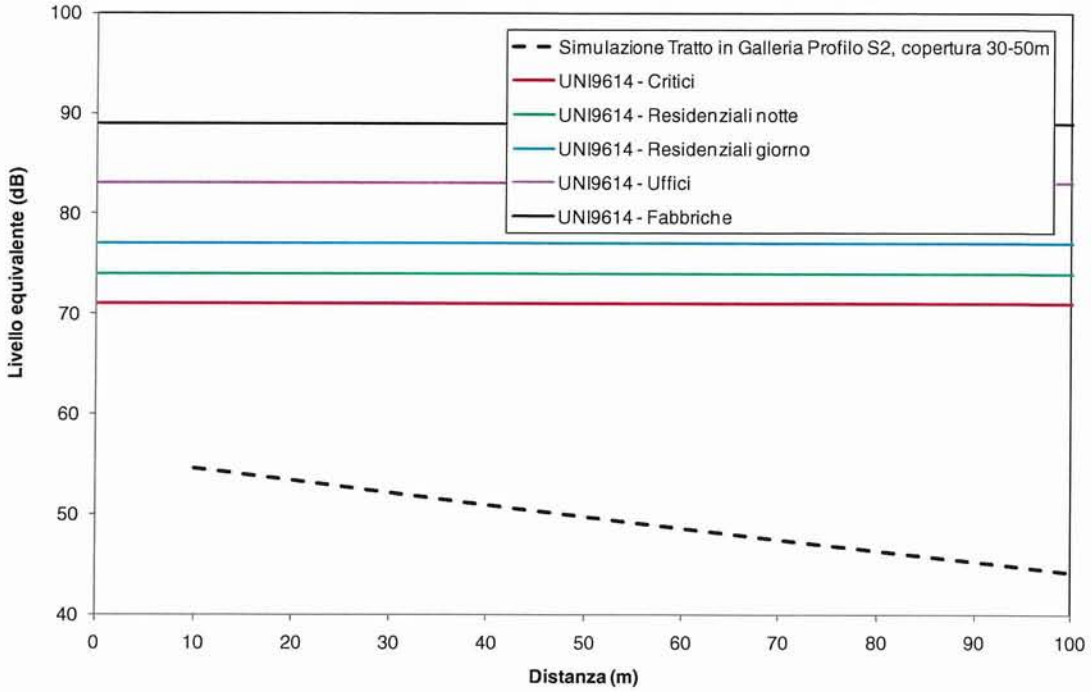


Fig. 6.24 - Tratto in galleria, profilo stratigrafico S2, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 30-50m. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

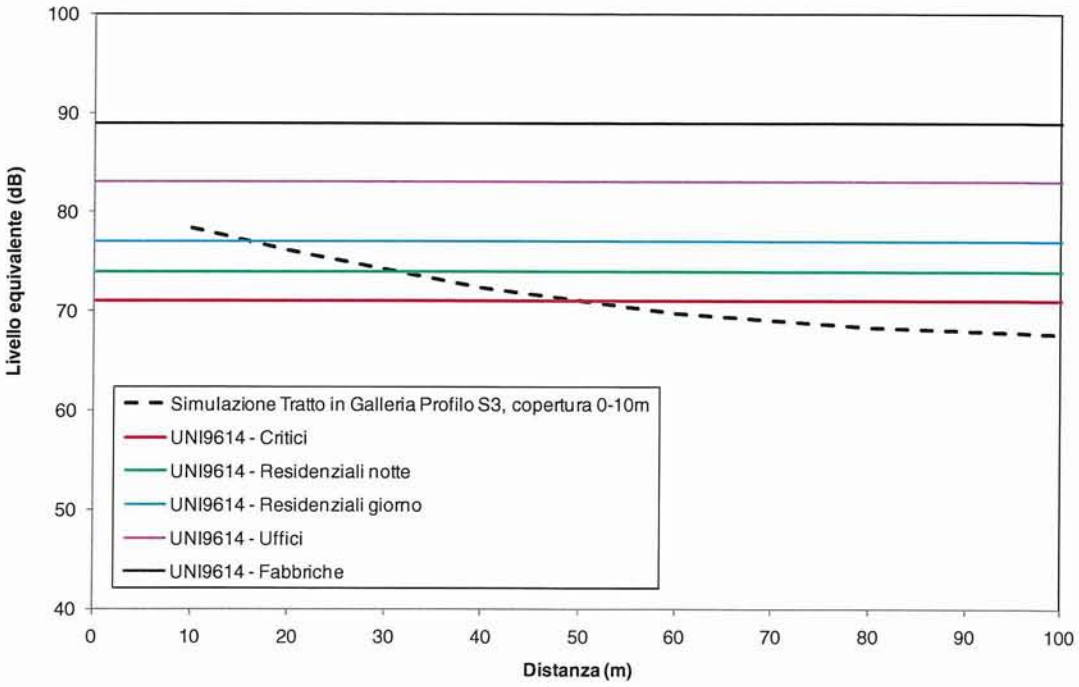


Fig. 6.25 - Tratto in galleria, profilo stratigrafico S3, con approfondimento del p.f. dal p.c inferiore a 10m. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

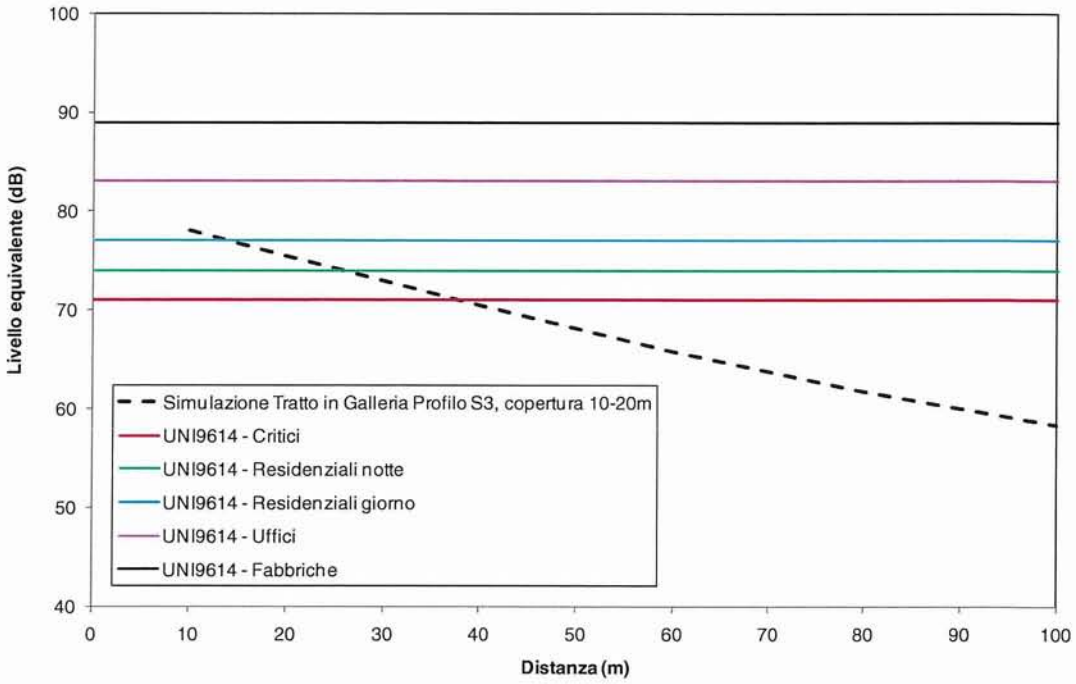


Fig. 6.26 - Tratto in galleria, profilo stratigrafico S3, con con approfondimento del p.f. dal p.c tra 10-20m. Livelli di vibrazioni equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

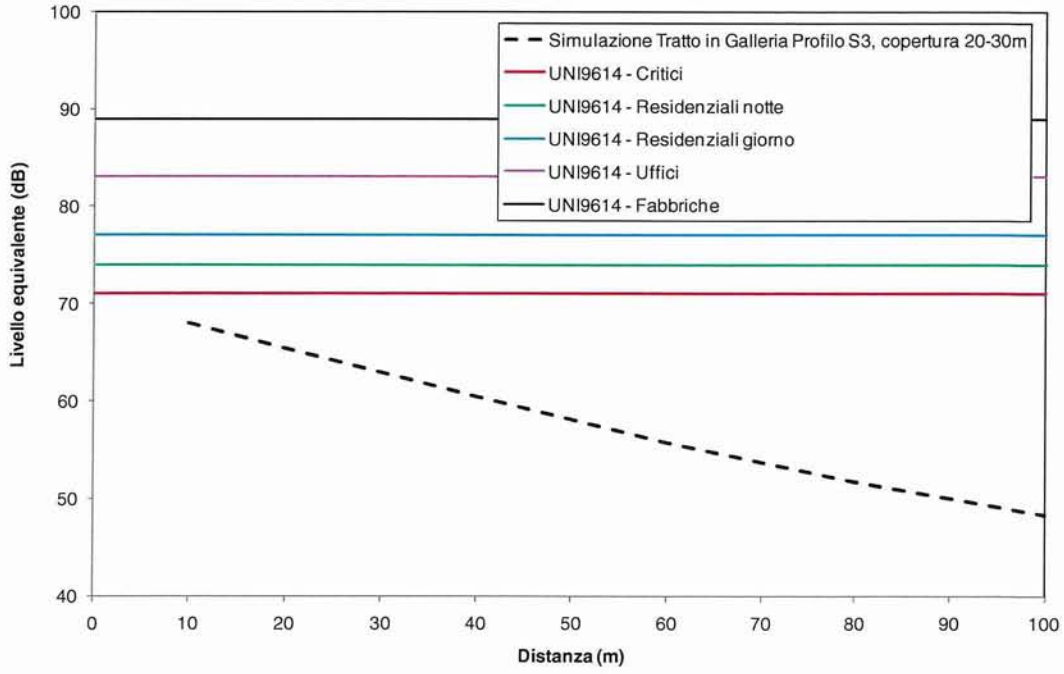


Fig. 6.27 - Tratto in galleria, profilo stratigrafico S3, con con approfondimento del p.f. dal p.c tra 20-30m. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

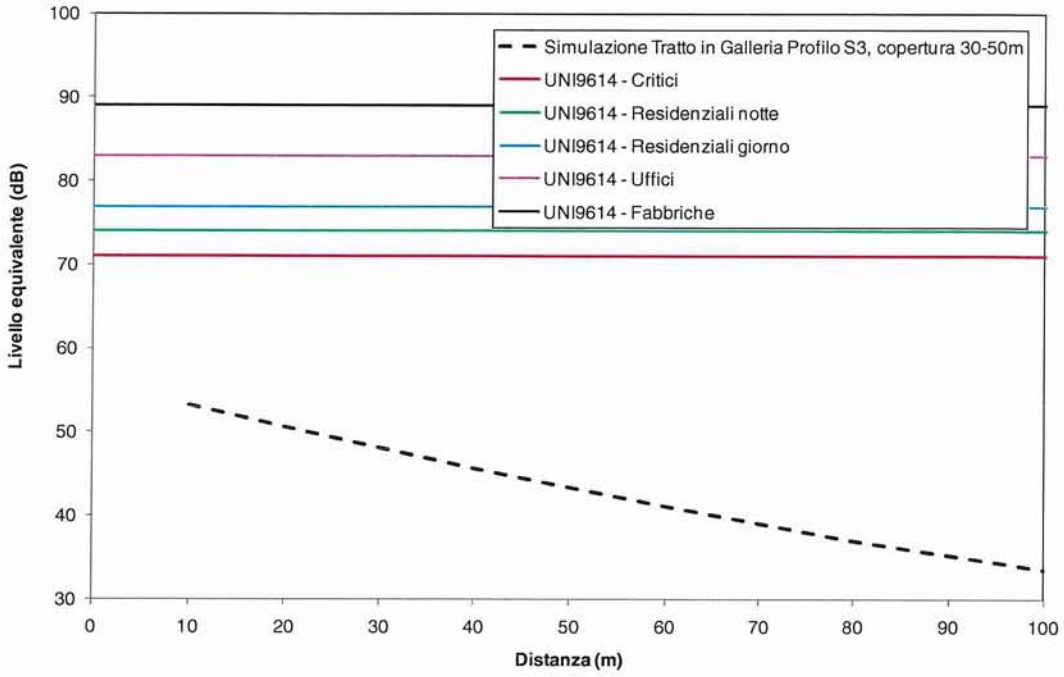


Fig. 6.28 - Tratto in galleria, profilo stratigrafico S3, con con approfondimento del p.f. dal p.c tra 30-50m. Livelli di vibrazione equivalenti a distanze crescenti dalla linea a confronto con i limiti di norma UNI 9614 per le diverse categorie di edifici

	Distanza (m)						
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**	**200**
1	45	45	45	45	45	45	44
1.25	49	49	48	48	48	48	47
1.6	53	53	53	53	52	52	51
2	59	59	59	59	58	58	57
2.5	65	64	64	64	63	63	61
3.2	59	59	59	58	58	57	55
4	60	60	59	59	58	57	54
5	63	62	62	61	60	59	55
6.3	65	65	64	62	61	60	54
8	65	64	62	60	59	57	48
10	57	56	53	51	48	46	34
12.5	61	60	57	54	50	47	32
16	72	70	66	62	58	54	33
20	77	74	68	63	57	51	22
25	74	70	62	54	46	38	-2
31.5	72	66	56	46	36	25	-26
40	74	68	55	42	29	16	-48
50	76	68	52	37	21	5	-72
63	73	63	44	25	6	-13	-107
80	69	57	33	10	-14	-37	-155
Lw [dB]	**83**	**79**	**74**	**71**	**69**	**68**	**65**

Tab. 6.11 - Tratto in rilevato con profilo stratigrafico S1. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)						
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**	**200**
1	46	46	45	45	45	45	45
1.25	49	49	49	49	49	49	48
1.6	53	53	53	53	53	53	53
2	60	60	59	59	59	59	59
2.5	65	65	65	65	64	64	64
3.2	60	60	59	59	59	59	59
4	60	60	60	60	60	60	59
5	63	63	63	63	63	63	62
6.3	66	66	66	66	65	65	64
8	66	66	65	65	65	65	64
10	58	58	58	58	57	57	56
12.5	63	63	62	62	62	61	60
16	74	74	74	73	73	72	70
20	80	80	79	79	78	77	75
25	77	77	76	76	75	75	71
31.5	76	76	75	74	73	73	68
40	80	79	78	77	76	75	69
50	83	82	80	79	77	76	68
63	81	80	78	76	74	72	62
80	79	78	75	72	69	66	52
L_w [dB]	**89**	**88**	**87**	**86**	**85**	**84**	**80**

Tab. 6.12 - Tratto in rilevato con profilo stratigrafico S2. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)						
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**	**200**
1	46	45	45	45	45	45	45
1.25	49	49	49	49	49	49	48
1.6	53	53	53	53	53	53	53
2	60	59	59	59	59	59	59
2.5	65	65	65	64	64	64	64
3.2	60	59	59	59	59	59	58
4	60	60	60	60	60	60	59
5	63	63	63	62	62	62	61
6.3	66	66	65	65	65	65	63
8	66	66	65	65	64	64	62
10	58	58	57	57	56	56	54
12.5	63	62	62	61	60	60	57
16	74	74	73	72	71	70	66
20	79	79	78	77	76	75	69
25	77	76	75	73	72	70	63
31.5	76	75	72	70	68	66	55
40	79	78	75	72	69	66	51
50	81	80	76	72	69	65	47
63	80	78	73	69	64	59	36
80	78	75	69	63	57	51	22
Lw [dB]	**88**	**86**	**84**	**82**	**80**	**79**	**74**

Tab. 6.13 - Tratto in rilevato con profilo stratigrafico S3. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)					
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
1	52	52	52	52	52	52
1.25	53	53	53	53	53	53
1.6	56	56	56	56	56	56
2	58	58	58	58	58	58
2.5	58	58	58	58	58	58
3.2	56	56	56	56	56	56
4	57	57	57	57	56	56
5	58	58	58	58	58	58
6.3	61	61	61	61	60	60
8	60	60	60	60	59	59
10	54	54	54	54	53	53
12.5	54	54	54	53	53	53
16	56	56	56	55	55	55
20	57	56	56	55	55	54
25	56	56	55	54	54	53
31.5	57	56	56	55	54	53
40	60	60	59	58	56	55
50	66	66	64	63	61	60
63	74	73	71	69	67	65
80	77	76	73	70	67	64
Lw [dB]	**80**	**79**	**76**	**74**	**73**	**71**

Tab. 6.14 - Tratto in galleria con profilo stratigrafico S2, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 0-10m. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)					
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
1	32	32	32	32	32	32
1.25	33	33	33	33	33	33
1.6	36	36	36	36	36	36
2	38	38	38	38	38	38
2.5	38	38	38	38	38	38
3.2	36	36	36	36	36	36
4	37	37	37	37	36	36
5	38	38	38	38	38	38
6.3	41	41	41	41	40	40
8	40	40	40	40	39	39
10	34	34	34	34	33	33
12.5	34	34	34	33	33	33
16	36	36	36	35	35	35
20	57	56	56	55	55	54
25	56	56	55	54	54	53
31.5	57	56	56	55	54	53
40	60	60	59	58	56	55
50	66	66	64	63	61	60
63	74	73	71	69	67	65
80	77	76	73	70	67	64
Lw [dB]	**79**	**78**	**76**	**73**	**71**	**69**

Tab. 6.15 - Tratto in galleria con profilo stratigrafico S2, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 10-20m. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)					
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
1	22	22	22	22	22	22
1.25	23	23	23	23	23	23
1.6	26	26	26	26	26	26
2	28	28	28	28	28	28
2.5	28	28	28	28	28	28
3.2	26	26	26	26	26	26
4	27	27	27	27	26	26
5	28	28	28	28	28	28
6.3	31	31	31	31	30	30
8	30	30	30	30	29	29
10	24	24	24	24	23	23
12.5	24	24	24	23	23	23
16	26	26	26	25	25	25
20	47	46	46	45	45	44
25	46	46	45	44	44	43
31.5	47	46	46	45	44	43
40	50	50	49	48	46	45
50	56	56	54	53	51	50
63	64	63	61	59	57	55
80	67	66	63	60	57	54
Lw [dB]	**69**	**68**	**66**	**63**	**61**	**59**

Tab. 6.16 - Tratto in galleria con profilo stratigrafico S2, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 20-30m. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)					
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
1	8	8	8	8	8	8
1.25	8	8	8	8	8	8
1.6	12	12	11	11	11	11
2	14	14	14	14	13	13
2.5	13	13	13	13	13	13
3.2	11	11	11	11	11	11
4	12	12	12	12	12	12
5	14	14	13	13	13	13
6.3	16	16	16	16	16	16
8	15	15	15	15	15	14
10	9	9	9	9	9	8
12.5	9	9	9	8	8	8
16	12	11	11	11	10	10
20	32	32	31	31	30	30
25	31	31	30	29	29	28
31.5	32	32	31	30	29	28
40	36	35	34	33	32	31
50	42	41	39	38	36	35
63	49	48	46	44	42	40
80	53	51	48	45	43	40
L_w [dB]	**55**	**53**	**51**	**49**	**46**	**44**

Tab. 6.17 - Tratto in galleria con profilo stratigrafico S2, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 30-50m. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)					
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
1	52	52	52	52	52	52
1.25	53	53	53	52	52	52
1.6	56	56	56	56	56	56
2	58	58	58	58	58	58
2.5	58	58	58	58	58	58
3.2	56	56	56	55	55	55
4	57	57	57	56	56	56
5	58	58	58	58	58	57
6.3	61	61	61	60	60	60
8	60	60	59	59	59	58
10	54	54	53	53	52	52
12.5	54	54	53	52	52	51
16	56	56	55	54	53	53
20	56	56	55	54	53	51
25	55	55	53	52	50	49
31.5	56	55	53	51	49	46
40	59	58	55	52	49	46
50	65	63	60	56	52	49
63	73	71	66	61	57	52
80	76	73	67	61	55	49
L_w [dB]	**78**	**76**	**72**	**70**	**68**	**68**

Tab. 6.18 - Tratto in galleria con profilo stratigrafico S3, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 0-10m Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)					
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
1	32	32	32	32	32	32
1.25	33	33	33	32	32	32
1.6	36	36	36	36	36	36
2	38	38	38	38	38	38
2.5	38	38	38	38	38	38
3.2	36	36	36	35	35	35
4	37	37	37	36	36	36
5	38	38	38	38	38	37
6.3	41	41	41	40	40	40
8	40	40	39	39	39	38
10	34	34	33	33	32	32
12.5	34	34	33	32	32	31
16	36	36	35	34	33	33
20	56	56	55	54	53	51
25	55	55	53	52	50	49
31.5	56	55	53	51	49	46
40	59	58	55	52	49	46
50	65	63	60	56	52	49
63	73	71	66	61	57	52
80	76	73	67	61	55	49
L_w [dB]	**78**	**75**	**70**	**66**	**62**	**58**

Tab. 6.19 - Tratto in galleria con profilo stratigrafico S3, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 10-20m. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)					
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
1	22	22	22	22	22	22
1.25	23	23	23	22	22	22
1.6	26	26	26	26	26	26
2	28	28	28	28	28	28
2.5	28	28	28	28	28	28
3.2	26	26	26	25	25	25
4	27	27	27	26	26	26
5	28	28	28	28	28	27
6.3	31	31	31	30	30	30
8	30	30	29	29	29	28
10	24	24	23	23	22	22
12.5	24	24	23	22	22	21
16	26	26	25	24	23	23
20	46	46	45	44	43	41
25	45	45	43	42	40	39
31.5	46	45	43	41	39	36
40	49	48	45	42	39	36
50	55	53	50	46	42	39
63	63	61	56	51	47	42
80	66	63	57	51	45	39
L_w [dB]	**68**	**65**	**60**	**56**	**52**	**48**

Tab. 6.20 - Tratto in galleria con profilo stratigrafico S3, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 20-30m. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

	Distanza (m)					
Freq, Hz	**10**	**20**	**40**	**60**	**80**	**100**
1	8	8	8	8	7	7
1.25	8	8	8	8	8	8
1.6	12	11	11	11	11	11
2	14	14	13	13	13	13
2.5	13	13	13	13	13	13
3.2	11	11	11	11	11	10
4	12	12	12	12	11	11
5	14	13	13	13	13	13
6.3	16	16	16	15	15	15
8	15	15	15	14	14	14
10	9	9	9	8	8	7
12.5	9	9	8	8	7	6
16	11	11	10	9	9	8
20	32	31	30	29	28	27
25	31	30	28	27	25	24
31.5	31	30	28	26	24	22
40	35	33	30	27	24	22
50	40	39	35	31	28	24
63	48	46	41	37	32	27
80	51	48	42	36	31	25
Lw [dB]	**53**	**51**	**46**	**41**	**37**	**34**

Tab. 6.21 - Tratto in galleria con profilo stratigrafico S3, con approfondimento del p.f. dal p.c tra 30-50m. Spettri di accelerazione ponderati per postura non nota o variabile, e relativi livelli complessivi (UNI9614). Valori attesi in campo libero a distanze crescenti dalla linea

6.5 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte sono costituite sia dai residenti nella fascia di territorio adiacente la linea ferroviaria, sia dai soggetti che nella stessa fascia svolgono attività di carattere lavorativo. Come precedentemente indicato, nell'ambito del progetto sono stati introdotti specifici interventi di mitigazione delle vibrazioni al fine di evitare ogni possibile ricaduta su tali soggetti; è inoltre prevista l'esecuzione di un monitoraggio finalizzato a verificare eventuali criticità, da svolgersi nella prima fase di esercizio della linea. Di conseguenza non ci si attende che i residenti possano considerare significativo il problema vibrazionale.

7 PAESAGGIO, MORFOLOGIA E VISUALITÀ

Il presente paragrafo illustra la valutazione del potenziale impatto sul paesaggio prodotto dalle opere ferroviarie in progetto.

L'analisi della componente è stata effettuata con riferimento sia agli aspetti scenico-percettivi del territorio interessato, sia al patrimonio storico-culturale e testimoniale presente sullo stesso. La trattazione è conforme ai criteri di compatibilità paesaggistica dettati dal D.P.C.M. del 12 dicembre 2005.

7.1 Riferimenti legislativi

Il paesaggio è riconosciuto giuridicamente, in Italia, come bene in sé e patrimonio collettivo a seguito della ratifica della Convenzione Europea del Paesaggio del maggio 2006.

Con la ratifica della Convenzione, il Paesaggio supera il significato di bene riferito esclusivamente agli ambiti di eccellenza, così come fino a quel momento considerato e tutelato dall'apparato legislativo della Repubblica attraverso l'istituto del vincolo, per espandersi ad ogni parte del territorio prescindendo dai valori estetici e di qualità. Con una espressione condivisa si sancisce che "tutto è paesaggio", trascendendo la mera tutela delle aree di pregio a favore di una rinnovata attenzione di tutto lo spazio rurale ed urbano a prescindere dalle categorie estetiche attribuibili.

A seguito della ratifica della Convenzione, nonostante il portato innovativo di questa, il quadro legislativo, rispetto allo scenario consolidato, non è, però, ancora compiutamente modificato.

Di seguito si riportano i principali riferimenti normativi relativi alla componente ambientale in esame.

Costituzione della Repubblica Italiana

PRINCIPI FONDAMENTALI Art. 9 "La Repubblica [promuove lo sviluppo della cultura e la ricerca scientifica e tecnica.] Tutela il paesaggio e il patrimonio storico e artistico della Nazione dell'ecosistema e dei beni culturali"

ORDINAMENTO DELLA REPUBBLICA "TITOLO V" articolo 117

> *[...] Lo Stato ha legislazione esclusiva nelle seguenti materie: [...] tutela dell'ambiente, dell'ecosistema e dei beni culturali.*
>
> *[...] Sono materie di legislazione concorrente quelle relative a: [...] governo del territorio; [...] valorizzazione dei beni culturali e ambientali e promozione e organizzazione di attività culturali.*
>
> *[...] Nelle materie di legislazione concorrente spetta alle Regioni la potestà legislativa.*

Negli stralci sopra riportati è evidente la dicotomia tra la tutela esercitata dallo Stato ed il ruolo delle Regioni in materia di governo del territorio e quindi della trasformazione del paesaggio.

D.Lgs n.42 del 22/01/2004 "Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio"

Modificato e integrato dai D.lgs n. 156 e 157 del 24/03/2006.

PARTE TERZA, BENI PAESAGGISTICI, TITOLO I "Principi fondamentali"

> *Art. 131, § 1;2 [...] Per paesaggio si intendono parti di territorio i cui caratteri distintivi derivano dalla natura, dalla storia umana o dalle reciproche interrelazioni.*
>
> *La tutela e la valorizzazione del paesaggio salvaguardano i valori che esso esprime quali manifestazioni identitari e percepibili.*
>
> *Art. 132, § 1 Le amministrazioni pubbliche cooperano per la definizione di indirizzi e criteri riguardanti le attività di tutela, pianificazione, recupero, riqualificazione e valorizzazione del paesaggio e di gestione dei relativi interventi.*
>
> *Art. 135, § 1 Lo Stato e le regioni assicurano che il paesaggio sia adeguatamente conosciuto, tutelato e valorizzato[...]*

Oltre a stabilire i principi fondamentali relativi al paesaggio, il Codice raggruppa in se gli articolati normativi riferiti all'istituto del vincolo afferenti alle abrogate leggi 1089 e 1497 de 1939 e 431 del 1985; le relative disposizioni sono contenute negli Artt. 10, 128 136,142 del D.Lgs. 42/2004.

L'Art.146 § 2 stabilisce l'obbligo di sottoporre i progetti di trasformazione dei beni vincolati, così come specificato nel §1 dello stesso articolo, alla verifica di compatibilità paesaggistica. A tale scopo viene introdotto l'obbligo di redigere una "relazione paesaggistica" i cui contenuti sono regolati dal DPCM del 12/12/2005.

D.P.C.M. 12 dicembre 2005 "Individuazione della documentazione necessaria alla verifica della compatibilità paesaggistica"

Il Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio prevede la verifica di compatibilità paesaggistica e il rilascio dell'autorizzazione per tutti gli interventi che interferiscono con beni sottoposti a tutela.

La Relazione Paesaggistica rientra nel sistema delle autorizzazioni necessarie per eseguire interventi che modifichino i beni tutelati da vincoli paesaggistici ai sensi dell'art. 146. del D.Lgs. 42/2004.

In particolare in tale articolo viene previsto che " *La domanda di autorizzazione dell'intervento dovrà essere accompagnata da una Relazione di compatibilità Paesaggistica che indichi lo stato attuale del bene interessato, gli elementi di valore paesaggistico presenti, gli impatti sul paesaggio delle trasformazioni proposte e gli elementi di mitigazione e di compensazione necessari."*

Con il D.P.C.M. 12 dicembre 2005 sono stati definiti criteri, contenuti e documentazione che dovranno comporre la Relazione Paesaggistica, la quale costituisce, per l'Amministrazione Competente, la base di riferimento essenziale per le valutazioni previste dall'art. 146, del predetto Codice.

Quanto di seguito esposto riporta in modo esaustivo i temi previsti dalla norma, in merito a:

- Analisi dello stato attuale del paesaggio;
- Descrizione del progetto;
- Valutazione paesaggistica e suggerimento di interventi mitigativi.

7.2 Descrizione dello stato attuale

7.2.1 Premessa

Per valutare caratteristiche di tipo visuale, sceniche, percettive, non è sufficiente analizzare quantitativamente e/o qualitativamente le singole componenti del paesaggio, geomorfologiche, vegetazionali e antropiche, ma è necessario comprenderne il reciproco rapporto, cioè la struttura e l'organizzazione.

Il paesaggio, anche nei suoi aspetti scenici, è sempre l'espressione di un determinato livello di organizzazione; le sue caratteristiche percettive e, implicitamente, le sue qualità, pertanto, non dipendono direttamente da quelle dei singoli elementi che lo compongono, ma dal modo in cui essi concorrono alla costruzione dell'insieme.

Perciò, anche se i vari descrittori del paesaggio possono essere individuati e analizzati singolarmente, il giudizio sull'insieme, o su parti dell'insieme, non può essere che di carattere sintetico. Ovunque l'organizzazione visuale di cui si parla è chiaramente individuabile, si è in presenza di paesaggi a migliore qualità scenico-percettiva rispetto ad altri in cui quest'organizzazione è più latente, per mancanza di definizione spaziale, o per incongruenza degli elementi.

Tale organizzazione, ovviamente, ha avuto origine dalla sovrapposizione della matrice antropica a quella naturale e dalla reciproca interazione tra gli elementi nel corso del tempo. La storia, tanto quella degli uomini quanto quella della natura, ha lasciato permanenze significative non solo culturali, ma anche percettive. L'ordine, implicitamente contenuto in tali "segni", ove non sia illeggibile a causa di successive sovrapposizioni di ordini o disordini sovraimpressi, ha conferito ai paesaggi caratteri di figurabilità certa (intesa come la capacità di un oggetto di definirsi secondo le caratteristiche della visione umana).

È dunque logico sostenere che ove il tracciato di progetto intercetta alcune di queste "organizzazioni" gli impatti sulla componente Paesaggio sono più evidenti.

Momento conoscitivo fondamentale della componente è, necessariamente, rappresentato dall' inquadramento storico dell'area a livello locale, così da individuare le diverse fasi di formazione del paesaggio e le successive stratificazioni di segni lasciati sul territorio.

7.2.2 Finalità e metodologia di lavoro

Obiettivo generale dell'analisi paesaggistica è quello di definire il rapporto opera-paesaggio, quale esito del confronto tra lo stato attuale e quello derivante dalle modificazioni apportate dal progetto; le modifiche sul territorio coincidono con una vasta gamma di interventi, dalle opere civili agli interventi di mitigazione e inserimento ambientale, che rispecchiano la complessità di un'opera di ingegneria e che divengono parte integrante della stessa.

Tale obiettivo, a sua volta, è perseguito attraverso due linee di lavoro, schematizzabili come di seguito:

	Linee di lavoro	*Finalità e tematiche affrontate*
1.	Analisi dei caratteri strutturali del paesaggio	Individuazione delle **unità di paesaggio**, intese come il prodotto della comprensione degli aspetti morfologici, storico-culturali e testimoniali

	Linee di lavoro	*Finalità e tematiche affrontate*
2.	Analisi delle condizioni percettive	Individuazione delle condizioni percettive relative all'**ambito di intervisibilità dell'opera**, quale esito congiunto dei processi visivi fisiologici e mentali

Preliminarmente, occorre specificare alcune questioni di ordine generale sulla base delle quali è stato impostato lo studio della componente in esame.

Una prima questione attiene l' analisi dello stato attuale della componente e, in particolare, l'approccio con il quale esso è stato indagato. Emancipandosi da una visione che aprioristicamente individua nello *status quo* una condizione di equilibrio e qualità ambientale, l'approccio adottato tenta di restituire l'eterogeneità del contesto territoriale in esame, ricercando ed evidenziando le specifiche risorse e criticità in atto in ciascun ambito territoriale.

L'attribuzione di una valenza positiva allo *status ante* non soltanto è espressione di un ingiustificato pregiudizio ideologico nei confronti dell'opera e delle scelte progettuali adottate, ma risulta anche disciplinarmente errata in quanto, compiendo un'uniformazione del contesto territoriale indagato, ne nega la sua reale articolazione in risorse e criticità. La parzialità dell'immagine restituita da una tale concezione appare tanto più evidente se rapportata al contesto territoriale indagato, il cui connotato precipuo risiede nella estrema eterogeneità delle parti che lo compongono.

Il superamento di una visione che contrappone nettamente lo *status ante* a quello *post*, attribuendo una valenza positiva al primo e, per converso, una negativa al secondo, comporta il passaggio dalla nozione di "impatto" a quella di "modificazione" o "effetto".

Il temine "impatti" sottende nell'accezione comune ad una concezione negativa degli effetti prodotti dall'opera, in quanto rimanda a «le conseguenze dirette, negative, dirompenti e sconvolgenti un precedente equilibrio»; al contrario, il termine "modificazioni", che non implica una aprioristica valutazione, lascia spazio ad un più libero giudizio sulle conseguenze indotte dal progetto, siano queste positive o negative[2].

Il contesto territoriale in cui si inserisce la nuova infrastruttura in progetto è caratterizzato da situazioni di eccellenza e, al contempo, di criticità: l'adozione della "logica degli effetti" in luogo di quella degli "impatti" introduce un approccio del tutto differente da quello tradizionale. Anziché considerare la nuova realizzazione come un fattore che, compromettendo un ipotetico e preesistente equilibrio, va controllato e dal quale è necessario difendersi (logica difensivistica), l'approccio proposto, consentendo di cogliere la molteplicità delle diverse relazioni, dirette ed indirette, positive e negative, che si possono innescare tra l'intervento progettato ed il territorio, permette di individuare tutte le possibili sinergie attivabili.

Al fine di conseguire una maggiore immediatezza e comprensione del lavoro svolto, è stata operata una "riduzione a tematiche chiave", che ha condotto a una sintesi interpretativa capace di individuare quegli elementi ritenuti rappresentativi delle peculiarità e dei fattori identitari.

[2] Questo approccio consente di cogliere «le conseguenze, le ricadute collaterali, sia positive sia negative, sia desiderate sia indesiderate» (Governa, 2001).

Stante la già citata eterogeneità dell'ambito di studio, anziché adottare una logica espositiva di tipo descrittivo, che avrebbe condotto ad una semplice illustrazione dei diversi ambiti costitutivi, ne è stata adottata una di tipo sintetico-interpretativo ad unire completezza e immediatezza informativa.

Il processo di analisi comune ad entrambe le linee di lavoro individuate è stato articolato secondo le tre seguenti fasi:

1. Descrizione dello *status ante operam*;
2. Individuazione dei livelli di qualità attuali;
3. Individuazione e stima delle modificazioni indotte dall'opera.

7.2.2.1 Finalità e metodologia per la analisi della struttura del paesaggio

Finalità di questa prima linea di lavoro risiede nell'individuazione delle "unità di paesaggio", intese quale espressione sintetica della struttura del paesaggio e degli elementi, strutturanti e caratterizzanti, che lo determinano.

Il termine "unità di paesaggio" individua una categoria descrittiva che riduce la complessità dell'ambito indagato, restituendone un'interpretazione semplificata che evidenzia la struttura e le regole di composizione. Partendo dai segni e dalle relazioni che costituiscono il paesaggio, l'assunzione delle "unità di paesaggio" arriva a rappresentarlo come insieme di ambiti territoriali, contraddistinti da forme, regole aggregative e funzioni definite e costanti.

La definizione delle unità di paesaggio, poiché si basa su un'attività di giudizio per l'individuazione dei diversi ambiti omogenei, è di natura soggettiva. Tuttavia la validità della sua applicazione risiede nel connaturato potenziale interpretativo e semplificativo della complessità del paesaggio. Attraverso un processo di integrazioni successive, i diversi elementi riconosciuti sono aggregati e costituiscono i caratteri di singolarità di ciascuna unità di paesaggio individuata.

Una volta definito il concetto di "unità di paesaggio", occorre brevemente descrivere le fasi e le operazioni di cui si compone il processo di lettura.

La Descrizione dello status ante operam, che, come detto, rappresenta la prima delle tre fasi di lavoro, si compone di tre sub fasi, così sintetizzabili:

- Costruzione delle categorie di lettura;
- Categorizzazione degli elementi;
- Costruzione delle "unità di paesaggio".

Nello specifico, la costruzione delle categorie di lettura degli elementi costitutivi il contesto territoriale e paesaggistico indagato rappresenta una operazione propedeutica alla scomposizione ed alla successiva loro ricostituzione secondo strutture interpretative utili alla costruzione delle unità di paesaggio.

I criteri generali di costruzione di questa griglia di lettura, desunti da una letteratura scientifica ormai consolidata, fanno riferimento ai seguenti fattori:

- Ruolo nella costruzione del paesaggio;
- Grado di trasformazione;
- Aspetti fisiognomici;
- Aspetti funzionali.

Relativamente al *ruolo nella costruzione del paesaggio* si assumono due distinte categorie di lettura e classificazione degli elementi del paesaggio: gli "elementi strutturanti", che costituiscono le invarianti del paesaggio e che ne connotano i tratti distintivi ed essenziali, e gli "elementi caratterizzanti", che concorrono alla attribuzione di significato.

Il *grado di trasformazione* distingue, invece, gli elementi a "matrice naturale" e quelli a "matrice antropica": alla prima matrice si riconducono gli elementi biotici e abiotici, connessi alla genesi e all'evoluzione spontanea del territorio; la seconda fa riferimento alle trasformazioni operate dell'uomo ai fini della sua sopravvivenza e sviluppo, inclusi gli aspetti storico culturali legati al processo di antropizzazione del territorio.

Gli *aspetti fisiognomici* riguardano ciò che del paesaggio è percepibile visivamente, ovvero dimensioni, forme e colori, mentre gli *aspetti funzionali* distinguono in macro destinazioni d'uso, quali ad esempio il residenziale, il produttivo o l'agricolo.

A integrazione di questi criteri generali, altri aspetti specialistici riferiti alle singole componenti ambientali, come, ad esempio, la tipologia di formazioni per gli elementi vegetazionali o il grado di compiutezza e l'epoca di formazione per i tessuti edilizi, hanno contribuito alla classificazione.

Nella seconda sub fase, i diversi elementi costitutivi il contesto territoriale indagato sono stati letti e classificati, aggregandoli e/o disaggregandoli, in funzione delle diverse categorie precedentemente costruite.

A titolo di esempio, la armatura viaria è stata riclassificata utilizzando non più la tradizionale suddivisione per ente gestore (statali, provinciali o comunali) o per importanza (viabilità di grande comunicazione, viabilità interesse regionale), ma in ragione del ruolo svolto dall'asse viario nella struttura territoriale e dei caratteri morfotipologici del corpo stradale; l'adozione di detto criterio, nel caso in specie, ha condotto all'aggregazione all'interno di una unica categoria l'autostrada A4 e la S.S. 202, in ragione della omogeneità del ruolo territoriale e dei caratteri morfotipologici del corpo stradale.

La costruzione delle unità di paesaggio, la loro delimitazione e l'individuazione degli specifici caratteri di singolarità costituisce il passaggio conclusivo del processo di analisi della struttura del paesaggio; alle unità di paesaggio, assimilabili a "macro aree", sono associate forme, funzioni e regole compositive singolari che derivano delle aree omogenee e degli elementi di struttura che vi appartengono.

La fase di Individuazione dei livelli di qualità attuali (seconda fase), è stata condotta con due finalità: da un lato, l'individuazione delle tematiche chiave proprie di ciascuna delle unità di paesaggio definite, e, dall'altro, il riconoscimento delle risorse e delle situazioni di criticità in atto presenti in ognuna di esse.

A tal fine, sono stati utilizzati i seguenti criteri di lettura:

- Grado di naturalità
- Presenza di elementi identitari
- Leggibilità della struttura territoriale
- Compiutezza della struttura insediativa

Ai fini della Individuazione e stima delle modificazioni indotte dall'opera, oggetto della terza fase, sono stati adottati i seguenti criteri di giudizio:

- Scostamento rispetto allo status ante;
- Valenza, positiva o negativa, dello scostamento determinato dall'intervento.

7.2.2.2 Finalità e metodologia per la analisi delle condizioni percettive

Lo studio degli aspetti percettivi del paesaggio comporta l'integrazione del fenomeno visivo con i processi culturali che derivano dall'acquisizione dei segni, configurando così due specifiche linee di lavoro:

- Aspetto visivo;
- Aspetto semiologico-culturale.

Nel primo caso, l'indagine evidenzia quegli elementi, caratteri, strutture e relazioni del territorio che condizionano la visione e individua gli insiemi formali che si definiscono "configurazioni visive".

Nel secondo, l'indagine permette di cogliere e valutare i segni in quanto elementi portatori di informazioni e, quindi, elementi primari nella conoscenza diretta e in quella indotta, ai vari sistemi costituenti il paesaggio, alle loro relazioni, alla loro evoluzione storica e, in generale, ai processi in atto, siano essi relativi alla dinamica naturale che a quella antropica.

In altri termini, l'analisi percettiva non riguarda solo gli aspetti fisiologicamente visivi della percezione ("percezione fisiologica"), ma investe altresì quelli relativi al processo di elaborazione mentale del dato percepito ("percezione culturale"), ossia il frutto di un' interpretazione culturale della visione, a livello del singolo e a livello sociale.

L'*Analisi delle condizioni percettive*, pur ripercorrendo l'articolazione in tre fasi di lavoro comune all'*Analisi dei caratteri strutturali del paesaggio*, si differenzia da questa, oltre che per le finalità, per una differente tipologia di attività di lavoro e dei criteri di lettura e giudizio adottati.

Nello specifico, la Descrizione dello status ante operam (prima fase) si articola nelle tre seguenti sub fasi di lavoro:

- Definizione dei criteri di tipizzazione delle condizioni visuali;
- Tipizzazione delle condizioni visuali;
- Costruzione degli ambiti visuali omogenei.

Operazione propedeutica allo svolgimento dello studio degli aspetti percettivi è l'individuazione dell' "ambito di intervisibilità dell'opera": per ovvie motivazioni, vengono esclusi dall'analisi i tratti in cui l'infrastruttura si sviluppa in sotterraneo, e si procede con la definizione degli "ambiti visuali omogenei", intendendo con detto termine quelle porzioni di territorio che presentano eguali condizioni percettive rispetto alla infrastruttura di progetto.

In questa prospettiva, la prima operazione condotta è consistita nella definizione di un set di criteri attraverso i quali arrivare alla tipizzazione delle condizioni percettive,

Sulla scorta dei contributi disciplinari e in ragione delle specificità locali, sono stati selezionati i seguenti criteri di tipizzazione delle condizioni percettive, mediante i quali giungere, poi, all'individuazione degli ambiti visuali omogenei:

- Articolazione morfologica del territorio;
- Grado di antropizzazione;
- Articolazione del campo visuale;
- Livello di frequentazione collettiva.

Nella seconda sub fase per ciascuno dei criteri sopra elencati sono state definite le condizioni percettive riportate in Tabella 7.1.

	Criteri di tipizzazione	*Tipologie di condizioni percettive*
1	Articolazione morfologica del territorio	1.1 Pianeggiante
		1.2 Lievemente ondulato
		1.3 Pianeggiante con brusche variazioni altimetriche
2	Grado di antropizzazione	2.1 Urbano
		2.2 Periurbano
		2.3 Naturale
3	Articolazione del campo visuale	3.1 Ampio ed aperto
		3.2 Parzialmente limitato e concluso
		3.3 Prevalentemente limitato e concluso
4	Livello di frequentazione collettiva	4.1 Elevato
		4.2 Ridotto
		4.3 Assente

Tab. 7.1 – Tipizzazione delle condizioni percettive

Occorre specificare che, a fronte della scala di analisi assunta nel presente studio, l'individuazione dei punti di vista (e la successiva loro attribuzione di un livello di frequentazione collettiva) è stata condotta con riferimento alle infrastrutture viarie principali e locali; conseguentemente, nel corso dell'analisi percettiva si è parlato di "punti di vista" e di "direttrici di visuali".

Sulla base della griglia di lettura sopra riportata, l'ambito di intervisibilità dell'opera è stato letto verificando, per ciascuno dei criteri di tipizzazione, quali fossero le tipologie di condizioni percettive prevalenti e, quindi, le tipologie di visuali prevalenti, le quali sono, a loro volta, l'esito del prodotto delle diverse condizioni percettive determinate tra l'opera ed i sui potenziali fruitori.

Gli ambiti visuali omogenei e le tipologie di condizioni percettive a loro connessi sono di seguito riportati.

	Ambiti visuali omogenei	*Tipologie di condizioni percettive*			
a	Ambito delle visuali aperte ed unitarie	1.1	2.2	3.1	4.1
b	Ambito urbano delle visuali frammentate	1.1	2.1	3.2	4.1
c	Ambito periurbano delle visuali frammentate	1.2	2.2	3.2	4.2
d	Ambito naturale delle visuali frammentate ed indirette	1.3	2.3	3.3	4.3
e	Ambito delle visuali ristrette	1.1	2.1	3.2	4.1

Tab. 7.2 - Ambiti visuali omogenei per tipologie di condizioni percettive

Una volta definiti gli ambiti visuali omogenei, l'Individuazione dei livelli di qualità attuali (seconda fase) è stata condotta sulla scorta dei seguenti criteri di lettura:

- Leggibilità e chiarezza dei segni;
- Presenza di elementi identitari, sia di matrice naturale che antropica;
- Capacità di assorbimento;
- Presenza di detrattori visivi.

Il processo di analisi si è concluso con l'Individuazione e stima delle modificazioni indotte dall'opera (terza fase), intese sia nella loro accezione negativa (impatti) che in quella di modificazioni positive (recupero delle criticità in atto, valorizzazione delle risorse locali).

Nello specifico, sono stati adottati i seguenti criteri di giudizio:

- Interferenze di tipo strettamente visuale che riguardano l'ingombro di determinati coni visuali con funzioni di *schermo*, *quinta*, *intrusione*;
- Alterazione dei rapporti di scala esistenti tra le grandezze degli elementi presenti;
- Interferenze di tipo semiologico che riguardano la soppressione dei segni esistenti e/o l'immissione di nuovi effetti di alterazione sul valore segnico degli insiemi, secondo le visuali, e dei singoli elementi.

7.2.3 L'individuazione dei caratteri del paesaggio

La lettura delle caratteristiche del paesaggio in esame è frutto di un'attività condotta con l'ausilio di fonti di tipo indiretto e diretto.

Il materiale cartografico e bibliografico esistente ha rappresentato un'utile base conoscitiva del territorio: è proprio attraverso la consultazione e il confronto con svariati documenti (da quelli a valenza prettamente paesistica agli strumenti di regolamentazione urbanistica) che è stato possibile effettuare una prima "ricognizione virtuale" del contesto territoriale in esame. Tale materiale di riferimento è costituito da:

- Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000;
- Tavole del Piano Urbanistico Regionale Generale del Friuli Venezia Giulia (di seguito PURG, strumento vigente dal 1978);
- Tavole del Piano Territoriale Regionale del Friuli Venezia Giulia (di seguito PTR, adottato nel 2007 e con valenza paesistica);
- Tavole di Azzonamento e dei Vincoli dei PRGC dei Comuni di Turriaco, San Canzian d'Isonzo, Staranzano, Ronchi dei Legionari, Doberdò del Lago, Monfalcone, Duino Aurisina, Trieste.

L'analisi delle foto aeree e del rilievo effettuato durante i sopralluoghi ha permesso di integrare e verificare direttamente le informazioni acquisite in via preliminare, procedendo con l'elaborazione della *"Carta degli elementi del paesaggio e della visualità"* (elaborati L34400R22P5 SA000A 025-032 A), che risulta articolata secondo tre ordini di informazioni:

- **Elementi strutturanti e caratterizzanti il paesaggio**, a matrice naturale e antropica, alla base della lettura del territorio;
- **Unità di paesaggio**, derivate dall'interpretazione dei caratteri degli Ambiti Paesaggistici e dalla lettura degli elementi territoriali;
- **Ambiti visuali omogenei**.

7.2.3.1 Dagli ambiti paesaggistici alle unità di paesaggio

L'individuazione delle **Unità di paesaggio** si fonda sulla suddivisione in **ambiti paesaggistici** (AP) operata dal PTR su tutto il territorio regionale; tali ambiti rappresentano porzioni territoriali dove gli aspetti morfologici-litologici e quelli di copertura del suolo sono omogenei e coerenti con gli elementi di ordine storico, economico e sociale, rappresentando un'ulteriore differenziazione territoriale all'interno delle sette grandi unità fisografiche - **tipi di paesaggio** (TP)[3]. Gli AP risultanti sono, pertanto, delle unità territoriali complesse e dinamiche, caratterizzate da sistemi ecologici, economico-sociali e culturali differenti e riconoscibili all'interno di ciascun TP. Ai sensi del Codice Urbani, gli ambiti paesaggistici assumono un valore di riferimento territoriale entro il quale si attivano procedure di analisi, valutazione e prescrizione e rappresentano un macro-indicatore integrato della qualità e dell'evoluzione del paesaggio, meritevole di approfondimento.

La porzione di territorio interferita dal progetto è compresa tra il corso del Fiume Isonzo, ad Ovest, la linea di costa, a Sud, e il confine nazionale, a Nord e a Est, ed è caratterizzata dalla successione di due tipi di paesaggio:

[3] Si tratta di sette tipologie di paesaggio legate al sistema morfologico e litologico del territorio friulano, categorizzato in: alpino, prealpino, collinare, dell'alta pianura, della bassa pianura, lagunare, del Carso e della costiera triestina.

- il "paesaggio della bassa pianura", nella porzione che attraversa i territori da Turriaco a Monfalcone;
- il "paesaggio del Carso e della Costiera Triestina", negli ambiti territoriali di Doberdò del Lago, Duino Aurisina e Trieste.

Al di là del differente assetto orografico, in ragione del quale è possibile distinguere nettamente il territorio della pianura da quelli dell'altipiano carsico, i macro ambiti individuati differiscono tra loro per l'intensità e la modalità con le quali è avvenuto il processo di antropizzazione, a sua volta espressione dei diversi sistemi territoriali di cui detti ambiti fanno parte.

Da un lato la predominanza degli elementi a matrice naturale costituisce il discriminante per individuare il "paesaggio carsico", dall'altro è il grado di antropizzazione che distingue nettamente il "paesaggio della bassa pianura" a carattere diffuso da quello della "costiera Triestina", con alta concentrazione insediativa.

L'analisi della struttura del paesaggio ha condotto alla suddivisione del territorio in esame nelle seguenti unità di paesaggio:

- paesaggio della bassa pianura isontina;
- paesaggio del carso goriziano;
- paesaggio del carso triestino;
- paesaggio della costiera triestina;
- paesaggio urbano di Trieste.

Paesaggio della bassa pianura isontina

L'ambito è prevalentemente caratterizzato da superfici rese pianeggianti e razionalizzate ai fini agrari, quindi privi di morfologie connotanti, ad eccezione degli argini fluviali. Il settore orientale è attraversato dal Fiume Isonzo, uno dei principali corsi d'acqua della regione, di natura torrentizia. Diverse risorgive alimentano corsi d'acqua che originano un ricco sistema idrografico di fiumi, canali e rogge. I valori ambientali di gran parte dell'idrografia minore sono stati alterati da opere di bonifica e interramento, a causa delle quali sono stati rettificati i corsi d'acqua meandrili.



Fig. 7.1 - Esempio di opera di canalizzazione della bassa pianura: canale principale Dottori a Monfalcone

Il fiume Timavo, le cui risorgive ricadono lungo il confine dell'ambito paesaggistico, rappresenta un fenomeno idrogeologico di rilevanza internazionale: nasce in Slovenia, si inabissa in ambiente carsico presso San Canziano e, dopo un percorso ipogeo di parecchi chilometri, riaffiora a livello del mare sotto forma di ricche risorgive a San Giovanni di Duino.



Fig. 7.2 - Le sorgenti del fiume Timavo nella località di S.Giovanni

Nella bassa pianura delle bonifiche a scolo naturale, la copertura vegetale è caratterizzata dalla presenza di colture erbacee avvicendate e pioppeto, generalmente in appezzamenti di piccole dimensioni. La copertura vegetale di origine agraria è caratterizzata dall'associazione tra avvicendamento colturale ed arboricoltura da legno e da frutto (piantagioni industriali di forma geometrica regolare). Sono presenti localmente grandi estensioni di colture derivanti da interventi di bonifica e di riordino fondiario che hanno modificato notevolmente il paesaggio originario di risorgiva, segnato da una fitta rete idrografica minore e da un ricco particellare di antica colonizzazione. Sono altresì presenti modeste superfici di boschi planiziali residuali.

Nei grandi sistemi di campi aperti vi è, generalmente, scarsità di siepi arbustive ed arboree, presenti solo in forma frammentaria e residuale. Scarsa è anche la presenza di boschetti riparali di salici ed ontani lungo le rogge. Sono diffuse, invece, le grandi alberature di platano lungo le principali strade.



Fig. 7.3 - Visuale aperta sulle aree agricole con sporadica vegetazione, concentrata lungo le rogge ed i margini della viabilità

Sono ancora presenti insediamenti agrari di origine antica, a partire dalle tracce di centuriazione e di viabilità di epoca romana, fino ai borghi compatti di piccole e medie dimensioni, distanti gli uni dagli altri e collegati da una fitta rete di strade. Al sistema dei borghi si contrappongono strutture agricole legate al fenomeno della villa e della mezzadria: grandi rustici e aziende agricole isolate dalla forma regolare, presenti soprattutto nelle campagne dei riordini fondiari e in parte abbandonati. Il sistema insediativo sviluppatosi lungo la linea delle risorgive, al confine tra l'alta e la bassa pianura dell'udinese e del goriziano, forma un paesaggio lineare, di transizione tra l'ambiente arido e quello umido, maggiormente antropizzato. Ad est l'ambito presenta forte concentrazione, urbana ed industriale, in Cervignano del Friuli e Monfalcone. L'insediamento monfalconese presenta tessuti residenziali contigui a quelli produttivi, connotati da interventi disomogenei: forti contrasti paesaggistici con le aree commerciali strutturate lungo gli assi viari principali e con l'edilizia residenziale post-moderna sorta dalla conversione di aree produttive obsolete.

Paesaggio del Carso Isontino

Il Carso Goriziano è costituito da un altopiano calcareo che si eleva di circa 100 m sulla pianura isontina, con alcuni rilievi di altitudine media non superiore ai 300m e diverse ampie depressioni interne.

L'ambito specifico è interessato da una copiosa emersione della falda carsica per sifonamento (laghi e risorgive); le due grandi depressioni parzialmente riempite dai laghi di Doberdò e Pietrarossa rappresentano un singolare esempio di specchi lacustri carsici alimentati da sorgenti sotterranee; essi sono suscettibili a notevoli variazioni di livello dell'acqua e fanno parte di un più ampio sistema idrologico cui appartiene anche la contigua area di Sablici e la zona di risorgenza delle "Mucille".



Fig. 7.4 - Il laghetto nord (anticamente detto Gorgoò) nel parco delle Mucille

Generalmente il territorio carsico è caratterizzato dalla totale assenza di un reticolo idrografico superficiale: tipica la presenza di ampie estensioni di praterie magre con affioramenti di roccia e specie arbustive (c.d. *landa carsica*), localmente associate a boscaglie altoarbustive di carpini, roverella e orniello. La Landa carsica costituisce un aspetto residuale dell'economia pastorizia, determinatasi a seguito di un pascolamento esercitato nei secoli sulle superfici disboscate. La vegetazione, sotto l'azione continuata dall'animale pascolante è venuta organizzandosi in una forma altamente specializzata, atta a sopportare il calpestio e la brucatura, formando un cotico discontinuo, basso, serpeggiante fra gli estesi affioramenti rupestri.



Fig. 7.5 - Vegetazione bassa intervallata da affioramenti rocciosi sull'altopiano carsico

Pinete di pino nero di impianto artificiale sono presenti principalmente nel settore settentrionale e meridionale dell'ambito, mentre prati stabili e vigneti sono limitati nelle immediate vicinanze dei centri abitati. Le depressioni interne sono caratterizzate da uno speciale quadro naturale dell'ambiente carsico caratterizzato dal forte contrasto tra le specie arboree tipiche degli ambienti fluviali (estesi canneti e presenza sparsa e marginale di piante isolate, di salice e pioppo nero, talvolta raggruppate a formare lembi di bosco di ripa) e le superfici aride della landa carsica.



Fig. 7.6 - Vegetazione tipica in una dolina carsica

La presenza di piante di cipresso, sia in filare che in piccoli popolamenti boschivi, lungo le strade e in prossimità di edifici a carattere monumentale costituisce un altro elemento caratterizzante l'ambito.

Il trauma territoriale delle battaglie del Carso ha cancellato i villaggi e le coltivazioni; i piccoli centri presenti all'interno dell'ambito sono stati quasi completamente ricostruiti dopo la Grande Guerra, perdendo i valori di una speciale identità locale. Rimangono le testimonianze fisiche di tali eventi quali i monumenti celebrativi, resti di trincee, muraglie in pietra e postazioni in cemento. I borghi presenti hanno praticamente perso quasi del tutto i caratteri tipologici ed architettonici tradizionali.

Paesaggio del Carso Triestino

La morfologia è caratterizzata dall'associazione tra una estesa zona di altopiano semipianeggiante (compresa tra Aurisina e Basovizza), ed un paesaggio carsico collinare che delimita la fascia di confine (M. Ermada, M. dei Pini, M. Cocusso).

L'area semipianeggiante é costituita da una grande varietà di paesaggi legati alla specificità geologica dei luoghi, segnati da affioramenti delle strutture rocciose più resistenti, che possono manifestarsi riccamente elaborati da processi dissolutivi ("doline", "campi solcati", "vaschette di corrosione") o presentarsi sotto forma di accumuli detritici.

La zona dei Colli boschivi del Carso triestino lungo la fascia carsica di confine, è costituita da carbonati (calcari e calcari dolomitici) del Cretacico superiore ed è caratterizzata da un allineamento di rilievi in genere rotondeggianti, di quota media superiore ai 300 m.

L'elevata permeabilità della compagine carbonatica del territorio carsico, determina l'assenza di un reticolo idrografico superficiale (con l'unica eccezione del torrente Rosandra[4] esterno all'area interferita). I fenomeni di carsismo rendono impossibile o del tutto incerta l'attribuzione di un'area carsica ad un determinato bacino idrografico. Le uniche manifestazioni idrologiche epigee sono limitate a ruscellamenti superficiali in occasione di forti precipitazioni.

Il Carso propriamente detto individua tre formazioni botaniche più evidenti: la *boscaglia carsica*, la *landa carsica* ed il *prato carsico*.

La copertura boscata è caratterizzata da elementi altoarbustivi composti da associazioni di numerose specie di latifoglie che hanno connotato cromaticamente il territorio con svariate gamme di verde, dalla tonalità delicata delle foglie appena formate a quella scura del fogliame più maturo. Le formazioni boscate naturali si alternano a delle ampie superfici di impianto artificiale, che hanno introdotto pinete di pino nero (con lo scopo di consentire una rapida ripresa del bosco naturale e mitigare gli effetti provocati dalla forte pressione della pastorizia) e boschetti di robinia. Le strutture boscate di origine antropica si sono rivelate nel tempo particolarmente resistenti e si sono diffuse senza nessun controllo e mitigazione rispetto alle naturali forme vegetali del Carso, impedendo o limitando lo sviluppo del sottobosco.

[4] L'ambiente del torrente Rosandra rappresenta un caso del tutto particolare nel paesaggio carsico: è, infatti, caratterizzato da un profondo solco che incide l'altopiano carsico presentando un paesaggio di rupi, ghiaioni, pareti verticali, piccole cascate, laghetti e forre.



Fig. 7.7 - Bosco dell'altopiano carsico dove predomina la copertura vegetazionale della pineta

Un'altra componente singolare e caratteristica della vegetazione carsica è la landa. Attualmente le superfici di landa carsica presentano dimensioni piuttosto ridotte, in seguito all'abbandono della pastorizia, alla diffusione del pino nero con ripresa spontanea del bosco ed all'invasione di piante basse e cespugliose che costituiscono visivamente l'aspetto più caratterizzante della zona. Le specie vegetali più tipiche ed esclusive delle lande sono caratterizzate da fioriture a vasta gamma cromatica che vanno dal giallo della fioritura primaverile delle ginestre al rosso, viola e blu delle piante con fioritura autunnale.

In prossimità dei piccoli centri dell'altipiano trovano notevole diffusione sia il vigneto su piccoli terrazzamenti o esteso su ampie aree pianeggianti, che piccole colture ortive e prati con alberi da frutto. Sono infine frequenti sul fondo delle doline meno depresse e più prossime ai centri abitati piccole colture sarchiate.



Fig. 7.8 - Coltivazioni a vigneto presso il borgo carsico di Ceroglie dell'Ermada

Nel territorio dell'altopiano carsico privo di acqua, si insediarono originariamente delle popolazioni dedite ad un'agricoltura intensiva ed al pascolo su terreni magri, che connotarono il paesaggio agrario con caratteristici villaggi nucleati circondati da campi delimitati da muri a secco ed ampie zone di landa carsica segnata da alberature sparse. In seguito alla crisi e all'abbandono dell'allevamento con conseguente diminuzione del numero degli addetti nell'agricoltura, l'intera area passò ad un'azione generale di naturalizzazione spontanea. Delle particolarità antropiche storicizzate, attualmente rimangono i manufatti di pietra derivanti dallo spietramento finalizzato all'attività agropastorale, le murature a secco segna confine e numerosi piccoli centri caratterizzati dalla tipica architettura in calcare articolata su corti interne e ridotte finestrature verso la pubblica via (esemplari i casi di Prepotto e Zolla).

Lungo la fascia di altopiano carsico più vicina a Trieste si registrano forti pressioni insediative favorite soprattutto dai numerosi collegamenti con il centro cittadino.

Paesaggio della costiera Triestina

Nel settore occidentale la morfologia è caratterizzata dalla forte verticalità delle pareti rocciose calcaree che, in alcuni tratti scendono ripidamente a mare (Falesie) ed in altri emergono in modo imponente dai versanti marnoso - arenacei di base. Nel settore centrale ed orientale, invece, il passaggio fra la formazione rocciosa dolcemente modellata del flysch e la roccia calcarea è meno brusco.

Il settore occidentale (Duino-Grignano), caratterizzato dall'elevata permeabilità della compagine carbonatica, risulta privo di corsi d'acqua superficiali; essi, dopo aver percorso per via sotterranea il territorio carsico, sfociano direttamente in mare creando delle risorgive sottomarine. Qui prevalgono dense formazioni altoarbustive illirico-mediterranee, alternate a rocce e a limitati popolamenti di pino d'Aleppo di impianto artificiale.

Il settore centrale ed orientale, costituito da strutture impermeabili flyschoidi, risulta frequentemente inciso da numerosi e brevi corsi d'acqua, rii e torrenti che sfociano in mare. La copertura vegetale è data dall'associazione tra lembi di vegetazione arbustiva di tipo mediterraneo, tratti boschivi, molte specie ornamentali introdotte (versante collinare costiero) e colture di vigneto ed oliveto in terrazzamenti.

Il tratto costiero (Castello di Duino - Grignano) presenta sparsi insediamenti monofamiliari alternati ad aree ancora integre. Dal Castello di Miramare a Trieste il margine fra la Strada Statale ed il mare è molto ridotto e il versante dell'altipiano prospiciente è disseminato di piccoli insediamenti rurali, villette e palazzine recenti. Lungo questo tratto si sviluppa la "strada costiera", tracciato stradale divenuto parte integrante del paesaggio, quasi interamente riassorbito, nelle vedute da mare, dalle pareti di roccia naturale e di sbancamento e dalle diverse forme di copertura arborea; notevoli vedute panoramiche consentono di apprezzare gli aspetti paesaggistici dell'ambiente circostante.

Paesaggio urbano di Trieste

Il grande conurbamento di Trieste presenta un paesaggio urbano estremamente complesso in costante rapporto con il mare prospiciente ed il versante soprastante. All'interno del tessuto edificato è possibile distinguere chiaramente i caratteri del paesaggio urbano riconducibili a porzioni della città sviluppatesi in diverse epoche storiche: la città vecchia - arroccata sul colle S.Giusto, il Borgo Teresiano - dal regolare impianto geometrico, le espansioni contemporanee sulla collina, la città portuale - con rilevanti insediamenti portuali ed industriali, stretti fra l'abitato e la grande viabilità.

Dal punto di vista percettivo negli ambiti fortemente urbanizzati le vedute sono limitate e le uniche fughe prospettiche con "visuali lunghe" sono definite dagli assi delle direttrici che dal centro della città si dirigono verso gli ambiti extraurbani. Gli scorci e i punti panoramici sopraelevati offrono una vista che spazia sull'intero golfo.

7.2.3.2 I caratteri della percezione visuale del paesaggio

Leggibilità, riconoscibilità e figurabilità del paesaggio dipendono, oltre che dall'identificazione degli elementi caratterizzanti i singoli ambiti paesaggistici, dalla possibilità di cogliere l'aspetto compositivo dell'insieme; fondamentale risulta, pertanto, l'individuazione degli elementi visuali e percettivi e dei punti di vista privilegiati per la fruizione.

La varietà del paesaggio, con notevoli differenze altimetriche e di coperture vegetali, implica sensibili cambiamenti delle condizioni visive: si passa dalle visuali aperte e unitarie nella bassa pianura a quelle frammentate e ristrette in aree urbane o in ambienti ad alta naturalità.

Fondamentali in questo processo di "sintesi percettiva" risultano le viste fruite dai principali percorsi e dai luoghi d'osservazione. In particolare, i punti di fruizione più frequentati e dai quali può essere individuata la valenza percettiva del paesaggio sono riconducibili a:

- i tracciati di strade e ferrovie (assi di fruizione dinamica);
- i fronti edificati più prossimi al progetto (fronti di fruizione statica);
- i percorsi ciclo-pedonali e gli itinerari escursionistici (assi di fruizione dinamica).

Nella **bassa pianura**, in aperta campagna, il campo visivo spazia fino ai limiti imposti dalle barriere infrastrutturali, dallo skyline dell'edificato urbano o dai rilievi dell'altopiano carsico. Laddove le visuali verso est sono ampie il profilo del Carso fa da quinta alle vedute.



Fig. 7.9 - Vista della campagna isontina in località Ronchi dei Legionari; sullo sfondo i rilievi dell'altopiano carsico

Non esiste un vero e proprio sistema di filari a margine dei campi coltivati: gli elementi arborei sono sporadici e introducono variazioni nella morfologia piatta della pianura, oppure si concentrano lungo i corsi d'acqua e le rogge, assumendo la tipica connotazione della vegetazione ripariale. Solo lungo le principali strade sono diffusi i filari di grandi alberature di platano che chiudono come quinte laterali il cono visivo, direzionandolo a seguire l'asse viabilistico.

Le visuali risultano, invece, interrotte bruscamente nelle vicinanze della viabilità principale e della ferrovia: in prossimità dell'urbanizzato le aree agricole sono strette tra il margine edificato e le opere infrastrutturali che ne occludono la visuale.



Fig. 7.10 - Margine di un'area agricola dove il limite visivo è costituito dal sovrappasso della Statale

In prossimità dei corsi d'acqua e delle opere di canalizzazione la vegetazione igrofila diventa più fitta così che l'aspetto naturalistico è preponderante rispetto a quello artificiale del sistema irriguo della bassa pianura.



Fig. 7.11 - Vegetazione ripariale lungo il Canale Principale nell'abitato di Monfalcone

In **ambito carsico** le condizioni di percezione visuale sono molto variegate, poiché le differenze morfologiche e di copertura vegetazionale influiscono sensibilmente sulla fruizione del paesaggio; a seconda della collocazione del fruitore e dei punti di osservazione scelti i cambiamenti percettivi sono rilevanti, anche nel raggio di brevi distanze.

La conformazione stessa dell'altopiano carsico rappresenta un punto di vista privilegiato per l'osservazione: la quota sopraelevata permette di cogliere i caratteri del territorio e, se la visione non è limitata dalla fitta vegetazione, lo sguardo può spaziare fino all'orizzonte o fino al limite dei rilievi circostanti.

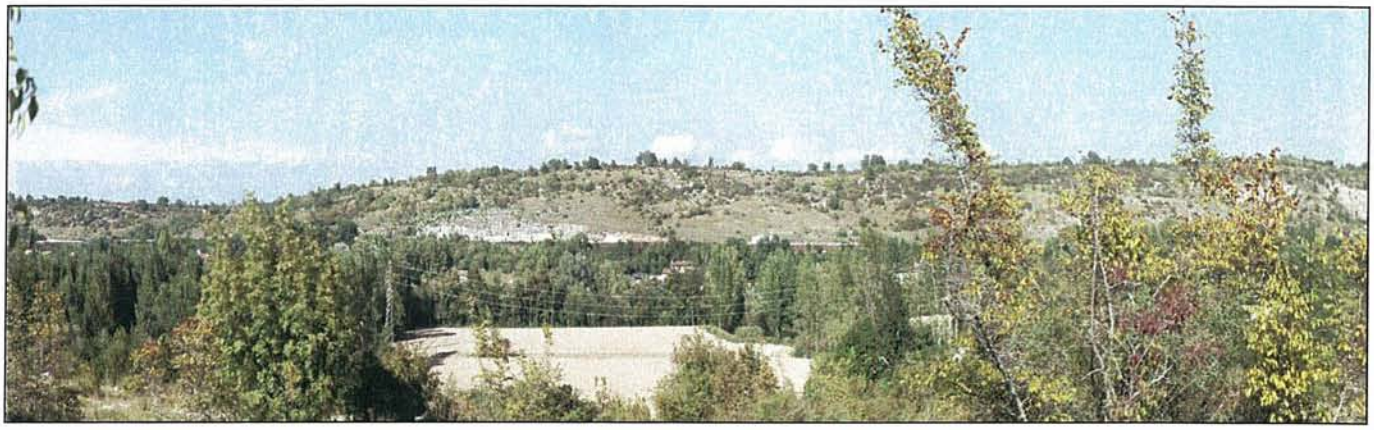


Fig. 7.12 - Veduta da quota sopraelevata, in corrispondenza di un'area a landa carsica, sulla località le Mucille



Fig. 7.13 - Vista (parzialmente occlusa dalla vegetazione invasiva di tipo alloctono) sull'abitato di Monfalcone dal punto panoramico presso un Castelliere dell'altopiano

In corrispondenza delle aree boscate, invece, la visuale sull'intorno è ostacolata nonostante la posizione in quota: il carattere immediatamente percepito e preponderante è quello della naturalità (che deriva dall'essere circondato dalla vegetazione arborea o arbustiva), mentre l'elemento antropico percepibile è quasi del tutto assente, se si escludono i muretti a secco in pietra, che delimitano i sentieri percorribili a piedi, e gli elementi infrastrutturali, che irrompono nel campo visivo come detrattori del paesaggio.



Fig. 7.14 - Sentiero percorribile delimitato da muretti a secco in un tratto boscato



Fig. 7.15 - Paesaggio del bosco carsico nei pressi del Lisert: in primo piano un traliccio dell'alta tensione e sullo sfondo a sinistra (quasi completamente occluso alla vista dalla fitta vegetazione) il ponte ferroviario che attraversa la valletta

L'altopiano stesso diviene un forte elemento visivo quando il fruitore è collocato nelle aree pianeggianti in prossimità dei rilievi: se il punto di vista dell'osservatore è a quota inferiore, infatti, l'ambito visuale è racchiuso dalla morfologia del territorio ed è possibile cogliere la varietà della copertura vegetazionale carsica.



Fig. 7.16 - Vista panoramica dalla piana agricola: il profilo dell'altopiano carsico incornicia la visuale



Fig. 7.17 - Visuale da un'area piana nel Carso; sui rilievi di sfondo una fitta copertura a bosco

Significativi sono anche le direttrici infrastrutturali che si pongono come importanti assi di fruizione dinamica del paesaggio: le strade statali in costa all'altopiano e le strade che collegano ai borghi carsici offrono suggestivi scorci panoramici, permettendo, talvolta, allo sguardo di giungere fino al mare.

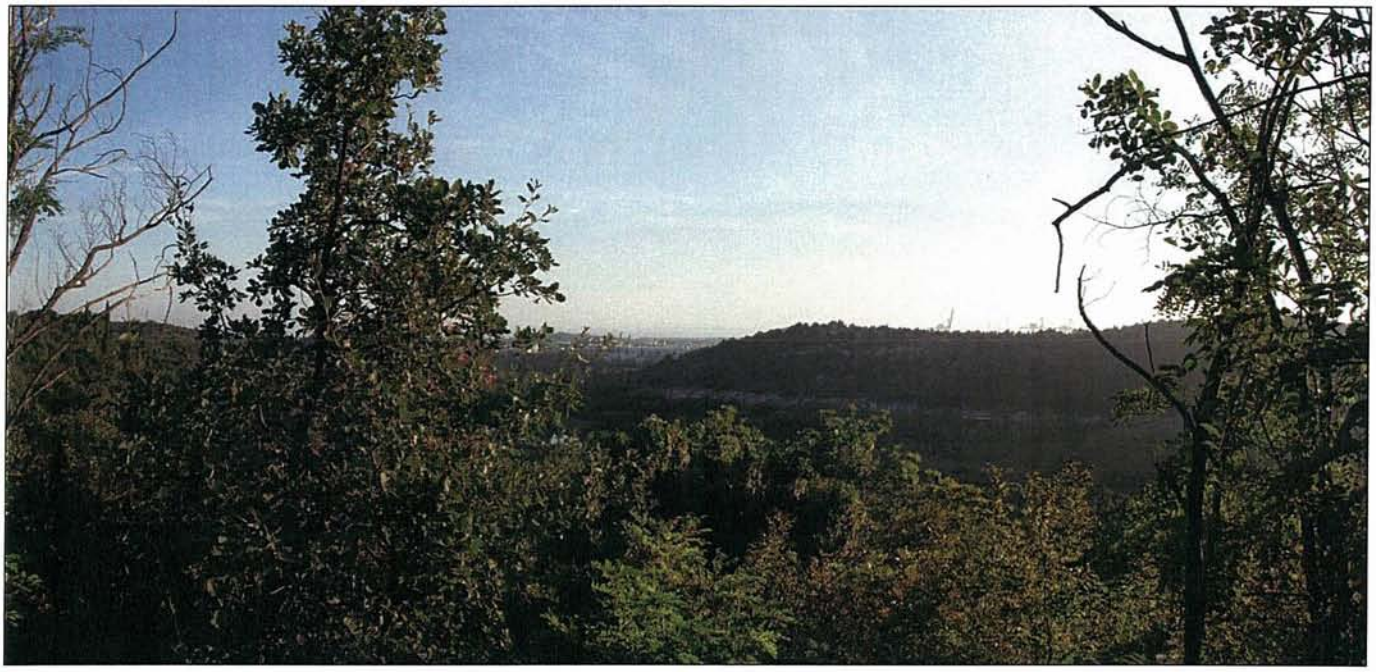


Fig. 7.18 - Punto panoramico lungo la S.S. 55 dell'Isonzo: sullo sfondo l'abitato di Duino e il mare



Fig. 7.19 - Scorcio lungo la strada che dal borgo carsico di Medeazza porta alla S.S.14

Per quanto concerne i fronti di fruizione statica, in pianura, dove le conurbazioni hanno un carattere diffuso nel territorio, sono i margini dell'edificato in espansione e gli edifici rurali sparsi che rappresentano il fronte di fruizione statica del paesaggio agricolo.



Fig. 7.20 - Complesso edificato di un'azienda agricola ai piedi dell'altopiano carsico

L'urbanizzato di Trieste è l'unico ambito dove le vedute sono limitate dagli edifici e le fughe prospettiche si riducono alle "visuali lunghe" definite dalle direttrici in uscita dalla città o dai grandi viali di percorrenza. I salti di scala dovuti agli accostamenti forzati nel campo visivo tra strutture portuali, grandi comparti industriali ed edificato sono ancor più accentuati dalla morfologia della costiera triestina: la città, stretta tra la collina e il mare, è caratterizzata dalla coesistenza, nel breve raggio, di palazzi pluriplano, depositi portuali e moli container.



Fig. 7.21 - La città di Trieste in un'area di transizione tra il margine edificato, il porto e la sopraelevata

7.3 Valutazione delle interferenze e definizione degli interventi di mitigazione

La linea ferroviaria in progetto attraversa un paesaggio variegato e di pregio, pertanto, per meglio valutare le modificazioni prodotte dall'opera su ciascun ambito omogeneo, la stima delle interferenze è stata condotta suddividendo il tracciato in tratti omogenei.

Si premette che le modificazioni a livello percettivo del paesaggio si concentrano nel primo tratto della linea, laddove il tracciato si sviluppa all'aperto e in affiancamento alla linea storica, mentre a partire dal chilometro 8+000 circa, per via dello sviluppo prevalentemente in galleria, gli impatti sono limitati ai brevi tratti allo scoperto di connessione tra le gallerie o di superamento in viadotto delle vallette nell'altopiano. Caso a se stante la questione della cantierizzazione dell'opera, che inciderà in modo più significativo (ma temporaneo e reversibile) sul territorio e sarà oggetto di una specifica trattazione nel capitolo *Ricadute in fase di cantiere sulle componenti ambientali significative* della presente relazione (si veda la sezione C - cap. 15).

I principali ambiti di naturalità interferiti dall'opera sono rappresentati dalle aree carsiche comprese tra il km 8+000 e il km 12+500 circa, con l'attraversamento di aree a pregio paesaggistico nei pressi del lago di Pietrarossa e della palude di Sablici. I fenomeni di carsismo con risorgenza delle acque rappresentano un fenomeno eccezionale che si manifesta proprio in questo tratto, per cui i laghetti carsici, inclusi nell'elenco dei corsi d'acqua regionali e le relative fasce di rispetto per la profondità di 300 m, le zone umide e i boschi circostanti sono tutelati ai sensi dell'art. 142 del D.Lgs. 42/2004 (già 431/1985).

Il presente paragrafo contiene una trattazione specifica, utile per contestualizzare l'impatto prodotto sugli ambiti naturalistici in oggetto e per proporre interventi di mitigazione mirati alla loro rinaturalizzazione. Tale approfondimento è stato redatto in ottemperanza alle prescrizioni del D.P.C.M. del 12/12/2005, ricalcando i contenuti della Relazione Paesaggistica: questa trattazione, prevista dal citato decreto come elaborato fondamentale per la valutazione di compatibilità paesaggistica, diviene qui utile strumento per stimare l'entità dell'interferenza tra il tracciato e gli elementi naturali in esame, oggetto di tutela. In particolare, tra gli elementi di cui il decreto richiede l'illustrazione nella Relazione Paesaggistica, verranno di seguito approfonditi gli aspetti relativi all'analisi dello stato attuale del paesaggio, alla valutazione paesaggistica ed alla definizione di interventi mitigativi; per la descrizione delle opere in progetto si rimanda invece al Quadro di Riferimento Progettuale.

7.3.1 Impatti indotti dall'opera

L'opera in progetto si inserisce in un contesto che si differenzia nella modalità e nell'entità di interferenza con il paesaggio, per via della caratterizzazione del tracciato. Di seguito sono illustrate le modificazioni prodotte sul paesaggio dalle tratte omogenee individuate.

- **Da inizio progetto** (lato Turriaco e San Canzian d'Isonzo) **alla progressiva km 7+500 circa** il tracciato ferroviario di progetto si sviluppa in affiancamento alla esistente linea storica, prevalentemente a monte della stessa, e si colloca nell'ambito paesaggistico della bassa pianura isontina caratterizzato da visuali frammentate; il tracciato ferroviario corre in un territorio pianeggiante dove i campi coltivati si alternano a centri abitati di piccola dimensione, perlopiù caratterizzati da un edificato basso. La presenza del rilevato ferroviario attuale fa sì che l'opera non alteri significativamente la percezione visiva del territorio, ad eccezione della nuova stazione ferroviaria di Ronchi (pk 5+000) e della sottostazione elettrica (pk 5+500) che verranno realizzate in aree attualmente libere e incolte e, di conseguenza, costituiranno una variazione non trascurabile. La nuova sottostazione, tuttavia, occuperà un'area stretta tra la ferrovia e il recente sottopasso della viabilità di raccordo tra la SS.14 e la SS.19 e risulterà poco visibile nel paesaggio. Non trascurabile sarà, invece, l'intervento tra il km 4+500 e il km 5+500: sulla vasta area incolta inclusa tra la S.S. 14 e la nuova stazione di Ronchi è prevista la creazione di un polo intermodale. Il nuovo insediamento rappresenterà una modificazione nel paesaggio, sostituendosi all'attuale vegetazione spontanea che ricopre la zona, ma si inserirà come un *continuum* infrastrutturale tra l'aerostazione (a monte della S.S.14), la nuova stazione ferroviaria e gli svincoli della viabilità principale. Le uniche alterazioni significative

saranno connesse alle barriere antirumore, il cui impatto visivo sarà in parte mitigato da siepi arbustive che, di fatto, con il tempo maschereranno alla vista l'infrastruttura e dalla scelta di adeguati cromatismi per un armonico inserimento paesaggistico. In avvicinamento alla località S.Polo, in particolare all'altezza della pk 7+000 il paesaggio muta sensibilmente: la ferrovia si inserisce in un contesto fortemente infrastrutturato dove si incrociano le due direttrici ferroviarie storiche -la Venezia Trieste e la Udine-Trieste- e la S.S. 305 per Redipuglia. Il carattere degli insediamenti assume, qui, i connotati della periferia urbana lungo gli assi viabilistici, per via dei grandi fabbricati e delle aree di parcheggio dell'area commerciale Emisfero e dell'Ospedale S.Polo, che predominano sulle aree agricole.

- **Tra il km 7+500 e il km 13+100 circa** la nuova linea attraversa l'ambito paesaggistico dell'altopiano goriziano in corrispondenza di particolari fenomeni di carsismo superficiale. La morfologia è caratterizzata da un sensibile innalzamento di quota rispetto alla pianura e il tracciato, che si sviluppa ad una quota media di circa 30 m s.l.m. fino alla pk 11+000 e di circa 50 m fino alla pk 13+000, corre parte in galleria parte all'aperto. Il paesaggio è, dunque, interferito con modificazioni della naturale copertura vegetale (sia questa a landa carsica, a prato o a bosco) e della morfologia dei luoghi: si segnalano in particolare il passaggio in trincea tra le pk 8+400-9+400 e i viadotti di superamento dei bassi morfologici esistenti alle pk 10+900-11+200 e alle pk 12+000-12+600. In tali ambiti la nuova linea ferroviaria determina impatti significativi in termini di percezione visiva: i binari in trincea risulteranno invisibili dall'esterno, mentre percorrendo la linea ferroviaria le pareti rocciose faranno da barriera naturale alla vista; i viadotti ferroviari si staglieranno, invece, come landmark territoriali al di sopra delle vallecole scavalcate. Va, tuttavia, precisato che questo è un tratto già profondamente segnato dalle infrastrutture stradali (autostrada A4 e casello del Lisert) e che, proprio grazie alla morfologia variegata del territorio, l'impatto visivo della nuova linea ferroviaria sarà limitato.
- **Dal km 13+100 al km 22+800** il tracciato attraversa in galleria l'ambito paesaggistico del Carso Triestino, in questo tratto quasi completamente coperto da boschi. A fronte dello sviluppo del tracciato a considerevole profondità si escludono interferenze con il contesto paesaggistico e gli ambiti visuali.
- **Tra il km 22+800 e il km 24+500** la linea transita nell'ambito della stazione di Aurisina, raccordandosi al tracciato esistente e modificandone il percorso. Si tratta perlopiù di modifiche nei raggi di curvatura per adeguamento dei binari, tutte all'interno delle aree ferroviarie, e di brevi raccordi in trincea tra le gallerie e l'ambito di stazione, quindi si escludono impatti significativi sul paesaggio. Unica modificazione rilevante sarà rappresentata dalla nuova sottostazione elettrica, prevista su un'area di 7.000 mq interclusa nel triangolo ferroviario intorno alla pk 23+000. Dalla sottostazione si dipartirà un nuovo elettrodotto che si connetterà all'elettrodotto esistente con sviluppo parallelo alla linea ferroviaria a circa 300 m lato nord; verranno altresì installati due nuovi tralicci che rappresenteranno il segno più evidente nella porzione interferita: l'ambito paesaggistico del Carso è qui caratterizzato da boscaglia arborea e altorbustiva alternata a zone di prato dove appaiono evidenti i sostegni verticali dell'elettrificazione. In uscita dall'ambito della stazione Aurisina, all'altezza del passaggio a livello attuale (pk 23+700) la linea si biforca per raccordarsi -tramite viadotto e seguendo una nuova curvatura- alla linea ferroviaria per Villa Opicina-Confine Sesana. Il tracciato della linea AV/AC prosegue, invece, in trincea attraversando un tipico paesaggio carsico caratterizzato da doline vegetate e risulterà invisibile a causa della fitta boscaglia che, nel naturale processo di rigenerazione, maschererà l'infrastruttura. Ad opera ultimata, la vegetazione spontanea ricreerà un paesaggio carsico del tutto simile a quello attuale, evitando interferenze nelle visuali, già fortemente limitate e frammentate.
- **Dal km 24+500 circa a fine intervento** il tracciato corre completamente in galleria a notevoli profondità senza mai interferire con l'esterno. Si escludono, pertanto, modificazione sia delle condizioni percettive sia del paesaggio nel suo complesso. Gli interventi nell'ambito urbanizzato di Trieste non introdurranno modifiche sostanziali nel paesaggio: il pozzo di ventilazione al km 36+400 risulterà invisibile e la sottostazione elettrica (oltre il km 36+500 di fine progetto) si inserirà senza particolare evidenza nel contesto produttivo esistente.

Come già evidenziato durante la trattazione, la morfologia variegata e il carattere di naturalità del territorio carsico, che impediscono visuali ampie e aperte, determinano una sostanziale invisibilità del nuovo tracciato, anche nei brevi tratti all'aperto. La linea sarà, pertanto, visibile solo da alcuni punti di vista sopraelevati. In pianura prevarrà l'impatto prodotto dalle opere di mitigazione acustica sull'ampliamento del tracciato ferroviario in aderenza alla linea storica: in avvicinamento ai margini edificati le barriere antirumore si staglieranno come elementi di occlusione alle vedute nel contesto della piatta campagna coltivata.

7.3.2 Interventi di mitigazionee di inserimento delle opere previsti

Gli interventi prevedono, nei soli tratti allo scoperto della nuova linea ferroviaria:

- siepe arbustiva o filare arboreo, che uniscono alla funzione di cucitura ecosistemica quella di mascheramento delle barriere antirumore, unici elementi che, di fatto, enfatizzano l'esistenza della infrastruttura ferroviaria;
- barriere antirumore, posizionate lungo il tracciato in corrispondenza delle criticità evidenziate dallo studio acustico e caratterizzate da tonalità cromatiche che garantiscono un miglior inserimento visivo dell'opera.

Le opere di mitigazione sono state collocate lungo la linea sulla base delle reali esigenze di progetto e si è prestata particolare attenzione al contesto di inserimento, a tutela della naturalità esistente e degli impatti visivi dei fruitori, siano questi gli abitanti dei centri urbani interferiti o i viaggiatori.

La siepe arbustiva, costituita da essenze appartenenti alla vegetazione mesofila del querco-carpineto[5], è utilizzata come elemento di mitigazione visiva nei casi in cui la barriera sia molto vicina all'urbanizzato compatto, inserendosi nel campo visivo dei ricettori residenziali sparsi nel territorio come arredo urbano gradevole. La vegetazione arbustiva di mitigazione, laddove si colloca in sinergia con la barriera acustica retrostante, ne maschererà il basamento lasciando libera alla vista la parte vetrata e il motivo cromatico.

La barriera acustica presenta tre cromatismi differenti a seconda del contesto paesaggistico di inserimento: tonalità dell'**azzurro** per le barriere in ambito periurbano/agricolo, tonalità del **giallo** per quelle in ambito urbanizzato e tonalità del **verde** per quelle in avvicinamento a contesti di naturalità. Ogni mix cromatico è stato studiato su tre tonalità di colore variamente composte e sintetizzate nel modulo tipo in tavola *"Tipologici degli interventi di mitigazione acustica"* (elaborato L34400R22PXSA000G002A).

Si è optato, anzitutto, per l'utilizzo della finestratura di dimensione massima consentita dagli standard RFI (1,50 m di altezza sopra il basamento il c.a.), così da non occludere completamente la visuale sul paesaggio circostante né ai viaggiatori che percorrono la linea ferroviaria né agli abitanti dei vicini complessi residenziali. I colori dei pannelli metallici si stagliano al di sopra della specchiatura, digradando da un RAL carico verso la tonalità più chiara.

[5] Con specie arbustive del tipo *Crataegus monogyna, Cornus mas, Ligustrum vulgare, Prunus spinosa, Euonymus europaeus, Viburnum lantana, Cornus sanguinea, Corylus avellana.*

I **colori azzurri** vogliono richiamare le sfumature striate del cielo, giocando sull'alternanza dei moduli metallici orizzontali che si susseguono con vari schemi compositivi in un modulo di 54 m. L'evidenza del cromatismo richiama la situazione *ante operam* di visuale aperta con orizzonte basso nel paesaggio agricolo: cielo sulla campagna verdeggiante o dorata, inframmezzata da case isolate, tralicci dell'elettrificazione o qualche raro filare di vegetazione.

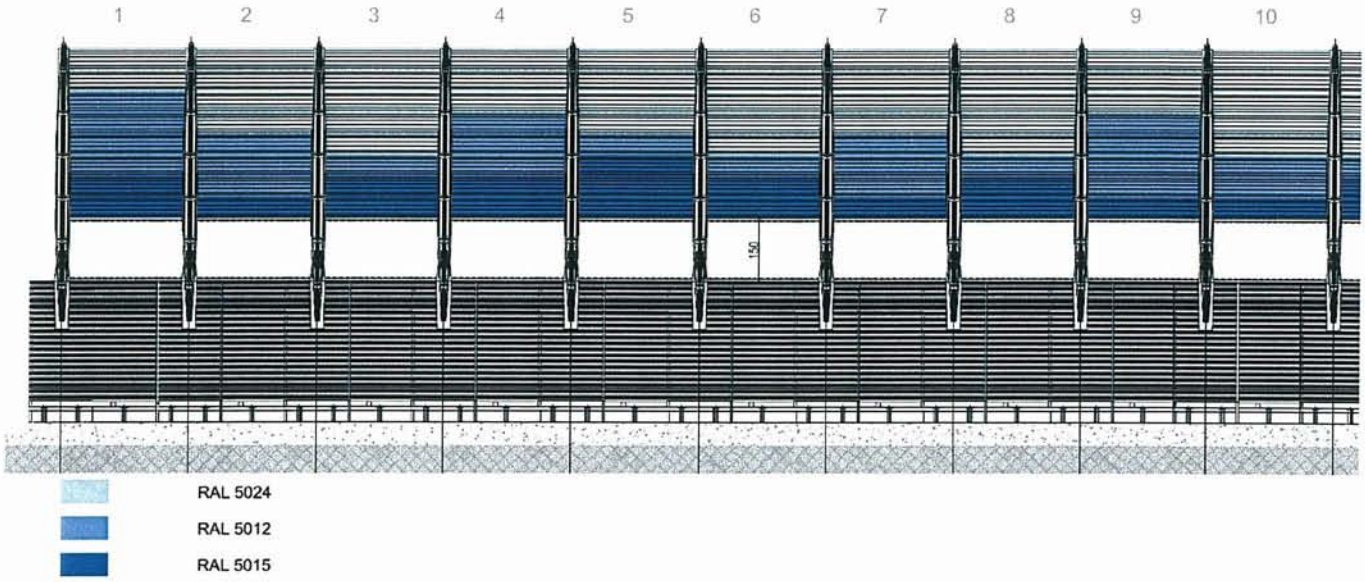


Fig. 7.22 – Esempio del mix cromatico con sfumatura di azzurri scelto per le barriere antirumore in ambito agricolo

Il **cromatismo giallo** utilizza le tonalità dell'ocra e del senape a riprendere la colorazione dei caseggiati: la varietà dei pannelli metallici per fasce orizzontali ricostruisce lo skyline urbano, composto perlopiù da edifici bassi o villette monofamiliari. La barriera enfatizzerà la condizione di visuale occlusa tipica del tessuto urbanizzato e, in presenza di siepi o filari, risulterà visibile suggerendo l'attraversamento dei principali nuclei abitati.

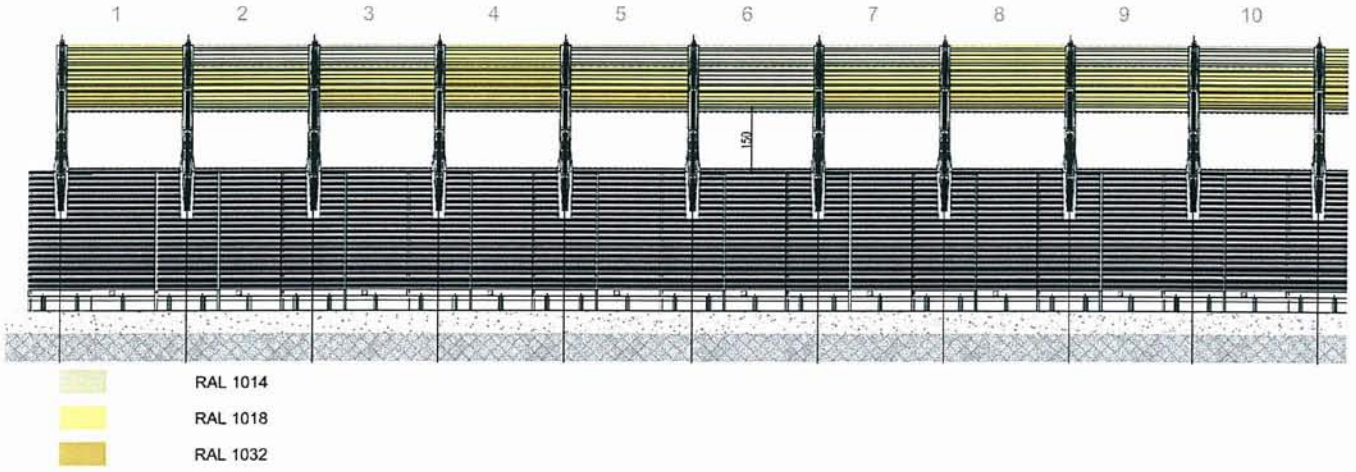


Fig. 7.23 – Esempio del mix cromatico con sfumatura di giallo scelto per le barriere antirumore in aree urbanizzate

I **toni verdi**, scelti per le barriere collocate nel Carso, richiamano la vegetazione spontanea della tipica boscaglia che ricopre l'altopiano carsico. Le essenze autoctone e alloctone assumono la conformazione di vere e proprie zone boschive, ricoprendo la vasta gamma dei verdi dalle tonalità chiare e brillanti a quelle scure del fogliame adulto. In avvicinamento a queste zone ad elevata naturalità il cromatismo verde si inserirà armonicamente nel paesaggio vegetato ed assolverà ad indicare la vicinanza di elementi naturali.

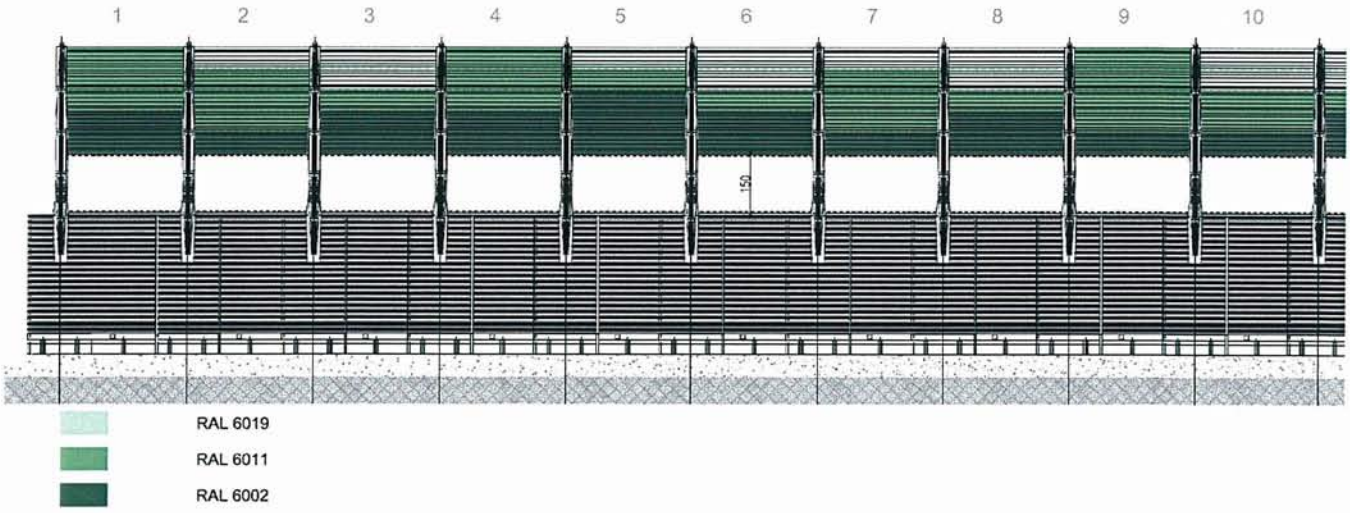


Fig. 7.24 – Esempio del mix cromatico con sfumatura di verdi scelto per le barriere antirumore in contesti naturali

7.3.3 Attraversamento delle aree tutelate: analisi paesaggistica di dettaglio

7.3.3.1 Livelli di tutela esistenti sull'area in esame

I livelli di tutela paesaggistica esistenti sull'area direttamente interessata dal progetto sono notevoli: si ritrovano numerosi elementi soggetti a vincolo paesaggistico ex art. 142 del D. Lgs 42/2004 (corpi idrici e relative fasce di rispetto -150 m dall'asse per i corsi d'acqua interferiti o 300 m per i laghi carsici-, foreste e boschi, territori percorsi da fuoco) ed aree tutelate come bellezze naturali (già L.1497/39), aree archeologiche (già L.1089/39) e naturalistiche di pregio (SIC e ZPS, riserve naturali, aree a rilevante interesse ambientale, zone umide, biotopi). Si tratta di vincoli volti a tutelare l'identità e il pregio del territorio carsico che caratterizza questa porzione del Friuli con straordinari casi di biodiversità.

Il territorio della bassa piana isontina è caratterizzato da una sostanziale alternanza di aree agricole e centri urbani, tipico paesaggio della pianura cerealicola: l'elemento antropico è evidente anche nello sfruttamento della campagna per la produzione agricola e nelle opere di canalizzazione delle acque. Non si evidenziano interferenze con aree soggette a vincolo paesaggistico, fatta eccezione per un breve tratto di fascia fluviale della **roggia S.Canziano** (fiume Brancolo).

Nel territorio carsico, invece, le aree soggette a vincoli paesaggistici e naturalistici si estendono con notevole continuità e, spesso, si sovrappongono diversi livelli di tutela per preservarne la valenza ecologica. L'attraversamento dell'altopiano implica, pertanto, interferenze non trascurabili tra il tracciato e il territorio: come evidenziato nella *"Carta delle aree protette"* e in quella dei *"Vincoli territoriali e ambientali"* (elaborati del Q. Programmatico L34400R22P3SA000P001-002A e L34400R22P4SA000P001-004A), a partire dal chilometro 8 della nuova linea si rilevano interferenze con comprensori vincolati.

Le aree tutelate direttamente interessate sono il **SIC del Carso Triestino e Goriziano (IT3340006)**, la **ZPS Aree carsiche del Venezia Giulia (IT3341002)** e la **zona umida e riserva naturale del Lago di Pietrarossa e palude di Sablici**. A queste si aggiungono le **fasce di rispetto dei laghetti carsici** per una profondità di 300 m, i **territori coperti da boschi**, le **bellezze naturali a nord del Lisert (VP040)**, quelle nel **comune di Duino Aurisina (VP045)** e quelle nel **comune di Trieste (VP004)**.

Tuttavia, per la maggior parte dei territori inclusi nelle suddette aree non sussistono reali modificazioni del paesaggio -trattandosi perlopiù di interferenze indirette con passaggio in sotterraneo- e verrà approfondita la trattazione dei soli ambiti in cui la nuova infrastruttura rappresenterà un effettivo elemento riconoscibile. È in tale contesto che si circoscrive l'analisi ai soli tratti allo scoperto dove è, effettivamente, necessario valutare l'entità dell'impatto paesaggistico -e la conseguente compatibilità- dell'opera.

7.3.3.2 Descrizione dei caratteri della struttura paesaggistica

7.3.3.2.1 Le componenti strutturali del paesaggio

L'analisi delle componenti strutturali e percettive dell'ambito di paesaggio nel quale si inserirà il progetto è necessaria per evidenziare le potenziali trasformazioni in ordine alla sua composizione formale. Partendo dalle componenti fisico-naturalistiche, che costituiscono l'intelaiatura principale del paesaggio e rappresentando i "caratteri originari", quali le forme del suolo, l'assetto idraulico, gli ambienti naturali, si passa, poi, a quelle antropiche. Esse sono rappresentate da quei segni della cultura presenti nelle forme antropogene del paesaggio che rivelano una matrice culturale o sociale. Una matrice, questa, che può appartenere al passato o all'attualità, data la tendenza di questi segni a permanere lungamente alla causa che li ha prodotti.

Elementi fisico-naturalistici

La **bassa pianura** è limitata a Nord dalla "linea delle risorgive" e si estende verso Sud, fino al limite della gronda lagunare ed alla linea di costa. La caratteristica di questo paesaggio è la morfologia piatta, con sviluppo delle quote da circa +40 m.s.l.m. fino al livello del mare, nei dintorni di Monfalcone.

L'affioramento delle acque freatiche, che si osserva lungo la "linea delle risorgive", è causato dall'intersezione della falda freatica con il piano campagna. La bassa pianura non è in grado di far permeare tutte le acque sotterranee che provengono dall'alta pianura: ciò determina un'elevazione dei livelli freatici e conseguente affioramento delle acque. Il reticolo idrografico si presenta pertanto molto fitto, ricco d'acqua di portata sensibilmente costante. Lunghi tratti sono stati artificialmente irrigiditi dagli interventi di bonifica che, nel corso del tempo, hanno prosciugato paludi e cancellato boschi planiziali.

La caratteristica percettiva fondamentale è dunque la presenza costante dell'acqua, che scorre in un complesso sistema idrico (in larga parte asservito alla bonifica idraulica), formato da: corsi d'acqua alimentati dalle risorgive, canali, fossi, scoline.

Il tipico **paesaggio carsico** si distingue per un insieme di forme morfologiche superficiali e sotterranee (determinate da processi di dissoluzione dei calcari), e per la totale assenza di un reticolo idrografico superficiale, ad eccezione dell'emersione di acque carsiche, laghi e risorgive, nella parte goriziana (i laghetti carsici di Doberdò, Pietrarossa, la zona delle Mucille e la palude di Sablici sono casi esemplari di questo raro fenomeno). Le forme carsiche superficiali possono essere raggruppate in due tipi principali:

- morfologie carsiche minori (es. *campi solcati, scannellature, vaschette di corrosione*);
- macroforme (es. *doline*).

La morfologia è caratterizzata dalla forte verticalità della parete rocciosa calcarea che scende rapidamente a mare con un dislivello medio di 200 m dall'altopiano carsico o che emerge, in modo imponente, dai versanti marnoso-arenacei di base.

La vegetazione è caratterizzata dall'associazione tra popolamenti erbacei, altoarbustivi ed arborei e dall'emergenza della roccia calcarea. Nel territorio dell'altipiano prevalgono i popolamenti di macchia altoarbustiva e di boscaglia decidua (dominati dal carpino nero, roverella, e orniello), frequentemente associati sia ad estese superfici di prateria arida arbustata (landa carsica), che a pinete di pino nero di impianto artificiale.

Veri e propri boschi di latifoglie sono limitati all'interno delle doline più ampie e sui versanti dolci nelle immediate vicinanze di Trieste.

La landa carsica è molto poco estesa, mentre sono diffusi i piccoli prati stabili (solo in parte ancora soggetti a sfalcio), circondati in genere da siepi e murature a secco, e grandi querce isolate.

In prossimità dei piccoli centri abitati dell'altipiano, sono frequenti i vigneti specializzati su piccole superfici, alternati a piccoli prati stabili, orti ed altre colture sarchiate[6] (localizzate sul fondo delle doline più aperte).

Nel settore più prossimo a Trieste si impongono le colture terrazzate con prevalenza del vigneto e dell'oliveto, spesso sorrette da murature in arenaria. Si rileva l'assenza quasi assoluta di prati, mentre sono frequenti le zone terrazzate in abbandono o riconvertite a giardino (con molte specie ornamentali introdotte).

Sulla ripida scarpata costiera si impongono fortemente i popolamenti alto arbustivi della macchia mediterraneo-illirica con leccio e ornello, localmente associati a pinete di pino d'Aleppo di impianto artificiale. L'elevata acclività ha reso necessaria la costruzione, nel passato, di terrazzamenti ad uso agricolo che, dove opportunamente conservate, rappresentano piccoli fazzoletti di terra in grado di garantire la conservazione dell'ambiente agricolo e naturale dai rischi di erosione e di smottamento.

Nelle depressioni interne del Carso Goriziano si rileva una larga prevalenza di estesi canneti, con presenza sparsa e marginale di piante isolate di salice e pioppo nero, talvolta raggruppate a formare lembi di bosco di ripa.

Elementi antropici

La **bassa pianura** presenta un'accentuata frammentazione dal punto di vista paesaggistico dovuta alle caratteristiche dell'edificato. Gli insediamenti a Sud della linea delle risorgive sono caratterizzati da una fascia centrale di nuclei urbani sviluppatisi lungo l'antico tracciato della via Annia. Questi risultano circondati da centri rurali di minore entità che s'addensano lungo le direttrici fluviali. Il reticolo viario, a carattere rurale, segue generalmente l'andamento dei corsi d'acqua e delle canalizzazioni. L'urbanizzazione è sparsa e si riscontra la presenza di diffuse opere idrauliche (canalizzazioni, ponticelli e chiuse, infrastrutture irrigue) e di insediamenti industriali e portuali (in particolare nell'area di Monfalcone).

La presenza della tipologia della casa rurale tradizionale in mattoni, isolata o all'interno dei centri, è diffusa, ma non sistematica (in alcuni casi si integra con il tipo a corte dell'alta pianura); in prossimità dei centri urbani si riscontra la totale sostituzione della tipologia tradizionale con i tipi architettonici contemporanei (casa unifamiliare all'interno di recenti lottizzazioni).

Il **Carso e la Costiera** sono caratterizzati da una estrema eterogeneità di segni: dai borghi rurali alla conurbazione triestina, dagli insediamenti del terziario avanzato alla grande area industriale e portuale, dalle importanti infrastrutture viarie e di rete alla "sacralizzazione" del territorio.

Il paesaggio si configura, oltre alle peculiarità naturali, come "paesaggio culturale", in quanto teatro dei più importanti avvenimenti a carattere storico, culturale e politico che hanno toccato l'Europa nell'ultimo secolo, ognuno dei quali ha lasciato una traccia nettissima nel territorio (la Grande Guerra, la questione orientale dopo il Secondo conflitto mondiale, i rapporti economici con l'Est).

Nell'area del Carso Goriziano si distinguono alcuni piccoli centri, quasi completamente ricostruiti dopo la Grande Guerra, che interessò drammaticamente l'area. Gli eventi bellici in questione sono ricordati da numerosi

[6] La "sarchiatura" è una lavorazione del terreno che consiste nel taglio o nel rimescolamento dello strato superficiale dell'interfila.
Questa operazione è talvolta obbligata, come nel caso dell'aridocoltura, ma in genere è eseguita su diverse colture agricole di pieno campo, in floricoltura e in orticoltura, con i seguenti scopi:

- Distruggere meccanicamente le erbe infestanti.
- Favorire la circolazione dell'aria nel terreno.
- Agevolare nei climi freddi la penetrazione nel terreno del calore solare.
- Ridurre l'evaporazione dell'acqua, interrompendo la capillarità del terreno, per trattenere l'umidità.

monumenti celebrativi (Sacrario di Redipuglia, Monte San Michele), e da resti di trincee, muraglie in pietra e postazioni in cemento (tra Redipuglia e Doberdò).

L'altopiano carsico triestino è, invece, attraversato longitudinalmente da sedi ferroviarie e dalla rete viabilistica principale che hanno causato grandi sbancamenti. All'interno dell'altopiano si conservano (nella parte prossima al confine con la Slovenia), numerosi piccoli centri ben preservati nel loro nucleo originario, dalla tipica architettura in calcare a corti interne e con ridotte finestrature (ad esempio Prepotto di San Pelagio e Zolla).

L'area compresa fra Opicina e Basovizza è meglio collegata a Trieste: risulta più urbanizzata, poiché soggetta allo sviluppo della residenzialità e alla localizzazione di infrastrutture ed impianti a carattere scientifico, tuttora in sviluppo.

Altre caratteristiche tipiche del Carso Triestino sono la diffusione di murature a secco segnaconfine e le cave di Aurisina, che si sviluppano in profondità.

La costiera da Duino a Miramare, è soggetta ad un modesto turismo ed è caratterizzata da insediamenti monofamiliari sparsi e rarissime infrastrutture ricettive, con alternanza di aree ancora abbastanza integre, mentre dal Castello di Miramare a Trieste il margine molto ridotto fra la Strada Statale n. 14 della Venezia Giulia ed il mare permette solo una disagiata balneazione. Il versante dell'altipiano prospiciente tale tratto è disseminato di piccoli insediamenti rurali residuali e di villette e palazzine recenti.

Il fronte-mare da Trieste a Muggia è prevalentemente modellato dai rilevanti insediamenti portuali ed industriali, stretti fra l'abitato e la grande viabilità. Il paesaggio urbano della Città di Trieste è assai eterogeneo e presenta contrasti stridenti.

7.3.3.3 I caratteri di percezione visuale del paesaggio

Per quanto concerne l'ambito fluviale della **roggia di San Canziano**, il livello di naturalità e i caratteri mutano sensibilmente durante il suo corso, influenzandone la percezione come elemento caratterizzante del paesaggio. La roggia appartiene al ricco sistema idrico della pianura isontina, fatto di corsi d'acqua naturali e di opere idrauliche derivate dalla consistente opera di bonifica sul territorio.

Nel tratto di interferenza dell'opera in esame con le fasce di rispetto il suo corso si caratterizza per la regolarità che segue gli appezzamenti agricoli; la fascia vegetata è di modesta profondità lungo le sponde e, sviluppandosi a pelo d'acqua, ricopre quasi completamente il corpo idrico, tanto che è difficile individuarlo nella campagna. Soprattutto nei pressi dell'abitato di Pieris dove la portata d'acqua è esigua, la copertura ripariale lungo la roggia è quasi invisibile, per via del basso portamento della vegetazione, e non rappresenta un elemento di varietà né di leggibilità nel paesaggio agrario circostante.

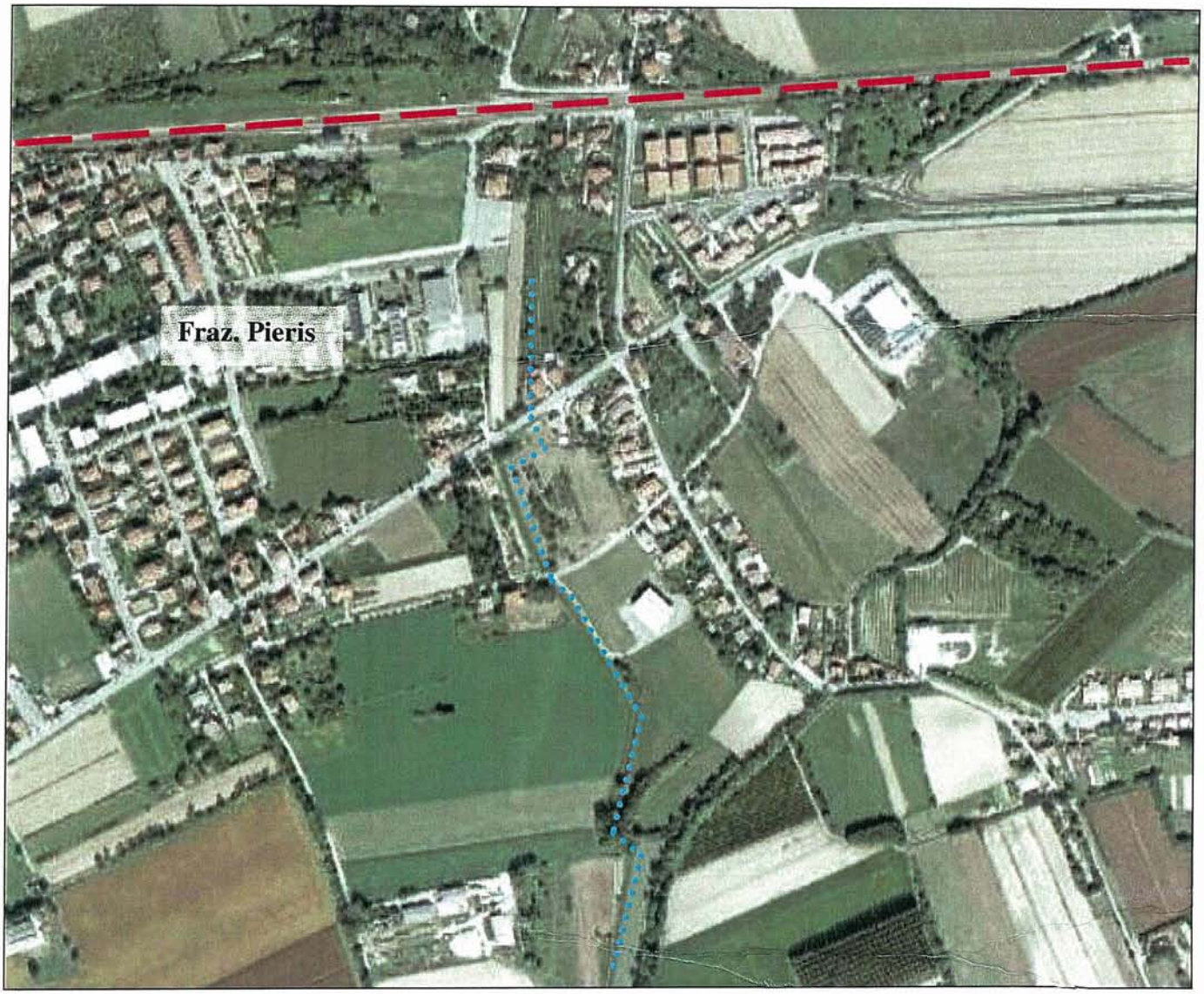


Fig. 7.25 - Veduta aerea del tratto della roggia S.Canziano presso Pieris: punteggiato in azzurro il corso d'acqua, poco visibile nella campagna a causa della scarsa vegetazione, in rosso la linea ferroviaria esistente

Superata la S.P.2 Pieris-Monfalcone e in avvicinamento al nucleo urbano di San Canziano, l'alveo si ingrandisce e la portata d'acqua aumenta: la vegetazione ripariale diviene più fitta e il corso d'acqua disegna il territorio. La roggia assume progressivamente i connotati di un corso d'acqua fluviale, ricevendo le acque della roggia dei Boschi e trasformandosi, poco più a valle, nel canale navigabile Brancolo con sbocco nel Golfo di Panzano.



Fig. 7.26 - Stralcio aereo del sistema idrografico nella campagna isontina presso San Canziano: la roggia di S. Canziano quasi invisibile a nord dell'edificato diventa il canale navigabile Brancolo

Nel **Carso**, le condizioni percettive del paesaggio sono influenzate dall'eterogeneità morfologica del territorio cui sono strettamente legati i segni della matrice naturale e antropica. Valgono le considerazioni condotte sulla variabilità degli ambiti visuali esposte nel paragrafo *"Individuazione dei caratteri del paesaggio"* (nello specifico al par. 7.2.3 7.2.4.2) cui si rimanda per la contestualizzazione della porzione interferita nell'ambito paesaggistico.

Il **territorio carsico tra la pk 10+900 e la pk 13+150** rappresenta il punto più critico per il transito della linea ferroviaria poiché i binari attraverseranno allo scoperto l'area nei pressi del lago di Pietrarossa e della palude di Sablici. Tale ambito, insieme al lago di Doberdò localizzato poco più a nord, costituisce un raro esempio di idrografia superficiale legata al fenomeno del carsismo. I laghi sono localizzati in depressioni tettoniche (le c.d. *polje*) e vengono alimentati dalla falda acquifera del sottosuolo.



Fig. 7.27 - Il sistema dei laghi carsici e delle relative zone umide interferite dal nuovo tracciato: in azzurro i tratti allo scoperto e in rosso quelli in galleria

La definizione dei bacini è molto incerta poiché l'acqua di fondo è soggetta a notevoli variazioni di livello in funzione del regime carsico: durante i periodi siccitosi l'acqua scompare nella folta vegetazione, mentre nei periodi piovosi si assiste ad un sensibile ampliamento dello specchio lacustre. Ne deriva che la presenza dei laghi contrasta la circostante aridità e permette lo sviluppo di ecosistemi tipici delle zone umide normalmente assenti su tutto il Carso: le zone attorno ai corpi idrici costituiscono delle "oasi" che conferiscono all'area un elevato grado di biodiversità. Il paesaggio vegetale si presenta molto vario essendo caratterizzato da habitat le cui caratteristiche ecologiche spaziano dagli ambienti umidi, associati ai laghi, a quelli parasteppici, come la landa.

Come è evidente dallo stralcio aereo del territorio, il contesto di inserimento è quello di un'area molto vegetata, disturbata dalla presenza di numerose infrastrutture, tra cui viabilità autostradale (e relativa area di svincolo del Lisert), passaggi aerei dell'elettrodotto e linea ferroviaria storica. L'uomo è, inoltre, intervenuto per modificare il naturale sistema idrico carsico, dotando il laghetto di Sablici di un emissario artificiale che scarica l'acqua nel Lisert e impedisce oscillazioni troppo ampie dello specchio lacustre vicino all'autostrada. Addentrandosi nelle aree naturali è l'aspetto vegetazionale quello preponderante: lo sguardo dell'osservatore è completamente immerso nella fitta boscaglia, gli unici segni antropici sono costituiti dai sentieri e dagli elementi detrattori (perlopiù tralicci dell'alta tensione) che si stagliano nel paesaggio anche a notevole distanza. Laddove il bosco lascia spazio al paesaggio di landa le visuali sono più aperte ed è possibile scorgere i rilievi dell'altopiano in lontananza.



Fig. 7.28 - Paesaggio in corrispondenza dell'attraversamento in trincea alla pk 11+200



Fig. 7.29 - Veduta panoramica alla pk 11+300 disturbata da un elettrodotto: sullo sfondo l'area boscata di Sablici

La maggior ingerenza paesaggistica sarà costituita dai viadotti ferroviari, in corrispondenza del superamento dell'autostrada A4 (pk 11+000 circa) e dell'area del Lisert (pk 12+000 circa); collocati in quota per garantire il superamento dei dislivelli esistenti questi invaderanno le visuali, divenendo forti landmark territoriali mascherati solo dalla vegetazione rigogliosa che incornicia i punti di fruizione.



Fig. 7.30 - Vista all'altezza della pk 11+000: il viadotto sopra l'A4 sarà parzialmente mascherato dalla vegetazione



Fig. 7.31 - Veduta dell'area del Lisert fortemente segnata da detrattori visuali; nascosto alla vista, al di sotto del ponte ferroviario, il casello autostradale attuale

7.3.3.4 Configurazione paesaggistica complessiva

Alla luce di quanto analizzato circa le componenti fisico naturalistiche ed antropiche del paesaggio, oltre alle caratteristiche percettive nei tratti specifici dell'attraversamento ferroviario, è possibile distinguere due livelli qualitativi:

- un ambito paesaggistico di **qualità medio-bassa, privo di particolari elementi di pregio**, in corrispondenza dell'attraversamento delle fasce di rispetto della **roggia S.Canziano**. Il carattere di naturalità del corso d'acqua è modesto nel tratto di interferenza e, prevedendo un ampliamento della linea storica esistente, la percezione del paesaggio rimarrà sostanzialmente inalterata;
- un ambito paesaggistico di **alta qualità, ricco di elementi di pregio**, nel territorio carsico e, in special modo nelle **aree di emersione delle acque sotterranee**. Tuttavia, l'analisi paesaggistica di dettaglio ha messo in luce alcune criticità dovute all'inserimento di infrastrutture già operate in passato nell'area; tali interventi hanno compromesso parzialmente lo stato originale del paesaggio abbassandone le qualità percettive. Le modificazioni che quest'opera introdurrà nell'ambito non sono trascurabili e andranno a sommarsi a quelle esistenti.

Il progetto nel suo complesso dovrà tenere debitamente conto delle criticità evidenziate, scegliendo opportune misure di mitigazione che contribuiranno a ricreare intorno alla nuova linea ferroviaria un senso di appartenenza all'ambito paesaggistico e a sfumare il rapporto tra l'opera e il paesaggio interessato.

7.3.3.5 Valutazione dell'interferenza con le caratteristiche paesaggistiche

Come illustrato ai punti precedenti i luoghi e le aree interessate dal progetto presentano caratteristiche paesaggistiche eterogenee, che spaziano da ambiti privi di elementi di pregio a contesti di naturalità eccezionale.

La conformazione locale della bassa pianura rimanda ad un paesaggio a forte matrice antropica sia per la vicinanza alle zone urbanizzate, sia per la presenza di infrastrutture d'accesso ai centri urbani che relegano le fasce ripariali e i filari ad un ruolo di naturalità residua.

La componente naturalistica è costituita dalle tipiche essenze arboree ed arbustive ripariali, che saranno interferite in corrispondenza degli attraversamenti.

Diversamente accade sul Carso: la qualità paesaggistica attuale è elevata e la portata dell'intervento potrebbe compromettere i delicati equilibri esistenti. A fronte delle scelte progettuali che prevedono in territorio carsico lo sviluppo in galleria, si può concludere che il nuovo tratto ferroviario si inserirà nel paesaggio senza destare particolari problematiche, fatta eccezione per il sistema dei laghi carsici Doberdò-Pietrarossa-Sablici. Qui il passaggio allo scoperto e la necessità di rilevanti opere civili modificherà le condizioni percettive dell'ambito.

Per quanto riguarda l'interferenza con gli unici elementi paesaggisticamente vincolati, costituiti dalla fascia di rispetto della roggia S.Canziano e dall'area tra Sablici e Pietrarossa –per cui è stato redatto il presente approfondimento- si vuole evidenziare come essi stessi siano già stati parzialmente compromessi dal sovrapporsi di segni antropici alla matrice naturale originaria.

Di fatto, solo i nuovi viadotti tra i rilievi dell'altopiano rappresenteranno le opere di maggiore evidenza paesaggistica. Le opere in questione risulteranno, tuttavia, visibili solo da alcuni punti di fruizione lungo le principali viabilità, mentre saranno mascherati alla vista dalla vegetazione rigogliosa addentrandosi nelle aree naturali.

Pertanto, l'introduzione della linea ferroviaria e delle opere connesse non determineranno modifiche sostanziali agli elementi strutturali del paesaggio, ma solamente variazioni accettabili ed integrabili nello stesso per tipo e dimensione.

7.3.3.6 Opere ed interventi di minimizzazione degli impatti sul paesaggio

La fase di costruzione del nuovo tracciato prevederà interventi di ripristino ambientale con l'impiego di specie sia arboree sia arbustive autoctone, assimilabili a quelle già esistenti nell'area e nelle sue vicinanze, così da minimizzarne gli impatti.

Gli interventi a verde andranno a ricostituire la copertura vegetazionale autoctona in corrispondenza dei tratti più interferiti. Sarà in qeusto modo potenziata la capacità di assorbimento visuale da parte della componente naturale, facilitando la contestualizzazione della nuova ferrovia. In particolare, le attenzioni progettuali proposte rassicurano sul rispetto delle specificità del paesaggio attraversato.

7.4 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte dalla componente ambientale in questione sono costituite:

- dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici per la Provincia di Gorizia e Trieste;
- dagli Enti preposti alla tutela e alla gestione delle aree naturali protette;
- dai residenti nell'area circostante la linea ferroviaria e dagli escursionisti, che risultano i "fruitori visivi" della nuova infrastruttura.

Si ritiene che per tali stakeholder la componente ambientale in esame costituirà oggetto di specifico approfondimento e, nell'ambito del Carso, elemento di criticità.

8 PATRIMONIO STORICO-ARCHITETTONICO E CULTURALE

Il presente paragrafo illustra la valutazione del potenziale impatto sul patrimonio storico-architettonico e culturale prodotto dalle opere ferroviarie in progetto.

8.1 Riferimenti legislativi

Quadro normativo Nazionale

- D.lgs. n.42 del 22 gennaio 2004 -"Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio" e s.m.i.;
- D.lgs. n.490 del 29 ottobre 1999 – "Testo unico delle disposizioni legislative in materia di beni culturali e ambientali, a norma dell'articolo 1 della legge 8 ottobre, n. 352";
- D.lgs. n.258 del 18 agosto 2000 - "Disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999 n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1 comma 4 della legge 24 aprile 1998 n. 128";
- L. n.78 del 7 marzo 2001 – "Tutela del patrimonio storico della prima guerra mondiale".

Quadro normativo Regionale

- D.G.R. del 13 settembre 1996, n.4046 – "Dichiarazione di notevole interesse pubblico di venticinque cavità naturali del Carso triestino e goriziano ai sensi dell'art.1, comma 1, della legge 1497/1939, nei Comuni di Doberdò del Lago, Savogna d'Isonzo, Duino-Aurisina, Monrupino, San Dorligo della Valle, Sgonico e Trieste";
- L.R. del 21 luglio 2000, n.14 – "Norme per il recupero e la valorizzazione del patrimonio storico-culturale e dei siti legati alla prima guerra mondiale";

Con l'entrata in vigore del "Codice dei Beni culturali e del Paesaggio", si assiste ad un superamento del tradizionale concetto di "bene" come esclusivamente riferito agli ambiti di eccellenza, di valore estetico e di qualità eccezionale. Trascendendo la mera tutela delle aree di pregio a favore di una rinnovata attenzione a tutto il territorio inteso come patrimonio culturale, a prescindere dalle categorie estetiche attribuibili, vengono annoverati tra i beni anche elementi dal valore testimoniale legati agli eventi storici.

8.2 Descrizione dello stato attuale della componente

Nel seguito vengono sinteticamente illustrati i principali beni che caratterizzano il territorio dei singoli comuni interessati dal tracciato. Nell'analisi si considereranno unicamente quelle porzioni di territorio che risultano più prossime al tracciato ferroviario ed alle opere ad esso complementari: non rientreranno invece nell'analisi beni, ancorché di valore, distanti dall'area. Si rimanda all'elaborato *"Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale"* (L34400R22P5SA000A033-040A) che individua i principali elementi caratterizzanti nel territorio in esame.

In particolare non verranno descritti i numerosi elementi del patrimonio storico, architettonico e culturale che caratterizzano il litorale da Monfalcone a Trieste e la stessa città di Trieste: lo sviluppo della linea ferroviaria in tale territorio avviene infatti a distanza significativa dal litorale, e per quanto riguarda la città di Trieste il tracciato vi transita unicamente in galleria profonda, senza interazione alcuna con gli elementi presenti in superficie.

Nell'ambito dell'analisi si individuano separatamente i beni di interesse architettonico (chiese, monumenti, ville, eccetera), i beni di interesse culturale (nei quali rientrano ad esempio alcune grotte o anche dei percorsi storici) ed i

beni di valore storico-testimoniale legati agli eventi della Prima Guerra Mondiale, che hanno fortemente interessato il territorio in esame. Verranno menzionati i principali beni esistenti in ciascun territorio comunale.

8.2.1 Beni di interesse architettonico

La presenza di beni di interesse storico architettonico è strettamente legata agli eventi storici che hanno interessato il territorio.

Come meglio analizzato nel capitolo 16 della presente relazione dedicato all'archeologia, il territorio in esame è stato colonizzato dall'uomo fin dall'epoca neolitica, e contiene testimonianze di valore di tutte le successive epoche.

Duino Aurisina

Tra gli elementi architettonici di maggior interesse di epoca antica si trovano la *Villa romana del II-I sec. a.C. nei pressi delle cave* di pietra calcarea grigia (importanti sin dall'epoca antica) e alcuni castellieri. In particolare tre sono segnalati a livello regionale: il *castelliere di Monte San Leonardo* (nei pressi dell'abitato di Prepotto e Terranova e ottimo punto panoramico), il *castelliere di Sales* (tra Sgonico e Samatorza) e quello *di Slivia* (poco distante dall'omonimo borgo carsico).

La *chiesa di S.Ulderico di Samatorza* è un'antica chiesa del Carso Triestino dalla caratteristica facciata con campaniletto a vela.

Notevole e di antica origine è il complesso di fortificazioni del *Castello di Duino*: in alto il Castello nuovo, dei principi Della Torre e Tasso, già menzionato insieme al Castello vecchio nel 1363, più in basso il Castello vecchio arroccato su un bastione di scogli sorto in sostituzione di un edificio in rovina.

Poco oltre l'abitato di Duino, alla foce del Timavo, si trova il *Villaggio del Pescatore*, costruito per ospitare profughi istriani. Nei pressi del bivio dove si stacca la S.S. 55 per Gorizia sorgono la moderna *chiesa di San Giovanni* (dell'arch. Angelo Mazzoni) e quella di *San Giovannni al Timavo, o in Tuba*, originaria di fine XV secolo e in stile carinziano, parzialmente ricostruita dopo la guerra.

Monfalcone

La zona fu abitata fin dai tempi più remoti e, in particolare, il *colle della Rocca* (da *Verruca* o *Falcone* da cui deriva il nome della città) fu sede di un castelliere preromano.

Il centro cittadino, attorno a *Piazza della Repubblica* e a *Piazza dell'Unità d'Italia*, è caratterizzato da edifici di notevole interesse, tra cui spiccano il *Palazzo del Municipio* (del 1860 con linee classicheggianti), il *Duomo* (interamente ricostruito nel 1926-29) e i *resti delle mura medievali*, demolite nel 1838. Verso sud si estende il grande Cantiere Navale della Fincantieri, segno tangibile del volto industriale che ha delineato la città dagli anni '70. Ai margini della città, sull'arteria che porta a Grado, si trova la *Chiesa della Marcelliana*, antico santuario ricostruito a partire dal XVIII sec.

8.2.2 Beni di interesse culturale

Duino Aurisina

La *Grotta Pocala* rappresenta un importante luogo per lo studio della preistoria locale: in essa sono stati rinvenuti resti di utensili in pietra e in osso e resti di animali preistorici.

Dal castello di Duino attraverso un bosco e sulla falesia rocciosa, si snoda una panoramica passeggiata verso Sistiana, nota come *passeggiata di Rilke*. Suggestivo è lo scenario delle insenature sotto i Castelli, ricche di interessanti elementi naturali: da segnalare l'area delle *falesie di Duino*, istituita a Riserva naturale dal 1996.

Poco dietro la chiesa di San Giovanni al Timavo vi sono le celebri *Bocche del Timavo*, grandiosa risorgenza del fiume con sei polle ribollenti ai piedi dell'altopiano carsico: le acque sotterranee del fiume -inabissatosi in territorio iugoslavo- ritornano alla luce e attraverso tre rami confluiscono in un unico corso verso il mare.

Monfalcone

In uscita dall'abitato verso Est, lungo la statale e deviando verso Porto Rósega, la strada che attraversa la piana del Lisert raggiunge le antiche *terme romane*. Queste sorgono in un luogo celebre, menzionato da Plinio e segnalato nella *Tabula Peutingeriana*, dove sgorga una sorgente calda salso-sulfurea: a tempi alterni riattivate e abbandonate, scamparono alla guerra e poi furono definitivamente dismesse.

8.2.3 Beni di valore storico-testimoniale legati alla Prima Guerra Mondiale

Per impulso del duca Emanuele Filiberto d'Aosta, comandante della III Armata del Carso, sorge nel 1923 nei pressi di Redipuglia, sul colle del Sant'Elia, il primo grande cimitero di guerra, che accoglie i resti di trentamila caduti (di cui solo poco meno di seimila noti). Il suggestivo monumento, che con i suoi cippi realizzati con residuati e le epigrafi patriottiche diventa il fulcro del pellegrinaggio dei reduci e dei loro familiari sui luoghi del conflitto, viene ulteriormente ingrandito e profondamente trasformato alla metà degli anni Trenta, all'interno della celebrazione della memoria del conflitto voluta dal regime fascista, che progetta circa quaranta grandi sacrari per riunire i resti di circa mezzo milione di caduti noti e ignoti.

Il Sacrario di Redipuglia sorge a poca distanza dal tracciato di progetto, e rappresenta un elemento significativo per la memoria degli eventi che si svolsero sul Carso durante la Prima Guerra Mondiale.

Tra gli altri simboli del conflitto mondiale nell'area si citano: le *Cave di Selz* (nel territorio di Ronchi dei Legionari) dove gli Austriaci si difesero accanitamente all'inizio della Prima Guerra mondiale, il *Monumento alla III Armata* eretto presso il Lisert in memoria dei Morti del Timavo, il *Monumento al 65° Fanteria* e i *due bronzei lupi commemorativi della Brigata Lupi di Toscana, lungo* la S.P.1 in località Porto del Timavo.

Nel territorio intorno al tracciato sono visibili ancora resti di fortificazioni e trincee, laddove non smantellati da spietramenti in epoche successive alla guerra e non coperti dalla vegetazione. I principali elementi di valore storico-testimoniale desumibili da cartografia e rilievi sono riportati nell'elaborato *"Carta degli elementi di interesse storico, architettonico e culturale"* (L34400R22P5SA000A033-040A).

8.2.3.1 Gli eventi della Prima Guerra mondiale nell'area interessata dal progetto

Il territorio del Carso è stato pesantemente interessato dagli eventi della prima guerra mondiale: il fronte italo-austriaco era infatti posizionato nell'ambito di tale territorio, che fu segnato da 11 battaglie tra il giugno 1915 e l'agosto 1917. Il teatro degli eventi bellici principali lungo il fronte dell'Isonzo era localizzato prevalentemente a nord del territorio direttamente interessato dal tracciato (laddove questo si sviluppa all'aperto).

Fa eccezione la zona a nord-est di Monfalcone, città che grazie alle infrastrutture portuali e ferroviarie ha costituito un'importante retrovia per le truppe italiane, e sulle cui alture si sono svolti numerosi combattimenti. Zone interessate da complesse strutture difensive (fortilizi, fossati, trincee, ecc.) sono anche quelle di Pietrarossa e di Sablici, come si vede dalle figure sottostanti, tratte da documentazione di carattere militare dell'epoca.

La guerra, iniziata sul fronte italo-austriaco il 24 maggio 1915, coinvolse Monfalcone fin dal 9 giugno con l'entrata in città delle prime truppe italiane e la contemporanea occupazione delle alture sovrastanti abbandonate dai reparti astro-ungarici. L'abitato si trasformò in retrovia accogliendo ricoveri, comandi, ospedali e cimiteri, mentre una rete di camminamenti e le trincee di prima linea segnarono profondamente il profilo delle alture.

Le operazioni iniziali consentirono alle truppe italiane di attestarsi sui rilievi della Gradiscata, della Rocca e delle quote 98, e di collocare avamposti antistanti alle zone del Tamburo e di quota 93 in direzione delle quote 121 e 85, che vennero contese, conquistate e perdute ripetutamente per un anno intero, con sacrificio di migliaia di uomini.

La caduta di Gorizia (8-9 agosto 1916) determinò una lieve rettifica alla linea avanzata italiana, che inglobò le quote 121 di Pietrarossa e la 85, ribattezzata nel dopoguerra "Quota Enrico Toti", tenendosi in stertto contatto con il caposaldo avversario di quota 77 di Sablici. Quest'ultimo venne superato solo nel maggio 1917 nel corso della decima battaglia dell'Isonzo.

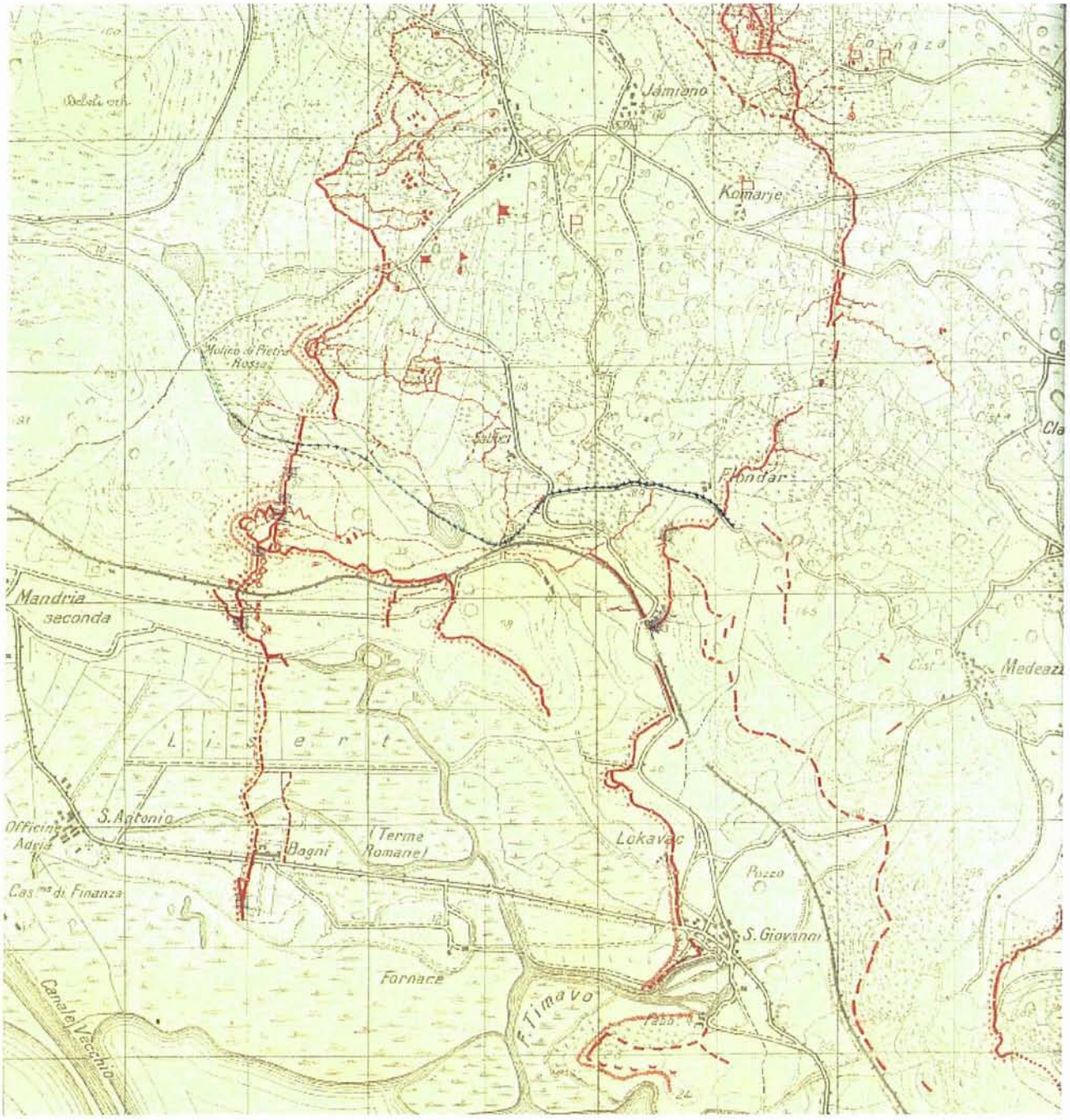


Fig. 8.1 – Organizzazione difensiva austriaca a monte delle foci del Timavo nel 1916. Al centro dell'immagine sono visibili i toponimi di Pietrarossa e Sablici, interessati dal tracciato in progetto e da alcune aree di cantiere.

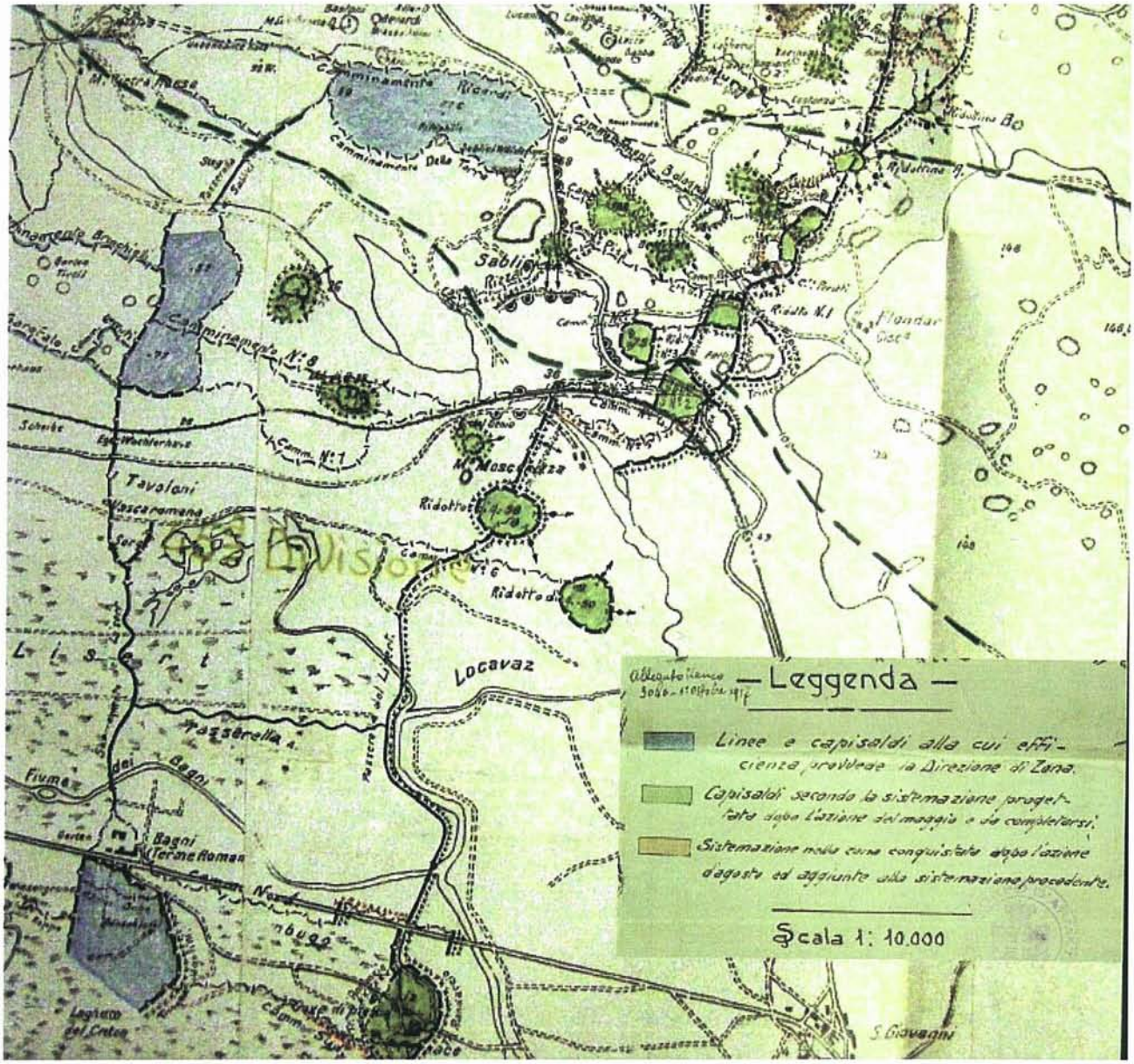


Fig. 8.2 – Linee e capisaldi italiani nella zona di Sablici nel settembre 1917. La zona verrà interessata dal tracciato di progetto e da alcune aree di cantiere.

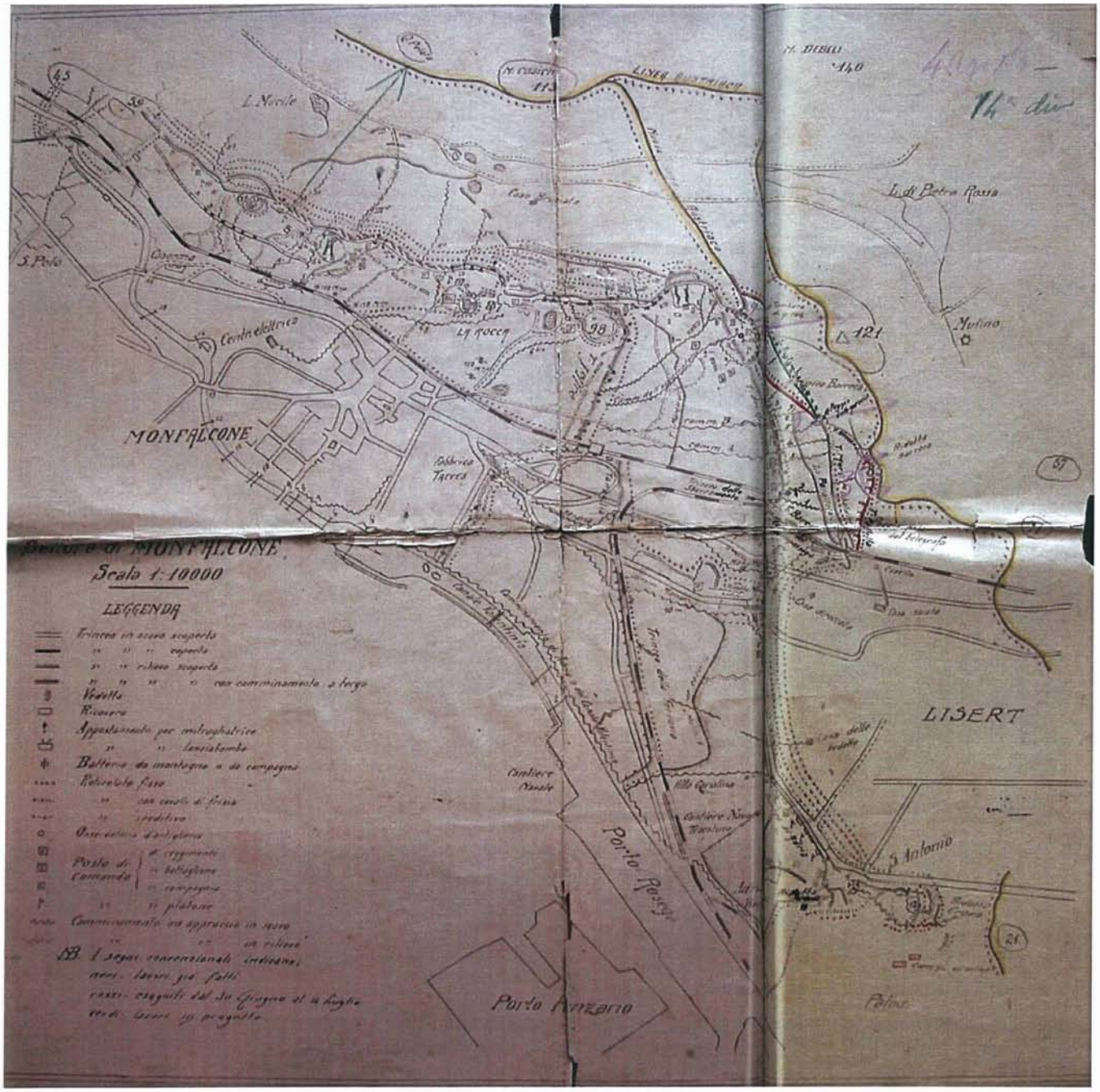


Fig. 8.3 - Vista complessiva del settore Monfalcone dell'esercito italiano con le linee difensive realizzate nel 1916 (fonte: archivi militari). Al centro dell'immagine è ben visibile la linea ferroviaria con la stazione. La maggior parte delle fortificazioni si sviluppano sulle alture a monte della stessa linea.

Evento bellico fondamentale per l'area direttamente interessata dal tracciato è quello noto alla storia come "Piccola Caporetto", ovvero lo sfondamento da parte austriaca del fronte italiano nella zona di Flondar, ad est di Monfalcone. L'attacco austriaco durò dal mattino del 4 giugno 1917 fino al 6 giugno 1917 e consentì uno spostamento della linea del fronte ad ovest del monte Hermada. L'attacco austriaco costò alle truppe italiane 22.000 uomini: 4000 morti, 8000 feriti e 10.000 prigionieri.

Nel tardo autunno del 1917 lo sfondamento del fronte italiano a Caporetto costrinse i reparti dell'esercito italiano a ritirarsi dal Carso; le operazioni belliche sulle alture circostanti Monfalcone si concluserò così il 27 ottobre 1917 con l'abbandono di tutte le posizioni conquistate e la ritirata fino alla linea del Piave.

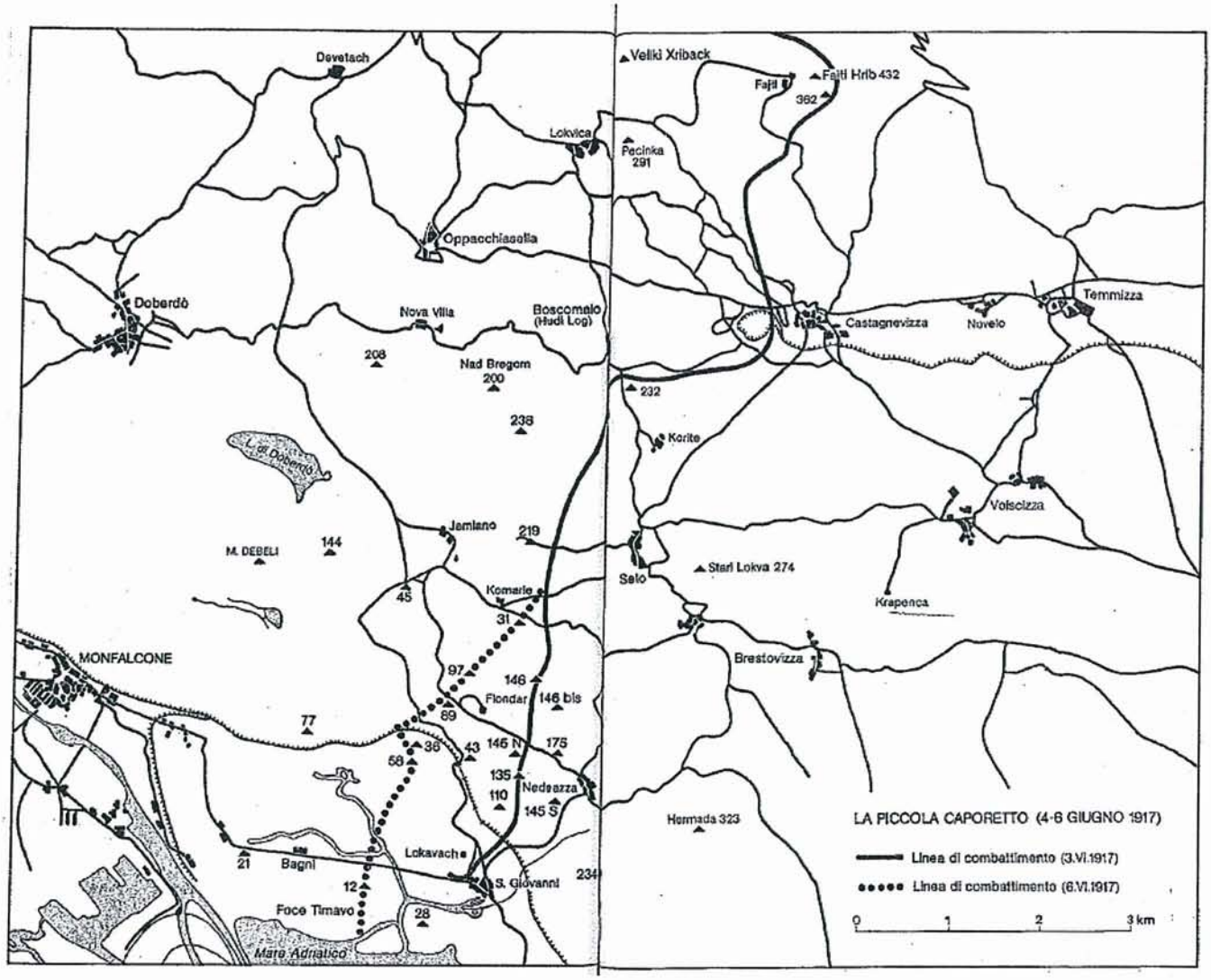


Fig. 8.4 - Linea di combattimento ad est di Monfalcone dal 3 al 6 giugno 1917 nell'area direttamente interessata dal tracciato (da Silvestri, 1974)

8.2.3.2 Parco tematico della Grande Guerra di Monfalcone

L'area dove si svolsero detti eventi bellici risulta direttamente interessata dal tracciato di progetto; nell'area di Monfalcone una parte delle strutture militari rimaste sono state valorizzate tramite percorsi e segnaletica esplicativa. Il Comune di Monfalcone ha a questo fine realizzato un "Parco tematico della Grande Guerra" anche per preservare le testimonianze di eventi fondamentali per la storia italiana accaduti sul proprio territorio. L'intervento è stato cofinanziato dall'Unione Europea attraverso i fondi FESR – Obiettivo 2, banditi dalla Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia.

Il Parco si basa su un percorso di fruizione territoriale che copre un'area di circa due ettari di territorio carsico suddivisi su tre ambiti tematici, illustrati nella figura sottostante:

Ambito 1 --- Quota 121 (Cima di Pietrarossa)

Ambito 2 --- Sella di Quota 85 (Quota Enrico Toti) – Trincerone

Ambito 3 --- Trincea Joffre – Grotta Vergine

Tutti gli ambiti sono individuati da apposita segnaletica e collegati tra loro da una rete di sentieri che, oltre a rendere fruibile l'area e a metterla in sicurezza, ha dato valore aggiunto alla riqualificazione dell'intera zona.

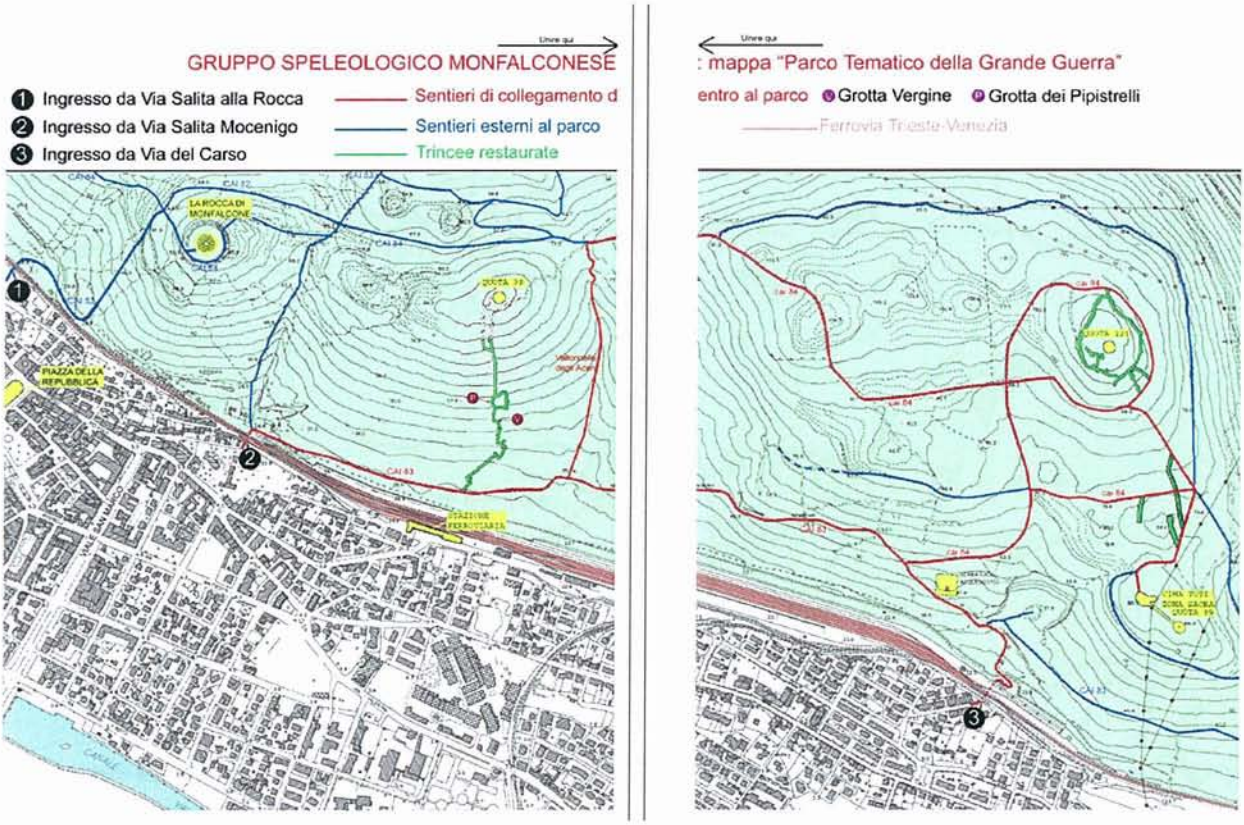


Fig. 8.5 - Percorsi valorizzati dal Parco Tematico della Grande Guerra

8.3 Valutazione delle interferenze

Non si segnalano interferenze dirette o indirette con beni di carattere storico-architettonico, fatta eccezione per **brevi tratti di resti di trincee** e di itinerari istituiti per la valorizzazione del patrimonio testimoniale **della Grande Guerra**.

Il tracciato interferisce con tali testimonianze, nel tratto compreso tra la pk 7+500 e la pk 12+000 profondamente segnato dal primo conflitto bellico; nello specifico:

- in corrispondenza delle pk 7+750 e 7+800 dell'interconnessione con la linea storica il tracciato interferisce in modo diretto con le **trincee a nord di S.Polo (località Zochet e Gradiscata)** con passaggio in galleria artificiale; all'altezza della pk 7+780 l'interferenza con la **trincea** segnalata dall'itinerario dello Zochet-Gradiscata-Forcate è, anche in questo caso, di tipo diretto per circa 30 m, mentre alle pk 8+400, 8+535 e 8+630 l'interferenza è di tipo indiretto con passaggio in galleria naturale;
- in corrispondenza della pk 8+900 il tracciato interferisce in modo diretto con una **trincea a sviluppo N-S a nord del centro storico di Monfalcone (località la Rocca)**; anche in questo caso, l'ingerenza con il

manufatto avviene per circa 30 m, sezione utile al passaggio di due nuovi binari in trincea;

- in corrispondenza della pk 11+207 il tracciato interferisce direttamente con una **trincea a sviluppo E-O a nord di Sablici,** sviluppandosi per circa 30 m sul sedime del manufatto; tra la pk 11+600 e la pk 11+680 la nuova linea ferroviaria interferisce in modo diretto per circa 80 m con la medesima **trincea**, sviluppandosi in galleria artificiale.

8.4 Bibliografia e sitografia

- "Carso triestino e isontino. Carta topografica per escursionisti", Casa editrice Tabacco, 2005.
- Basso G., "Alla scoperta del Carso. Itinerari escursionistici tra natura, storia ed enogastronomia", Edicicio Editore, Portogruaro, 2010.
- Cannarella D., "10 Itinerari Carsici. Da Aurisina a Slivia", Italo Svevo Editore,Trieste, 1991.
- Gherbaz F., Sgai C. e Vidonis F., "Valorizzazione delle opere di guerra sul monte Ermada", Società Alpina delle Giulie, 2003.
- Mantini M. & Stok S., "I Tracciati delle trincee sul fronte dell'Isonzo. Le alture di Monfalcone", Paolo Gaspari Editore, 2009.
- Silvestri M., "Caporetto: una battaglia un'enigma", Mondadori, 1984.
- Sfregola P., "Itinerari Carsici. Da Aurisina a Slivia", Edizioni Italo Svevo Trieste, 1991.
- Touring Club Italiano, "Friuli Venezia Giulia", Touring editore, 2005.
- Todero R., "Fortezza Hermada 1915-1917. Storia e itinerari della Grande Guerra in Italia e in Slovenia", Paolo Gaspari Editore, 2002.
- Todero R., Bottazzi F., Cabrera G., Pollanzi P., Scarcia B., "Trincee Nascoste sul Carso Triestino, Goriziano e Sloveno", Transalpina Editrice,Trieste, 2008.
- Sito ufficiale del Consorzio Culturale del Monfalconese, http://www.grandeguerra.ccm.it

8.5 Percezione da parte degli stakeholder

I soggetti interessati alla componente in esame sono costituiti dagli Enti Pubblici preposti alla tutela dei beni storici, architettonici e culturali (comprese le Soprintendenze territorialmente competenti), e dalle associazioni locali che si sono recentemente occupate della valorizzazione delle tracce residue degli eventi bellici.

Data l'interferenza con aree profondamente segnate dal conflitto mondiale, con possibile presenza di testimonianze non ancora scoperte, si ritiene che l'aspetto ambientale in esame sarà di particolare rilievo per i soggetti di cui sopra.

9 CAMPI ELETTROMAGNETICI

9.1 Riferimenti legislativi

- L.Q. del 22 febbraio 2001 - "Legge quadro sulla protezione dalle esposizioni a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici";
- D.C.P.M dell'8 luglio 2003 - "Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti";
- Raccomandazione 1999/512/CE del 12 luglio 1999 – "Raccomandazione del consiglio relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz";
- D.M. Ambiente 29 maggio 2008 – "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".

9.1.1 Legge 36/2001 del 22 febbraio 2001. Legge quadro sulla protezione dall'esposizione a campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici

Il campo di applicazione della legge è molto ampio, comprendendo impianti, sistemi ed apparecchiature che possano comportare esposizione dei lavoratori e della popolazione a campi elettromagnetici con frequenze comprese fra 0 Hz e 300 GHz. In questo intervallo di frequenze sono comprese sorgenti quali gli elettrodotti, le stazioni radiobase per la telefonia mobile, i radar e gli impianti fissi per l'emittenza radiotelevisiva. Nella tabella seguente si illustra la ripartizione delle competenze tra Stato, regioni, province e comuni prevista dalla norma.

STATO	Determinare: Limiti di esposizione Valori di attenzione Obiettivi di qualità Parametri per la previsione di fasce di rispetto per gli elettrodotti Criteri di elaborazione dei piani di risanamento Individuare le tecniche di misurazione e rilevamento Promuovere attività di ricerca e sperimentazione scientifica Coordinare le attività di raccolta, elaborazione e diffusione dei dati Istituire il catasto nazionale delle sorgenti fisse e mobili di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici Realizzare gli accordi di programma Definire i tracciati degli elettrodotti
REGIONI	Adottare un piano di risanamento Individuare i siti di trasmissione (telefonia mobile, impianti radioelettrici, impianti per radiodiffusione) Definire i tracciati degli elettrodotti con tensione non superiore a 150 Kv Definire le modalità per il rilascio delle autorizzazioni all'installazione degli impianti sopra descritti Realizzare e gestire un catasto regionale Individuare gli strumenti e le azioni per il raggiungimento degli obiettivi di qualità Concorrere nell'approfondimento delle conoscenze scientifiche relative agli effetti per la salute
PROVINCE E COMUNI	Controllo e vigilanza sanitaria Ai Comuni è riconosciuta la facoltà di adottare un regolamento per assicurare il corretto insediamento urbanistico e territoriale degli impianti, e minimizzare l'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici

Secondo la legge, è competenza delle Regioni la definizione dei piani di risanamento dei sistemi esistenti, l'adozione di criteri generali per la localizzazione degli impianti fissi e l'individuazione, negli strumenti urbanistici generali e loro varianti, dei tracciati degli elettrodotti, con previsione di fasce di rispetto all'interno delle quali non si consenta alcuna destinazione urbanistica, residenziale, scolastica e sanitaria.

Allo Stato rimangono altre funzioni di rilievo. In primo luogo la determinazione, attraverso l'emanazione di un D.P.C.M., dei valori massimi di esposizione per l'ambiente esterno, abitativo e di lavoro, nonché delle politiche di riduzione dell'esposizione. Sempre allo Stato spetta la realizzazione di una sorta di catasto delle sorgenti fisse di campi elettrici, magnetici ed elettromagnetici e dei territori interessati, con l'obiettivo di stimarne i livelli nell'ambiente. Infine, alle Province e ai Comuni spettano l'adozione di un regime amministrativo autorizzatorio degli impianti in questione e l'esercizio di funzioni di controllo e di vigilanza.

9.1.2 D.P.C.M dell'8 luglio 2003 - Fissazione dei limiti di esposizione, dei valori di attenzione e degli obiettivi di qualità per la protezione della popolazione dalle esposizioni ai campi elettrici e magnetici alla frequenza di rete (50 Hz) generati dagli elettrodotti

Il decreto definisce i limiti di riferimento previsti dalla legge quadro.

Di seguito si riportano gli articoli fondamentali con riferimento al problema esaminato nel progetto in esame di inserimento nel territorio di un nuovo elettrodotto.

Art.3 - Limiti di esposizione e valori di attenzione

Nel caso di esposizione a campi elettrici e magnetici alla frequenza di 50 Hz generati da elettrodotti, non deve essere superato il limite di esposizione di 100μT per l'induzione magnetica e 5 kV/m per il campo elettrico, intesi come valori efficaci.

A titolo di misura di cautela per la protezione da possibili effetti a lungo termine, eventualmente connessi con l'esposizione ai campi magnetici generati alla frequenza di rete (50 Hz), nelle aree gioco per l'infanzia, in ambienti abitativi, in ambienti scolastici e nei luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore giornaliere, si assume per l'induzione magnetica il valore di attenzione di 10μT, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

Art.4 - Obiettivi di qualità

Nella progettazione di nuovi elettrodotti in corrispondenza di aree gioco per l'infanzia, di ambienti abitativi, di ambienti scolastici e di luoghi adibiti a permanenze non inferiori a quattro ore e nella progettazione dei nuovi insediamenti e delle nuove aree di cui sopra in prossimità di linee ed installazioni elettriche già presenti nel territorio, ai fini della progressiva minimizzazione dell'esposizione ai campi elettrici e magnetici generati dagli elettrodotti operanti alla frequenza di 50 Hz, è fissato l'obiettivo di qualità di 3μT per il valore dell'induzione magnetica, da intendersi come mediana dei valori nell'arco delle 24 ore nelle normali condizioni di esercizio.

9.1.3 Raccomandazione 1999/512/CE del 12 luglio 1999 – "Raccomandazione del consiglio relativa alla limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz

Il riferimento normativo per i campi elettromagnetici generati da correnti continue è costituito dalla Raccomandazione del Consiglio delle Comunità Europee n° 519 del 12 luglio 1999 "Limitazione dell'esposizione della popolazione ai campi elettromagnetici da 0 Hz a 300 GHz".

La raccomandazione introduce un livello di riferimento per l'induzione magnetica pari a *40000 μT* nell'intervallo di frequenza tra 0 e 1 Hz, mentre non fissa alcun limite per l'intensità del campo elettrico in tale intervallo di frequenza.

9.1.4 Decreto Ministero Ambiente 29 maggio 2008 – "Approvazione della metodologia di calcolo per la determinazione delle fasce di rispetto degli elettrodotti".

Il DPCM 8 luglio 2003, all'art. 6, in attuazione della Legge 36/01, introduce la metodologia di calcolo delle fasce di rispetto, definita nell'allegato al Decreto 29 maggio 2008. Detta fascia comprende tutti i punti nei quali, in normali condizioni di esercizio, il valore di induzione magnetica può essere maggiore o uguale all'obiettivo di qualità.

9.2 Descrizione dello stato attuale

Con riferimento alle aree oggetto di specifica analisi, la situazione attuale dell'area interessata dal progetto è caratterizzata:

- in tutta la tratta da inizio progetto a Monfalcone, dalla presenza della linea ferroviaria storica, alimentata a 3 kV in corrente continua, secondo lo standard delle ferrovie italiane;
- nell'area di Aurisina, dalla presenza, oltre della linea ferroviaria storica, anche di due elettrodotti AT, uno FS ed uno Terna.

9.3 Valutazione delle interferenze

9.3.1 Valutazione del campo elettromagnetico generato dagli interventi in progetto

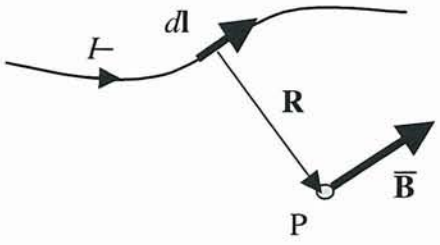
La determinazione del campo elettromagnetico generato dalle opere in progetto è stata eseguita con riferimento:

- all'affiancamento della linea 3 kV c.c. di alimentazione dei nuovi binari AV/AC con la linea a 3 kV c.c. della linea storica;
- alla realizzazione del nuovo elettrodotto 132 kV c.a. aereo di alimentazione della SSE di Aurisina;
- alla realizzazione del nuovo elettrodotto 132 kV c.a. in cavo di alimentazzione della SSE di Ronchi dei Legionari.

9.3.2 Modello di calcolo per la stima dell'intensità dei campi elettromagnetici

Il modello di calcolo dell'intensità del campo magnetico (o dell'induzione magnetica) si basa sull'integrazione della legge di Biot-Savart, che consente di determinare il valore del campo e dell'induzione magnetica in ogni punto dello spazio a partire dalla conoscenza della geometria delle linee elettriche e delle sorgenti di campo (intensità e fase delle correnti elettriche). In particolare, un conduttore percorso da una corrente pari ad ***I*** produce nello spazio circostante considerato omogeneo (aria) un'induzione magnetica **B** dato dall'integrale:

$$\overline{\mathbf{B}} = \mu_0 \int \frac{\bar{I} d\mathbf{l} \times \mathbf{R}}{4\pi R^3}$$



in cui:

- **dl** è un vettore di lunghezza infinitesima, tangente al conduttore ed orientato nel verso della corrente;
- **R** è un vettore distanza tra il punto sul conduttore ed il punto P in cui si vuole determinare il campo;
- μ_0 è la permeabilità assoluta (assunta per l'aria) pari a $4\pi 10^{-7}$.

L'integrazione riportata nella formula soprastante viene effettuata per via numerica sommando vettorialmente i contributi che si ottengono suddividendo il conduttore in un numero finito di elementi discreti: ogni conduttore è descritto geometricamente mediante l'equazione della curva che lo rappresenta. L'integrale viene effettuato per ogni conduttore del sistema ed i contributi vengono sommati. Il metodo risulta quindi del tutto generale sia per il numero sia per la tipologia dei conduttori.

Nel calcolo, operando in maniera cautelativa, non si tiene conto dell'influenza e dell'effetto schermante determinati dalla presenza dei sostegni delle linee elettriche, del sistema di sospensione dei conduttori di servizio della linea ferroviaria e di eventuali altri manufatti metallici che possono perturbare il campo.

9.3.3 Studio dell'affiancamento della linea 3kV c.c. storica con la linea 3kV c.c. relativa ai nuovi binari AV

Analisi e misure effettuate in scenari analoghi a quello di progetto, che vede nelle tratte all'aperto, nella situazione più gravosa, ben 4 binari in affiancamento, ciascuno con linea TE tradizionale 3 kV c.c., mostrano che il valore di induzione magnetica massima atteso (dipendente dalla geometria della linea e dalla distanza dei conduttori) è dell'ordine di grandezza di 100-200 μT.

Tale valore risulta ampiamente inferiore al valore limite di 40.000 μT definito dalla Raccomandazione 1999/512/CE del 12 luglio 1999.

L'impatto generato dall'inserimento dei nuovi conduttori 3 kV c.c. sul campo elettromagnetico può essere di conseguenza considerato trascurabile.

9.3.4 Elettrodotto aereo di alimentazione della SSE di Aurisina

In virtù del valore estremamente basso della frequenza di alimentazione (50 Hz), il campo elettrico e il campo magnetico prodotti da una linea aerea possono essere considerati come due fenomeni fisici separati. Il campo elettrico generato da un elettrodotto è legato alla tensione del sistema, che almeno nominalmente è fissa, ne risulta che i livelli di campo elettrico sono sostanzialmente stabili. Dato il livello di tensione non eccessivamente elevato dell'elettrodotto di Aurisina (132 kV), il livello di campo elettrico corrispondente sul livello del suolo risulterà sicuramente al di sotto dei limiti imposti dall'attuale normativa: infatti da misure e valutazioni teoriche si deriva che il campo elettrico al suolo in prossimità di elettrodotti a tensione uguale o inferiore a 150 kV non supera mai il limite di esposizione per la popolazione di 5 kV/m.

Il progetto prevede di alimentare la nuova SSE di Aurisina con derivazione (entra/esci) dalla dorsale AT Redipuglia – Villa Opicina. Il collegamento della sottostazione è realizzato da due linee aeree, con tensione nominale 132 kV,

sostenute da un sostegno poligonale a doppia terna tipo TAD90 (Fig. 8.1), con conduttori di alluminio – acciaio con sezione pari a 308 mmq.

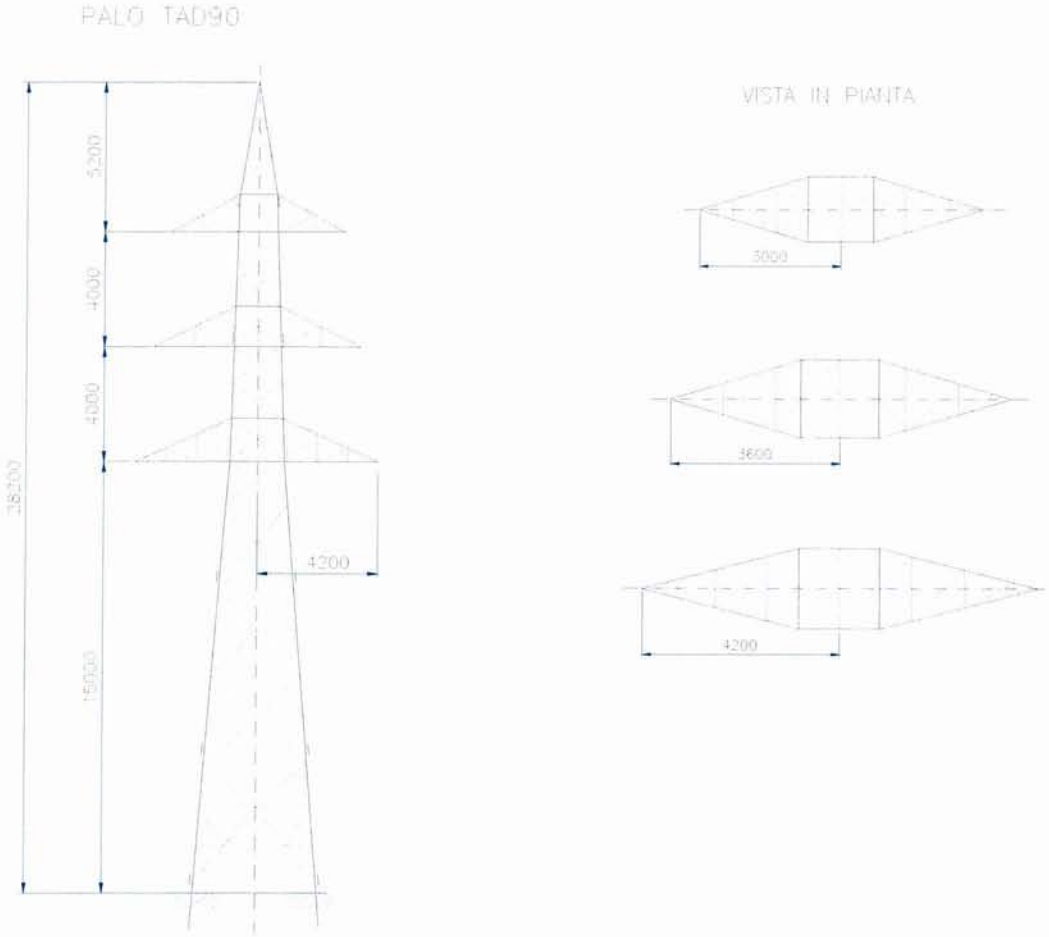


Fig. 9.1 - Sostegno TAD90 per l'apertura delle terne

Per quel che riguarda le condizioni ambientali di riferimento, la SSE e le relative linee di alimentazione vengono a trovarsi, con riferimento alla norma CEI 11-4, nella zona B.

Per la determinazione delle fasce di rispetto, il riferimento è stato l'obiettivo di qualità (3 μT) del DPCM dell'8 luglio 2003, imponendo la portata di corrente in servizio normale degli elettrodotti, come definita dalla norma CEI 11 – 60 sintetizzata nella tabella seguente.

Tensione nominale della linea (kV)	Portata in corrente del conduttore di riferimento I_0 (A)			
	Zona A		Zona B	
	Periodo C	Periodo F	Periodo C	Periodo F
380	740	985	680	770
220	665	905	610	710
132÷150	620	870	575	675

Nella tabella soprastante, tratta dalla norma CEI 11-60, è indicata la portata in corrente, in servizio normale del conduttore di riferimento di 31,5 mm di diametro, nelle due zone climatiche (A e B), nei rispettivi periodi stagionali, per i diversi livelli di tensione.

Nel caso in esame, il valore di corrente di riferimento risulta pari a 675 A. Applicando gli opportuni coefficienti riduttivi previsti dalla norma per un conduttore di 22,8 mm di diametro si è giunti a considerare la sua portata in corrente al limite termico pari a 450 A.

Per quanto riguarda la disposizione delle fasi, poiché la linea costituisce un sistema entra-esci, fasi omologhe dovranno essere alloggiate in maniera simmetrica rispetto l'asse del palo secondo quanto illustrato nella figura seguente.

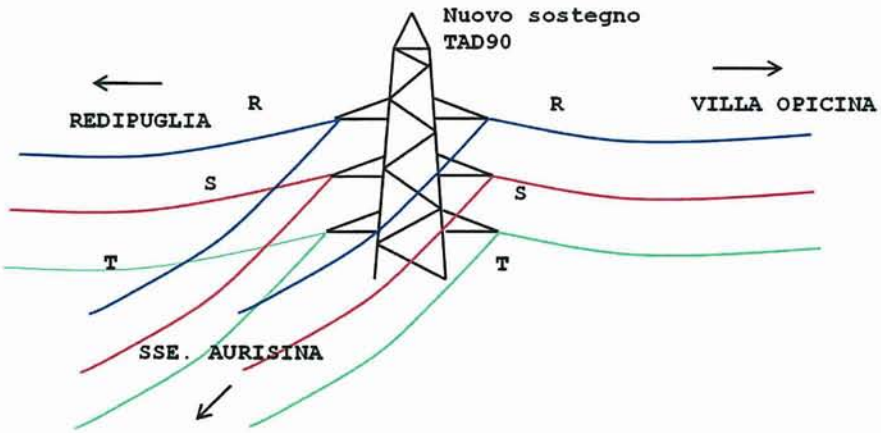


Fig. 9.2 - Configurazione delle fasi

Le verifiche sono state condotte con l'ausilio di un programma di calcolo dei campi magnetici che implementa fedelmente la procedura indicata dalla norma CEI 211-4. Adottando una rappresentazione bidimensionale del problema è stato quindi possibile riprodurre lo scenario magnetico.

I risultati delle simulazioni sono presentati nelle figure 9.3 e 9.4 seguenti.

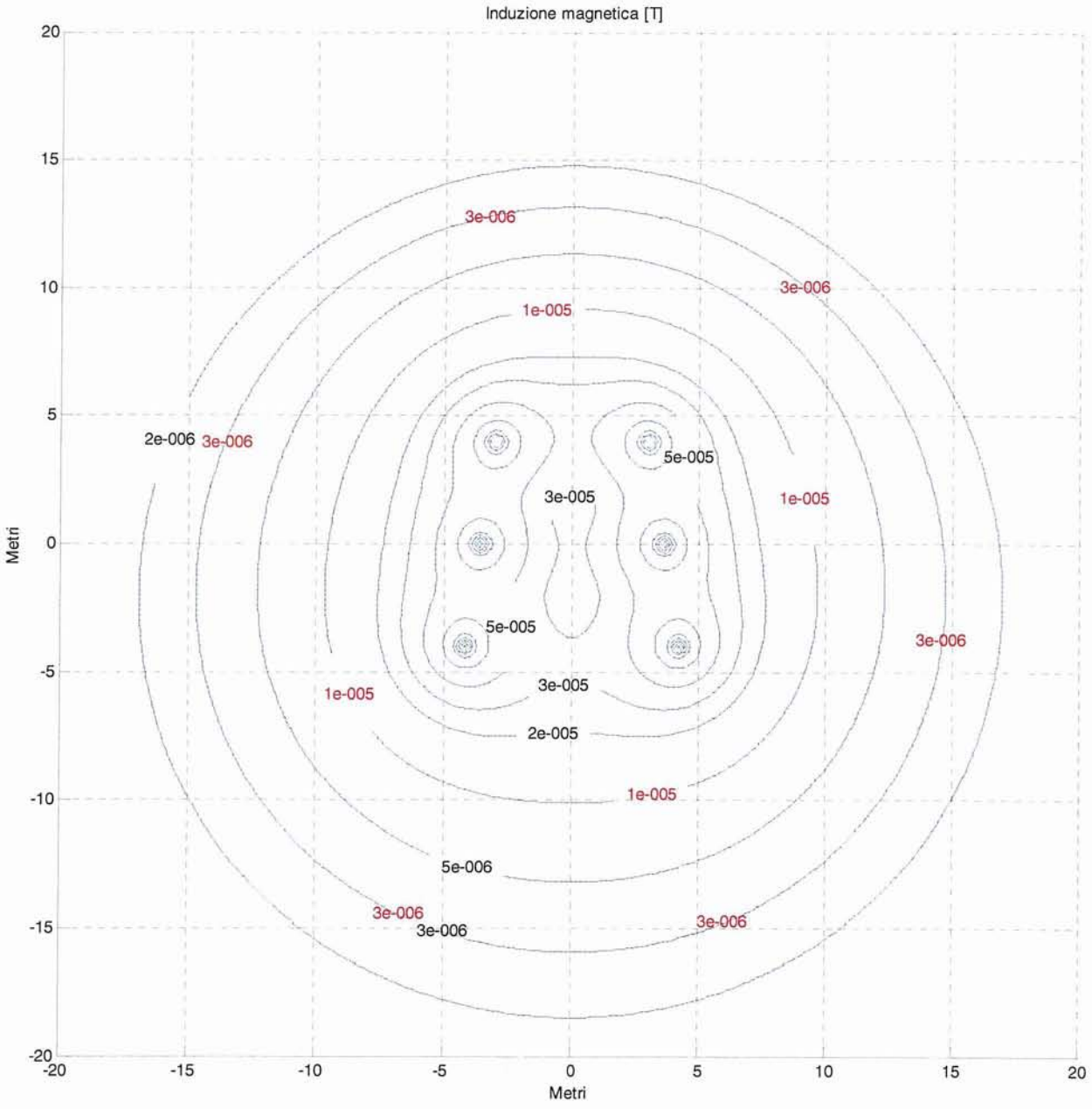


Fig. 9.3 - Isolinee di induzione magnetica B [T]. Elettrodotto a doppia terna, sostegno TAD90. Corrente al limite termico pari a 450 A

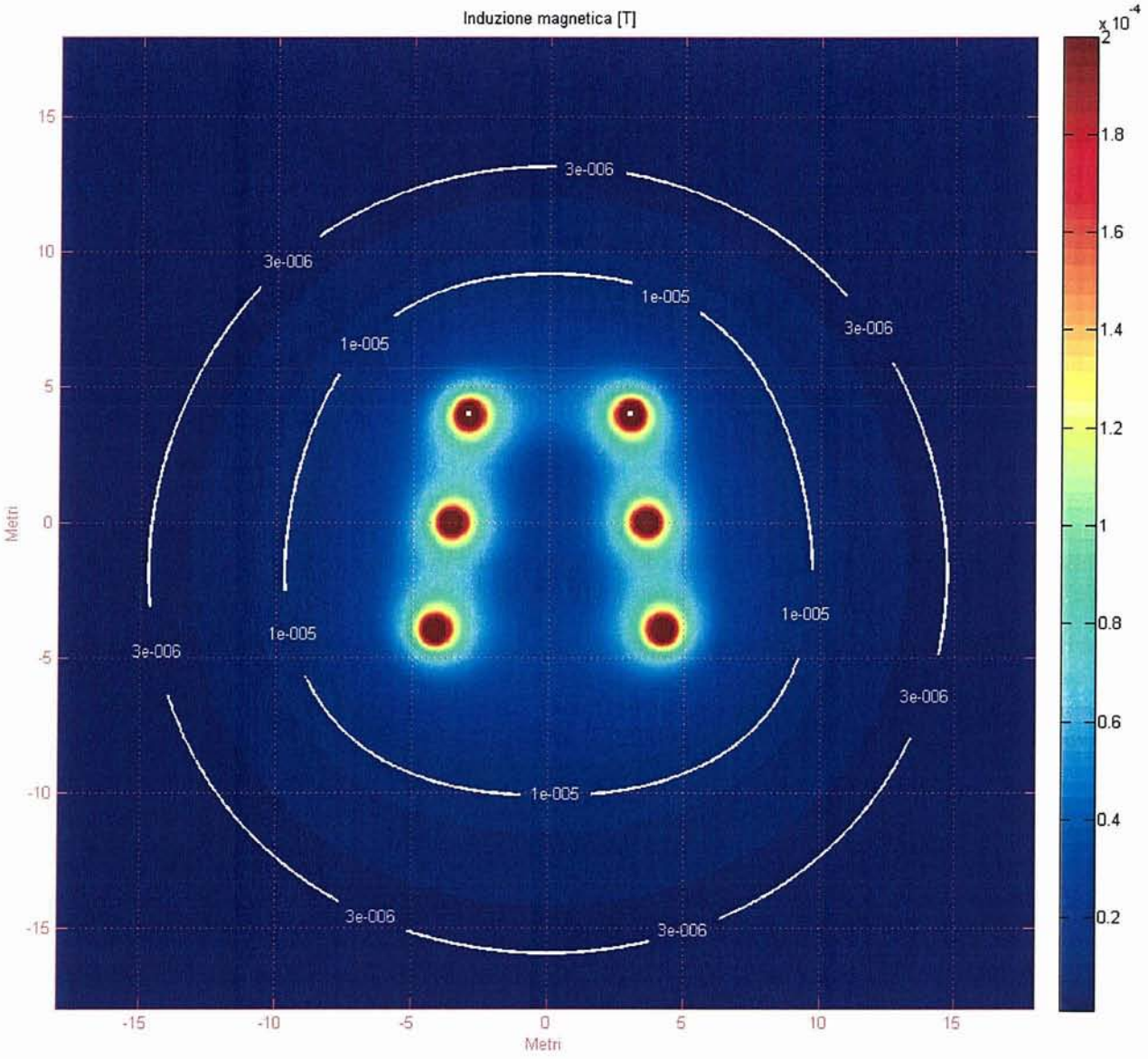


Fig. 9.4 - Mappa del campo di induzione magnetica [T]. Elettrodotto a doppia terna, sostegno TAD90. Corrente al limite termico pari a 450 A

Dall'analisi delle figure 9.3 e 9.4, si riscontra un'estensionde della fascia di rispetto di 15 m, calcolata a partire dall'asse di simmetria dell'elettrodotto. Questo valore non risulta essere un problema in quanto lungo l'intero sviluppo della nuova linea, non sono presenti ricettori o luoghi tutelati intercettati dalla completa fascia di rispetto di diametro pari a 30 m. Gli unici ricettori presenti nell'area sono collocati a nord dell'elettrodotto RFI esistente.

9.3.5 Elettrodotto in cavo interrato di alimentazione della SSE di Ronchi dei Legionari

Per la linea realizzata in cavo interrato la presenza dello schermo metallico, connesso a terra ambo le estremità e in configurazione "cross-bonding", confina il campo elettrico all'interno delle singole anime. Tale considerazione giustifica lo studio del solo campo magnetico.

Per la SSE di Ronchi l'analisi del campo magnetico viene effettuata considerando in esercizio alla portata al limite termico soltanto una terna, in quanto, come esposto nel Quadro di Riferimento Progettuale, una risulta essere di riserva.

La tipologia di cavo simulato è ad isolamento estruso in polietilene reticolato rispondente alla specifica tecnica RFI/DTC.EE.TE 159. Tale specifica identifica i cavi in base alla sezione nominale, alla tensione di esercizio e al campo di impiego. Sulla base del tipo di alimentazione che è stata prevista per la SSE di Ronchi è stata scelta la sezione di 400 mmq, idonea all'alimentazione diretta di una SSE.

La posa è quella che vede i cavi disposti a trifoglio, in quanto a parità di profondità di posa, consente di avere in superficie valori di induzione minori rispetto a quelli che si otterrebbero con la disposizione in piano dei conduttori, quindi la portata al limite termico del cavidotto risulta pari a 505 A.

La profondità di posa è stata determinata con l'obbiettivo di contenere l'intera fascia di rispetto al di sotto del terreno, onde scongiurare l'intercettazione di qualsiasi luogo tutelato.

Le figure seguenti 9.5, 9.6 e 9.7 illustrano i risultati delle simulazioni.

Per contenere il livello di campo di 3 μT al di sotto del piano del terreno, la necessaria profondità di posa è stata di 2.15 m, come si può osservare dalla Fig. 9.5, dove è evidenziata le linea di flusso corrispondente all'obbiettivo di qualità. Nella Fig. 9.7 è invece riportato il profilo del campo di indizione magnetica sulla superficie del terreno, in funzione della distanza dall'asse della linea che dimostra di nuovo un valore di campo inferiore a 3 μT.

Va evidenziato che in sede reale lo scenario magnetico che si presenterà sarà comunque ancor meno impattante rispetto a quello mostrato dalle simulazioni, visto che nel reale esercizio e in condizioni di funzionamento non critiche degli impianti, le correnti nelle linee staranno ben al di sotto del valore limite di portata; questo conferma il carattere cautelativo delle scelte progettuali.

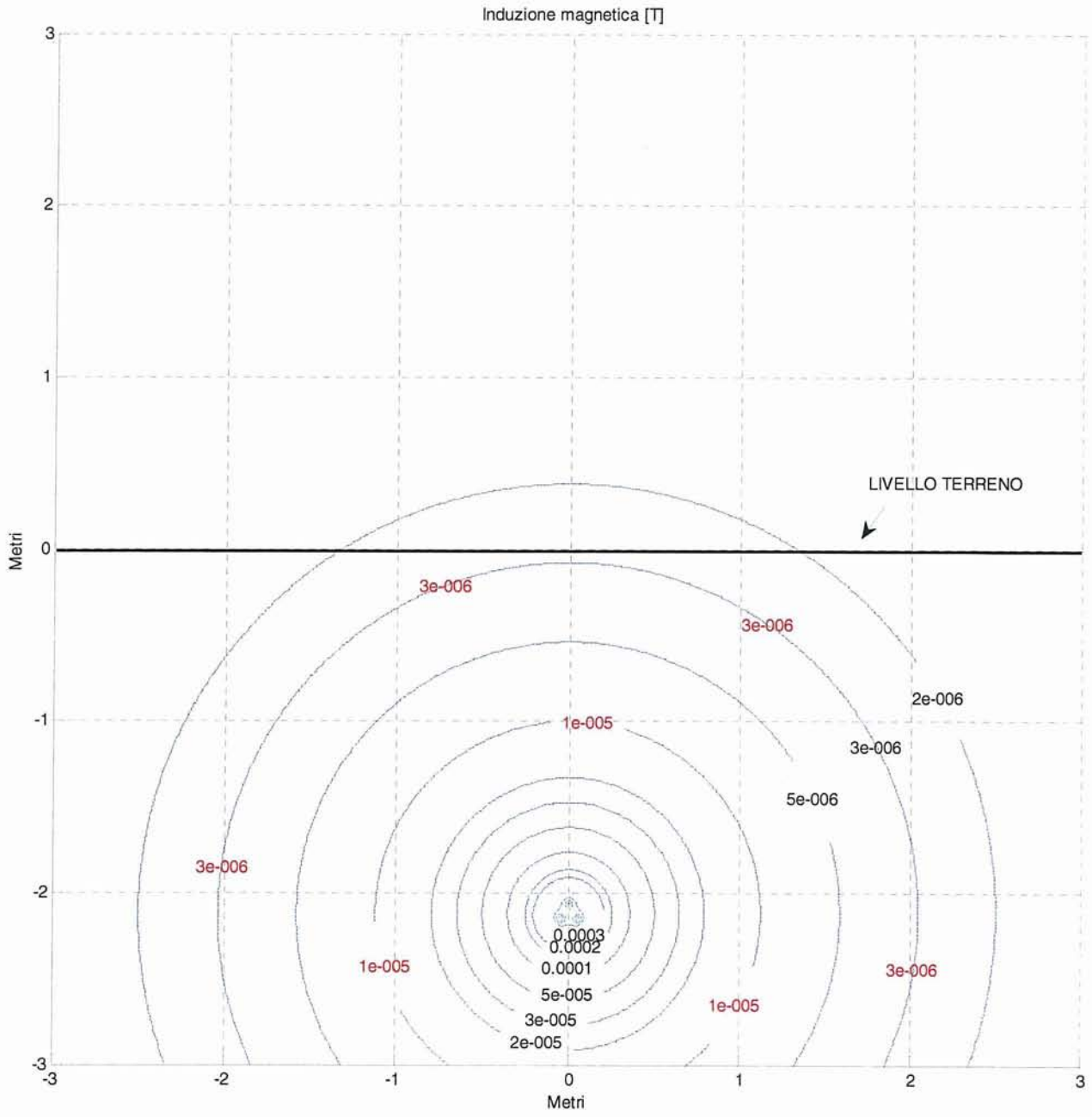


Fig. 9.5 - Isolinee di induzione magnetica B [T]. Singola terna in cavo interrato. Corrente al limite termico pari a 505 A

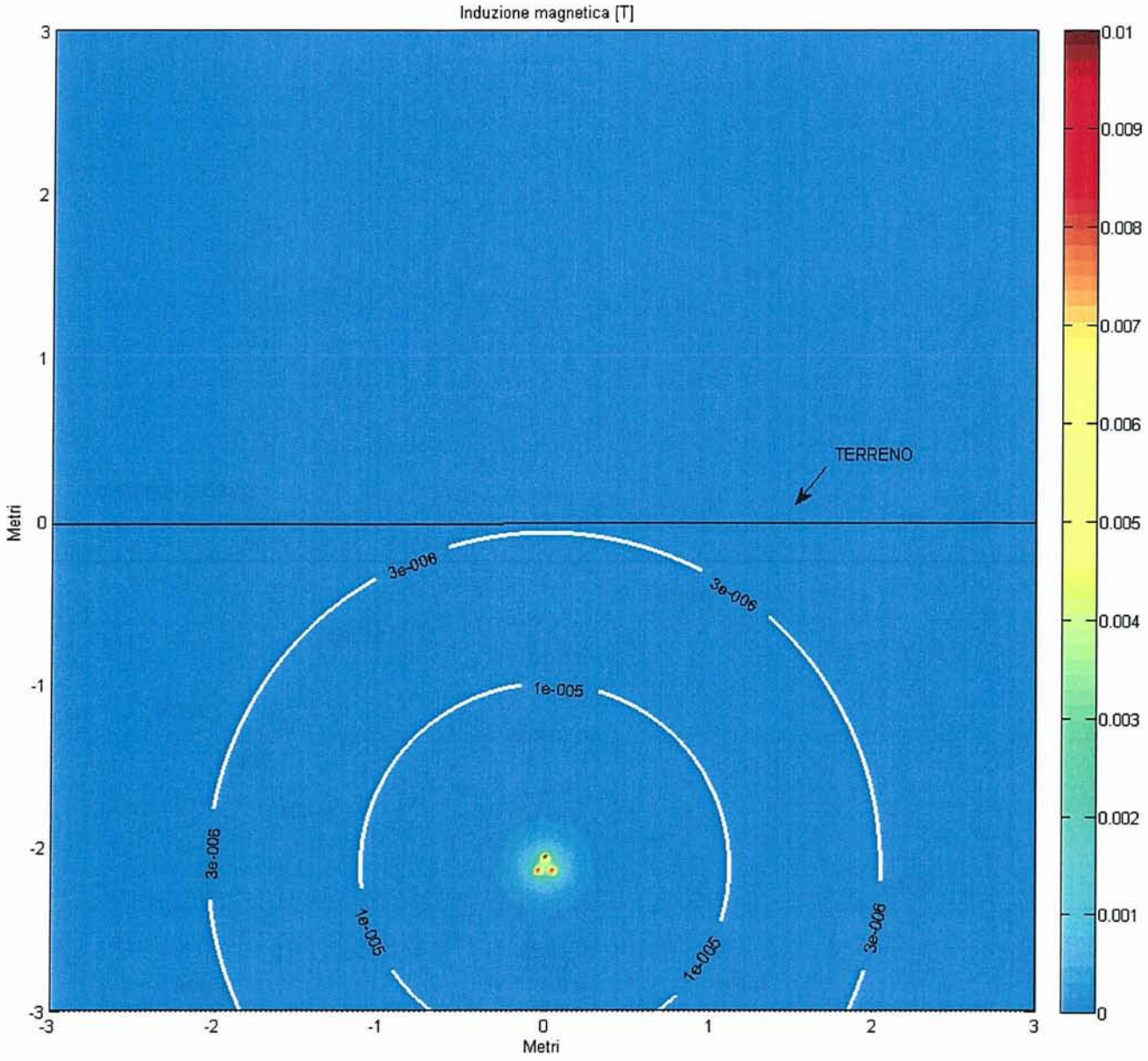


Fig. 9.6 - Mappa del campo di induzione magnetica [T]. Singola terna in cavo interrato. Corrente al limite termico pari a 505 A

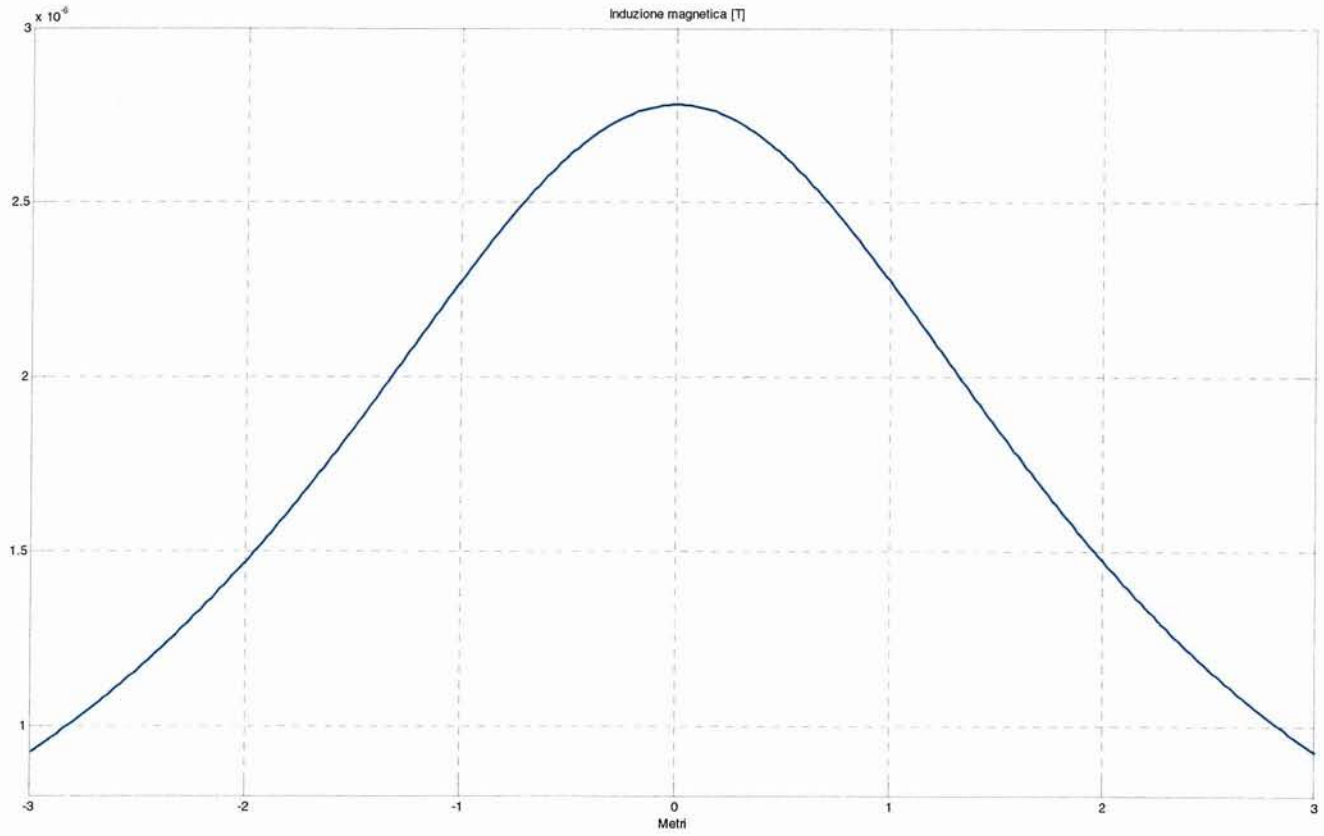


Fig. 9.7 - Profilo dell'induzione magnetica sulla superficie del terreno. Singola terna in cavo interrato. Corrente al limite termico pari a 505 A

9.4 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte sono costituite dagli enti pubblici preposti alla tutela dell'ambiente e della salute umana, oltre che dai cittadini residenti nelle aree interessate dagli interventi in progetto.

Data la collocazione dell'unico elettrodotto aereo, in area lontana da centri abitati, e dati i risultati delle analisi, si ritiene che non vi sarà interesse da parte degli stakeholder.

PARTE C - RICADUTE DELLA FASE DI CANTIERE SULLE COMPONENTI AMBIENTALI SIGNIFICATIVE

Nel presente capitolo vengono presentate, per ciascuna Componente Ambientale, le analisi relative ai potenziali impatti della fase di costruzione dell'opera e le relative valutazioni di significatività.

Le analisi sono condotte mediante lo stesso approccio presentato nella Parte B del presente elaborato con riferimento alla fase di esercizio dell'opera, ed in relazione ad un corridoio di studio a cavallo del tracciato di progetto di ampiezza variabile in funzione della componente ambientale esaminata.

10 AMBIENTE IDRICO

10.1 Riferimenti legislativi

Per i riferimenti legislativi relativi alla componente ambientale in esame si rimanda a quanto illustrato nel capitolo 2.

10.2 Descrizione dello stato attuale della componente

Per la descrizione dello stato attuale della componente in esame si rimanda a quanto illustrato nel capitolo 2.

10.3 Valutazione delle interferenze e degli interventi di mitigazione

10.3.1 Impatto sull'ambiente idrico superficiale

I lavori di costruzione avranno un'interferenza diretta con 3 corsi d'acqua, tutti collocati nella porzione di pianura, cpstituiti da 3 canali irrigui di competenza del consorzio di bonifica Pianura Isontina: il Canale secondario Primo (km 2+457) , il canale secondario San Pietro (Km 4+011) e il Canale dei Dottori (km 7+505).

Per tutti e tre i canali è prevista la deviazione ed il rifacimento dell'attraversamento della sede ferroviaria, di lunghezza adeguata per l'inserimento delle nuove opere.

Nella parte carsica del tracciato l'unico corso d'acqua intersecante la linea è costituito dal canale Moschenizza (km 11+000 circa). Quest'ultimo, a differenza dei precedenti, verrà superato mediante viadotto senza alterarne il naturale deflusso idraulico.

Nell'ambito dei lavori da svolgere sui corsi d'acqua o nelle loro vicinanze, potenziali impatti sulla qualità delle acque possono essere generati da operazioni di versamento accidentale in fase di cantiere ed in particolare dalle attività di manipolazione di elementi fluidi. Inoltre fonti potenziali di particolato solido in sospensione sono legate ai lavori di sterro e scavo, al lavaggio delle superfici di cantiere e degli automezzi ed al dilavamento ad opera delle acque di pioggia e delle acque utilizzate per l'abbattimento delle polveri.

I possibili impatti sulla qualità delle acque sono in generale reversibili: essi non determinano infatti una perdita della risorsa od una sua modifica sostanziale a lungo termine.

10.3.2 Impatto sull'ambiente idrico sotterraneo

La vulnerabilità dell'ambiente idrico sotterraneo lungo il tracciato di progetto si manifesta sia nella porzione dello stesso tracciato collocata nella Piana dell'Isonzo, dove la soggiacenza della falda rispetto al piano campagna risulta molto ridotta, sia in tutto l'ambito carsico. Mentre nell'area di pianura si manifesteranno delle interazioni dirette con l'ambiente idrico sotterraneo nell'ambito dei lavori di costruzione di fondazioni profonde (pali di fondazione) o di consolidamento dei terreni, nell'area carsica l'interazione con l'ambiente idrico sotterraneo non è certa ma possibile.

Le indagini e gli studi illustrati nel capitolo 2 hanno mostrato come l'ambito carsico attraversato sia caratterizzato da una quota piezometrica molto profonda rispetto alla quota di tracciato, che non dovrebbe dare quindi luogo ad interferenze dirette; ciò non significa d'altra parte che non possano manifestarsi interferenze su corpi idrici sotterranei di minore entità o su falde sospese. Nell'ambiente carsico, date le caratteristiche modalità della circolazione idrica, la fase di costruzione si presenta come la fase più delicata, in quanto la dispersione di sostanze potenzialmente inquinanti in un punto è in grado di raggiungere in tempi molto brevi dei ricettori anche distanti.

La criticità dell'ambiente carsico consiste inoltre nell'impossibilità di prevedere in anticipo la possibilità di intercettare corpi idrici sotterranei, per cui si possono manifestare venute d'acqua improvvise anche di entità importante.

Va evidenziato che le interferenze sull'ambiente idrico sotterraneo generati dalle attività di costruzione non costituiscono impatti certi, bensì impatti potenziali, che potrebbero manifestarsi in caso di eventi accidentali e che quindi possono e debbono essere prevenuti mediante l'applicazione di specifiche procedure operative.

I principali problemi connessi alla costruzione dell'opera nelle aree di costruzione possono pertanto derivare derivare da sversamenti accidentali di fluidi ed attività di scavo delle gallerie naturali, sia quelle in tradizionale che quelle in meccanizzato (consumo di acqua, possibilità di intercettare corpi idrici sotterranei).

Per quanto riguarda lo scavo meccanizzato, essendo il fronte l'unica zona di contatto tra le apparecchiature di scavo e il terreno naturale, le possibilità di inquinamento sull'ambiente idrico sotterraneo sono ridotte al minimo. Inoltre la tecnologia scelta prevede la posa in opera immediata del rivestimento definitivo in conci prefabbricati, e consente di conseguenza di limitare il drenaggio esercitato sulla falda. D'altra parte lo scavo meccanizzato prevede l'impiego di additivi fluidificanti, costituiti da schiume biodegradabili aventi principalmente funzione lubrificante per diminuire le frizioni fra le particelle del terreno e facilitarne lo scorrimento. Le caratteristiche dell'additivo da applicare variano in funzione delle caratteristiche del terreno, ma in generale esso si compone di un tensioattivo anionico biodegradabile addizionato ad un agente stabilizzante, che vengono miscelati con acqua. L'emulsione viene quindi insufflata con aria compressa. La biodegradabilità ed il trattamento, che interessa direttamente i volumi di terreno in fase di scavo all'interno della fresa, non fanno attendere dispersioni nell'ambiente esterno.

Lo scavo in tradizionale non richiede l'impiego di sostanze additive particolari, per cui le uniche interazioni con l'ambiente idrico potrebbero essere generate in caso di assorbimento delle miscele cementizie di iniezione in cavità carsiche.

Oltre alle aree di lavoro lungo linea, tra i potenziali elementi di criticità vanno indicati anche i cantieri, dove si svolgono lavorazioni che potrebbero, in caso di eventi accidentali, determinare ricadute sul suolo e da questo sull'ambiente idrico sotterraneo.

Per quanto riguarda il contesto geologico della Piana dell'Isonzo, le aree di cantiere collocate in zone con presenza di una falda a poca profondità (< 5 m) dal piano campagna, e quindi potenzialmente vulnerabile, sono le seguenti:

- l'area di stoccaggio AS01-F2;
- l'area di stoccaggio AS02-F2;
- l'area di stoccaggio AS03-F1;
- l'area di stoccaggio AS04-F2;
- l'area tecnica AT01-F2;
- l'area tecnica AT02-F2;
- il cantiere di armamento CA01-F2;
- il cantiere di armamento CA02-F2;
- il campo base CB01-F2;
- il campo base CB02-F1 - F2;
- il cantiere operativo CO01-F2;

- il cantiere operativo CO02-F1-F2.

Alcune aree di cantiere, in ambiente carsico, si collocano in prossimità di cavità carsiche censite come "cavità con acqua" e, quindi, direttamente legate con la circolazione idrica sotterranea. Si tratta, in particolare, delle seguenti:

- area tecnica AT03-F2;
- cantiere di armamento CA03-F1-F2;
- cantiere di imbocco galleria CG05-F2.

I possibili impatti sulla qualità delle acque sono in generale reversibili: essi non determinano infatti una perdita della risorsa od una sua modifica sostanziale a lungo termine.

Gli impatti sul percorso delle acque sotterranee, di maggiore magnitudo, non risultano però prevedibili a priori in ambito carsico.

10.3.3 Interventi di mitigazione

Come evidenziato nel paragrafo precedente, gli impatti sull'ambiente idrico non costituiscono impatti "certi" e di dimensione valutabile in maniera precisa a priori, ma piuttosto impatti potenziali.

Una riduzione del rischio di impatti significativi sull'ambiente idrico in fase di costruzione dell'opera può essere ottenuta applicando adeguate procedure operative nelle attività di cantiere. Una serie di procedure operative che verranno seguite a questo scopo vengono illustrate nel Quadro Progettuale cap. 6.1.2.1 .

10.4 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne interessate sono costituite dagli enti pubblici preposti alla gestione delle risorse idriche, compresi in particolare gli Ambiti Territoriali Ottimali (A.T.O.) territorialmente competenti, la Provincia, la Regione Friuli Venezia Giulia, il Magistrato delle Acque, i Consorzi di Bonifica.

Data la collocazione di una buona parte del tracciato in ambito carsico, sottoposto a vincolo idrogeologico, la partecipazione degli stakeholder nell'analisi delle scelte di tracciato e delle scelte progettuali risulterà senz'altro significativa.

Analogamente si prevede l'interessamento da parte di associazioni ambientaliste e del pubblico generico.

11 ATMOSFERA

11.1 Riferimenti legislativi

- Direttiva Consiglio Ue n. 96/62/Ce – "Qualità dell'aria";
- D.M. Trasporti 20 dicembre 1999 – "Attuazione della direttiva 97/68/Ce sulle emissioni dei motori";
- Direttiva Consiglio Ue 1999/30/Ce – "Valori limite qualità dell'aria ambiente per biossido di zolfo, biossido di azoto, ossidi di azoto, piombo" (Testo vigente fino al 11 giugno 2010, abrogato da Direttiva Parlamento europeo e Consiglio Ue 2008/50/Ce – "Qualità dell'aria ambiente e per un aria più pulita in Europa");
- Direttiva Parlamento europeo e Consiglio Ue n. 2000/69/Ce - "Valori limite per il benzene ed il monossido di carbonio nell'aria ambiente";
- Direttiva Parlamento europeo e Consiglio Ue 2002/3/Ce – "Ozono nell'aria";
- Decisione Commissione Ce n. 2004/279/Ce – "Orientamenti per l'attuazione della direttiva 2002/3/Ce - Ozono nell'aria";
- D.Lgs. del 3 aprile 2006, n. 152: parte quinta – "Norme in materia ambientale - Stralcio - Norme in materia di tutela dell'aria e di riduzione delle emissioni in atmosfera";
- D.M. Ambiente del 18 dicembre 2006 – "Approvazione del Piano nazionale di assegnazione delle quote di CO2 per il periodo 2008-2012"
- Decisione Commissione Ce n. 2006/944/Ce - "Determinazione dei livelli di emissione della Comunità e degli Stati membri nell'ambito del protocollo di Kyoto ai sensi della decisione 2002/358/Ce";
- D.Lgs. del 14 febbraio 2008, n.33 – "Composti organici volatili - Modifiche del D.Lgs. 161/2006";
- Direttiva Parlamento europeo e Consiglio Ue 2008/50/Ce – "Qualità dell'aria ambiente e per un aria più pulita in Europa";
- D.M. Ambiente del 3 marzo 2009 – "Incentivi per l'installazione di dispositivi per l'abbattimento delle emissioni di particolato";
- Direttiva Parlamento Europeo del 23 aprile 2009, n. 2009/30/Ce – "Specifiche sui combustibili e riduzione emissioni gas serra - Modifica direttive 1998/70/Ce, 1999/32/Ce e 93/12/Ce";
- Direttiva del 31 marzo 2010, n. 2010/26/Ue – "Emissione di inquinanti gassosi e particolato inquinante";
- D.Lgs. del 13 agosto 2010, n.155 – "Qualità dell'aria ambiente – Attuazione direttiva 2008/50/Ce";
- D.Lsg. del 29 giugno 2010, n.128

11.1.1 Sintesi dei valori limite per i diversi inquinanti

Sono riportati di seguito i valori limite definiti dalla normativa vigente.

Parametro	Riferimento normativo	Denominazione	Tipologia di valutazione dei dati	Valore
CO	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	valore limite protezione salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 h	10 mg/m^3
O_3	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	protezione salute umana	Media massima giornaliera calcolata su 8 h	120 µg/m^3 da non superare più di 25 volte per anno civile come media su 3 anni
		protezione vegetazione	AOT40 (mag-lug) su 5 anni	18.000 µg/m^3
		soglia d'informazione	Periodo di mediazione: 1h	180 µg/m^3
		soglia di allarme	Periodo di mediazione: 1h	240 µg/m^3
NO_2	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	Valore limite	Periodo di mediazione: 1h	200 µg/m^3 da non superare più di 18 volte per anno civile
		Valore limite	Periodo di mediazione: anno civile	40 µg/m^3
		Soglia di allarme	Misura su tre ore consecutive	400 µg/m^3
NO_x	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	valore limite protezione vegetazione	Concentrazione media annuale	30 µg/m^3
PM_{10}	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	Valore limite	Periodo di mediazione: 1h	50 µg/m^3 da non superare più di 35 volte per anno civile
		Valore limite	Periodo di mediazione: anno civile	40 µg/m^3

Parametro	Riferimento normativo	Denominazione	Tipologia di valutazione dei dati	Valore
$PM_{2,5}$	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	Valore limite	Periodo di mediazione: anno civile	25 $\mu g/m^3$ (20% l' 11/06/2008 con riduzione il 1° gennaio successivo e successivamente ogni 12 mesi secondo una percentuale annua costante fino a raggiungere lo 0% entro il 01/01/2015)
SO_2	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	Valore limite	Periodo di mediazione: 1h	350 $\mu g/m^3$ da non superare più di 24 volte per anno civile
		Valore limite	Periodo di mediazione: 1 giorno	125 $\mu g/m^3$ da non superare più di 3 volte per anno civile
		Soglia di allarme	Misura su tre ore consecutive	500 $\mu g/m^3$
		valore limite protezione vegetazione	Concentrazione media annuale	20 $\mu g/m^3$
C_6H_6	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	Valore limite	Periodo di mediazione: anno civile	5 $\mu g/m^3$
BaP	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	valore obiettivo	Tenore totale presente nella frazione PM10 del materiale particolato, calcolato come media su un anno civile	1 ng/m^3
Piombo	D.Lgs. n.155 del 13/08/2010	Valore limite	Periodo di mediazione: anno civile	0.5 $\mu g/m^3$

Tab. 11.1 - Valori limite delle sostanze inquinanti

11.2 Descrizione dello stato attuale

Stante la natura dell'opera in progetto, i potenziali impatti sono limitati alla fase di costruzione (gli impatti di una linea ferroviaria in esercizio sulla qualità dell'aria possono infatti essere considerati trascurabili). Saranno quindi di seguito analizzate le lavorazioni previste all'interno dei cantieri e lungo la linea, sul fronte di avanzamento dei lavori.

Lo studio si articola nelle seguenti fasi:

- analisi delle caratteristiche meteoclimatiche e della qualità dell'aria ante-operam;
- analisi delle attività costruttive e determinazione delle relative emissioni;
- stima delle dimensioni degli ambiti di criticità;
- individuazione delle misure ed opere di mitigazione.

11.2.1 Descrizione degli inquinanti atmosferici

Gli inquinanti atmosferici possono essere classificati in base alla loro composizione chimica; è possibile distinguere fra inquinanti organici (contenenti carbonio) e inorganici. I principali inquinanti generati dai mezzi di trasporto del tipo impiegato nei cantieri in esame sono: il monossido di carbonio (CO), gli idrocarburi (HC) non metanici (NMHC) e policiclici aromatici (IPA), i composti organici nella forma di particolato (PTS), gli ossidi di azoto (NO_X), l'ozono (O_3), gli ossidi di Zolfo (SO_X), il piombo (Pb) e i suoi composti.

Le lavorazioni interne all'area di cantiere sono invece, in generale, sorgente principalmente di particolato.

Monossido di carbonio

Il monossido di carbonio (CO) è un gas incolore e inodore dannoso per l'uomo e per le altre specie animali. Questo gas, una volta immesso nell'organismo attraverso le vie respiratorie, si combina con l'emoglobina del sangue riducendone la capacità di trasporto dell'ossigeno.

La principale causa della presenza di monossido di carbonio nell'atmosfera è di tipo antropico e consiste nella combustione di sostanze organiche, come, per esempio, i derivati del petrolio che normalmente alimentano i motori dei mezzi di trasporto. Sono proprio i mezzi di trasporto stradale a essere attualmente la principale fonte di inquinamento locale dell'aria da monossido di carbonio.

La presenza di monossido di carbonio nell'aria in corrispondenza di una strada è infatti notevolmente correlata al flusso di traffico relativo. Nella figura seguente si evidenzia come l'andamento delle concentrazioni di CO misurato nei pressi della sezione di una strada durante l'arco giornaliero è generalmente molto simile a quello dei flussi veicolari che la percorrono.

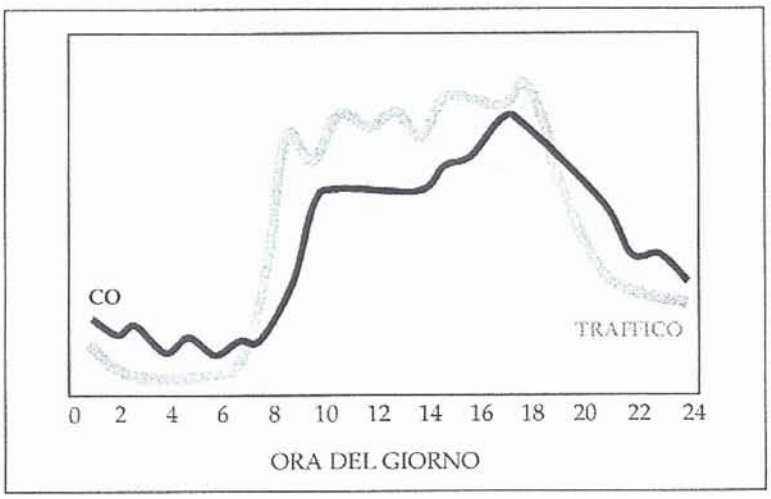


Fig. 11.1 - Andamento della concentrazione di CO paragonata all'andamento del traffico giornaliero

Oltre a questo, il CO presenta una forte variabilità spaziale: in una strada isolata la sua concentrazione mostra di solito valori massimi nell'intorno dell'asse stradale e decresce molto rapidamente allontanandosi da esso, fino a diventare trascurabile a una distanza di alcune decine di metri, come illustrato nella figura seguente.

La presenza di monossido di carbonio nelle aree inquinate mostra anche una pronunciata variabilità in funzione delle condizioni atmosferiche ed è in particolare notevolmente influenzata dalla presenza del vento che tende a ridurne l'entità. A ragioni meteorologiche è riconducibile la variabilità stagionale del CO, caratterizzato da massimi nei periodi invernali e minimi nei periodi estivi.

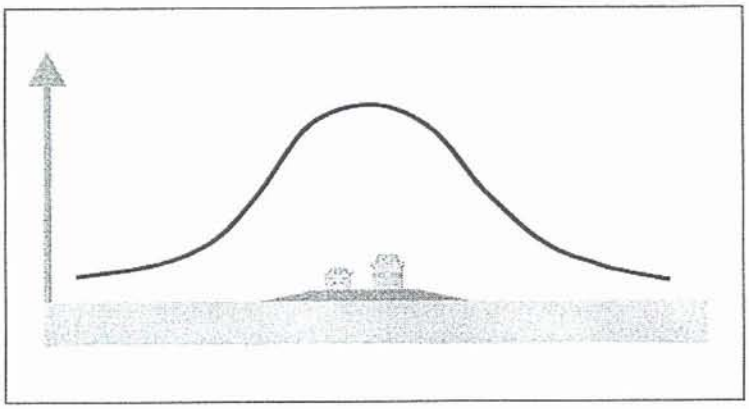


Fig. 11.2 - Andamento qualitativo della concentrazione di CO in una sezione stradale

Idrocarburi

Con il nome idrocarburi si indicano i composti organici costituiti da atomi di carbonio e idrogeno. Due sono i principali problemi derivanti dalla presenza di idrocarburi nell'atmosfera.

Il primo è connesso alla partecipazione ai processi dello smog fotochimico, ai quali prendono però parte solo gli idrocarburi reattivi (RHC). A causa della difficoltà nell'individuazione delle sostanze che compongono gli idrocarburi reattivi, spesso si considerano tali tutte le sostanze idrocarburiche eccetto il metano e si indica tale

insieme con il nome di idrocarburi non metanici (NMHC). Il metano infatti, è uno degli idrocarburi più diffusi in natura e non partecipa alle reazioni di formazione dello smog fotochimico.

Il secondo problema è legato alle proprietà degli idrocarburi stessi, che possono essere causa di danni sia all'uomo che alle altre forme viventi. Gli idrocarburi non aromatici non sono attualmente considerati inquinanti in senso proprio. Infatti, le concentrazioni alle quali essi diventano tossici sono talmente elevate da risultare altamente improbabili nella nostra atmosfera. Gli idrocarburi aromatici sono invece da considerarsi inquinanti primari poiché agiscono direttamente e negativamente su varie componenti dell'ecosistema: essi sono per esempio cancerogeni per l'uomo (benzene, idrocarburi policiclici aromatici-IPA). I veicoli stradali sono considerati tra le sorgenti più importanti di idrocarburi aromatici.

Particelle Totali Sospese

La dispersione in atmosfera delle Particelle Totali Sospese (PTS o PM tot) può derivare sia dal sollevamento delle polveri depositate al suolo che da emissioni di natura industriale e di processi di combustione. Esse sono costituite da frammenti o corpuscoli solidi e/o liquidi, come polvere, polline, cenere, fuliggine, metalli. Dal punto di vista chimico, sono considerati polveri gli ossidi, i solfati, i carbonati, i silicati, i solfuri, i cloruri ed altri composti di metalli e combustibili. Le polveri sono potenziali responsabili di irritazioni agli occhi ed alle vie respiratorie, trasformandosi in veicolo di trasporto per altri inquinanti ad esse adsorbiti. Una parte delle emissioni di polveri, ceneri volanti e fumi, che portano con se molte sostanze tossiche e cancerogene provengono dai processi di combustione dei motori a scoppio.

Un'altra parte, nei cantieri, deriva da attività di movimento terra e da impianti di betonaggio e di frantumazione inerti.

PM10

Il PM10 è il particolato fine delle polveri, assai pericoloso sotto il profilo sanitario. Si tratta infatti, della frazione respirabile delle polveri, che grazie al piccolo diametro (diametro aerodinamico inferiore ai 10 μm) può arrivare sino alle più profonde vie respiratorie portandosi dietro sostanze altamente inquinanti e spesso cancerogene come il Benzo(a)Pirene.

Ossidi di azoto

Gli ossidi di azoto, indicati nel loro complesso NOx, sono attualmente fra gli inquinanti ritenuti maggiormente pericolosi, sia per l'azione specifica di NO_2, sia per la loro partecipazione alla formazione dello smog fotochimico.

Il biossido d'azoto è un gas di colore marroncino e dall'odore pungente, per la maggior parte generato da processi di combustione nei quali l'elevata temperatura provoca l'ossidazione dell'azoto presente nell'aria comburente.

Le principali fonti di emissione di questo inquinante sono dunque gli scarichi degli autoveicoli e in minor quantità, gli scarichi derivanti dagli impianti termici sia civili che industriali. I maggiori fenomeni di inquinamento da ossidi di azoto si verificano d'inverno, in coincidenza con giornate fredde e stabilità atmosferica che favoriscono l'accumulo di questi inquinanti ed in particolare nelle ore in cui il traffico raggiunge i massimi livelli.

Trattandosi di un composto molto stabile le ricadute e quindi la sua presenza nell'aria ambiente possono interessare anche zone ad una certa distanza dai punti di emissione.

Ozono

L'ozono è un gas incolore che fa parte dei normali costituenti dell'aria. La sua presenza è maggiormente diffusa nelle zone più elevate dell'atmosfera, dove si forma naturalmente a causa di reazioni chimiche catalizzate dalla radiazione solare.

I problemi di inquinamento dell'aria da ozono sono legati al significativo incremento che la concentrazione di questo gas subisce in zone immediatamente prossime al suolo a causa dei fenomeni di formazione dello smog fotochimico di cui esso è un importante costituente. Le cause dell'inquinamento da ozono sono quindi quelle stesse che provocano l'emissione di idrocarburi e ossidi di azoto, ossia in buona parte i mezzi di trasporto.

La formazione di O_3 nell'atmosfera avviene attraverso un processo di reazioni chimiche molto complesso.

La genesi dell'ozono risiede nella fotolisi del biossido di azoto causata dall'energia solare:

$$NO_2 \xrightarrow{h\upsilon} NO + O \qquad (1)$$

$$O + O_2 \rightarrow O_3 \qquad (2)$$

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O2 \qquad (3)$$

La causa che determina l'accumulo di ozono nell'aria è data dalla presenza di idrocarburi, i quali forniscono all'ossido di azoto la possibilità di ossidarsi, in tempi più rapidi rispetto alla reazione sopra descritta, in NO_2 senza coinvolgere l'ozono.

L'evoluzione giornaliera in aree ad elevato traffico stradale delle concentrazioni di ozono e delle specie chimiche coinvolte nella sua formazione è mostrata nella figura seguente.

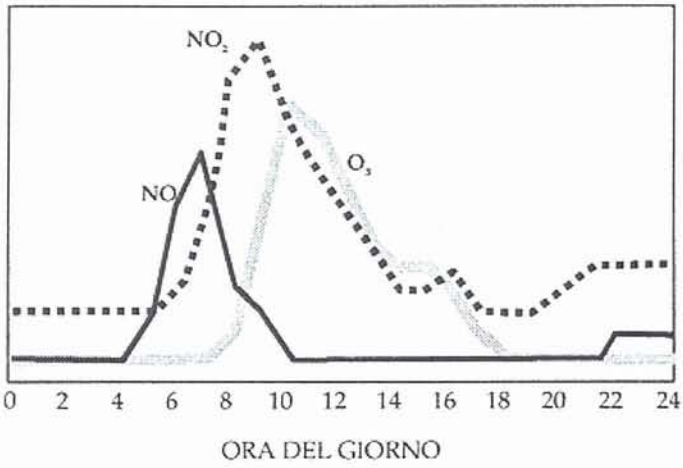


Fig. 11.3 - Evoluzione giornaliera delle concentrazioni di NO, NO_2 e O_3

Nelle prime ore della giornata si ha il massimo di concentrazione di NO prodotto dalla punta mattutina di traffico. NO viene convertito in NO_2 in un periodo di qualche ora; mentre la formazione di O_3 inizia soltanto quando il processo di formazione di NO_2 si avvicina a completamento. A questo punto la concentrazione di ozono cresce molto rapidamente nel tempo raggiungendo il suo massimo in tarda mattinata o nel primo pomeriggio e cominciando poi a diminuire.

A causa del fatto che la reazione (3) ostacola la coesistenza di grandi concentrazioni di NO e O_3, le concentrazioni di ozono tendono ad essere basse in presenza di sorgenti di emissione di monossido di azoto. Questa è la ragione per cui l'entità di ozono è solitamente bassa nei pressi di forti flussi di traffico anche se può essere notevole nelle immediate vicinanze.

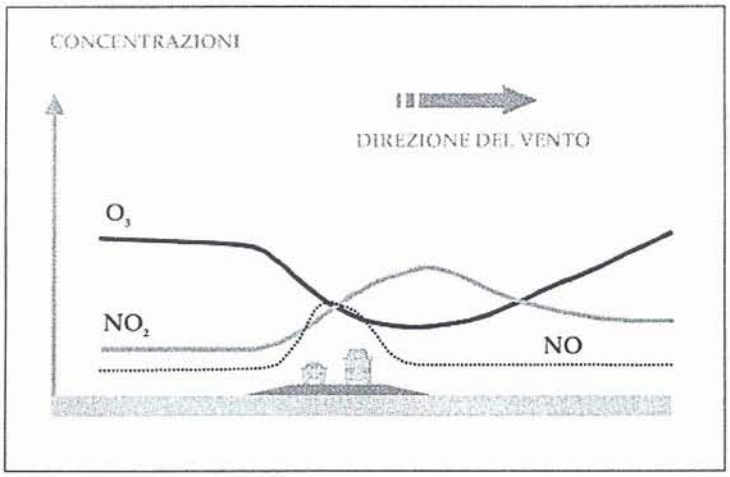


Fig. 11.4 - Andamento qualitativo delle concentrazioni di NO, NO_2 e O_3 in una sezione stradale

Ossidi di zolfo

Queste sostanze provengono quasi esclusivamente dalla combustione dei prodotti petroliferi e del carbone negli impianti termici, sia civili che industriali; in minor misura il biossido di zolfo è prodotto anche dagli scarichi dei veicoli con motori diesel. Le più alte concentrazioni di biossido di zolfo nell'aria delle aree urbane si riscontrano nel periodo invernale.

Composti del piombo

Il piombo è un metallo pesante dagli effetti tossici per l'uomo. La principale causa della presenza di composti del piombo nell'atmosfera è di tipo antropico e deriva dalla combustione, nei mezzi di trasporto, di benzine contenenti alcuni composti del piombo con funzioni antidetonanti.

11.2.2 Caratterizzazione della qualità dell'aria nell'area interessata dal progetto

Il monitoraggio della qualità dell'aria costituisce lo strumento essenziale per garantire la tutela della salute della popolazione e la protezione degli ecosistemi. La legislazione italiana, costruita sulla base della cosiddetta direttiva europea madre, attribuisce alle Regioni la competenza in questo campo e prevede la suddivisione del territorio in zone ed agglomerati sui quali valutare il rispetto dei valori obiettivo e dei valori limite.

La regione Friuli Venezia Giulia ha effettuato la valutazione della qualità dell'aria su scala locale basandosi in primo luogo sui risultati del monitoraggio della qualità dell'aria rilevati dalla rete di monitoraggio dell'ARPA ed integrando questi ultimi attraverso elaborazioni statistiche e modellistiche che portano ad una stima delle concentrazioni di inquinanti dell'aria su tutto il territorio della regione. In tal modo, è stata individuata una zonizzazione preliminare e sono state individuate le seguenti Zone di Piano, tutte caratterizzate dalla possibilità di superamento dei limiti previsti per gli inquinanti NO_2 e PM_{10}:

- area triestina (Trieste);
- area udinese (Udine);
- area pordenonese (il conurbamento Pordenone - Porcia - Cordenons);
- area goriziana (Gorizia);
- area monfalconese (Monfalcone)

Le aree di interesse per il progetto in esame sono quella triestina (Trieste) e quella monfalconese (Monfalcone).

Valutazione della qualità dell'aria

Per caratterizzare lo stato di qualità dell'aria del territorio interessato dal progetto sono stati analizzati i dati delle stazioni fisse di Trieste Piazza della Libertà e di Monfalcone, appartenenti alla rete monitoraggio di ARPA FVG.

La localizzazione delle stazioni di monitoraggio considerate è riportata nelle due figure seguenti.



Fig. 11.5 - Ubicazione della stazione di monitoraggio fissa a Trieste



Fig. 11.6 - Ubicazione della stazione di monitoraggio fissa a Monfalcone

I dati di concentrazione sono stati reperiti dal portale ARPA FVG che consente di accedere alle informazioni della qualità dell'aria (www.arpa.fvg.it e www.arpaweb.fvg.it/qariagis). La tabella sottostante riporta gli inquinanti monitorati in ciascuna stazione.

	CO	PM_{10}	NO	NO_2	O_3	SO_2	Benzene
Trieste (P.zza Libertà)	*	*	*	*	*	*	*
Monfalcone	*	*	*	*	*	*	*

Tab. 11.2 – Inquinanti monitorati nelle stazioni fisse

Di seguito sono illustrati per i due comuni i risultati delle analisi degli inquinanti più significativi per la salute umana e per l'ambiente.

Monossido di carbonio

Le figure seguenti mostrano l'andamento mensile delle concentrazioni medie di CO rilevate nelle stazioni fisse di Trieste e di Monfalcone dal settembre 2009 al settembre 2010.

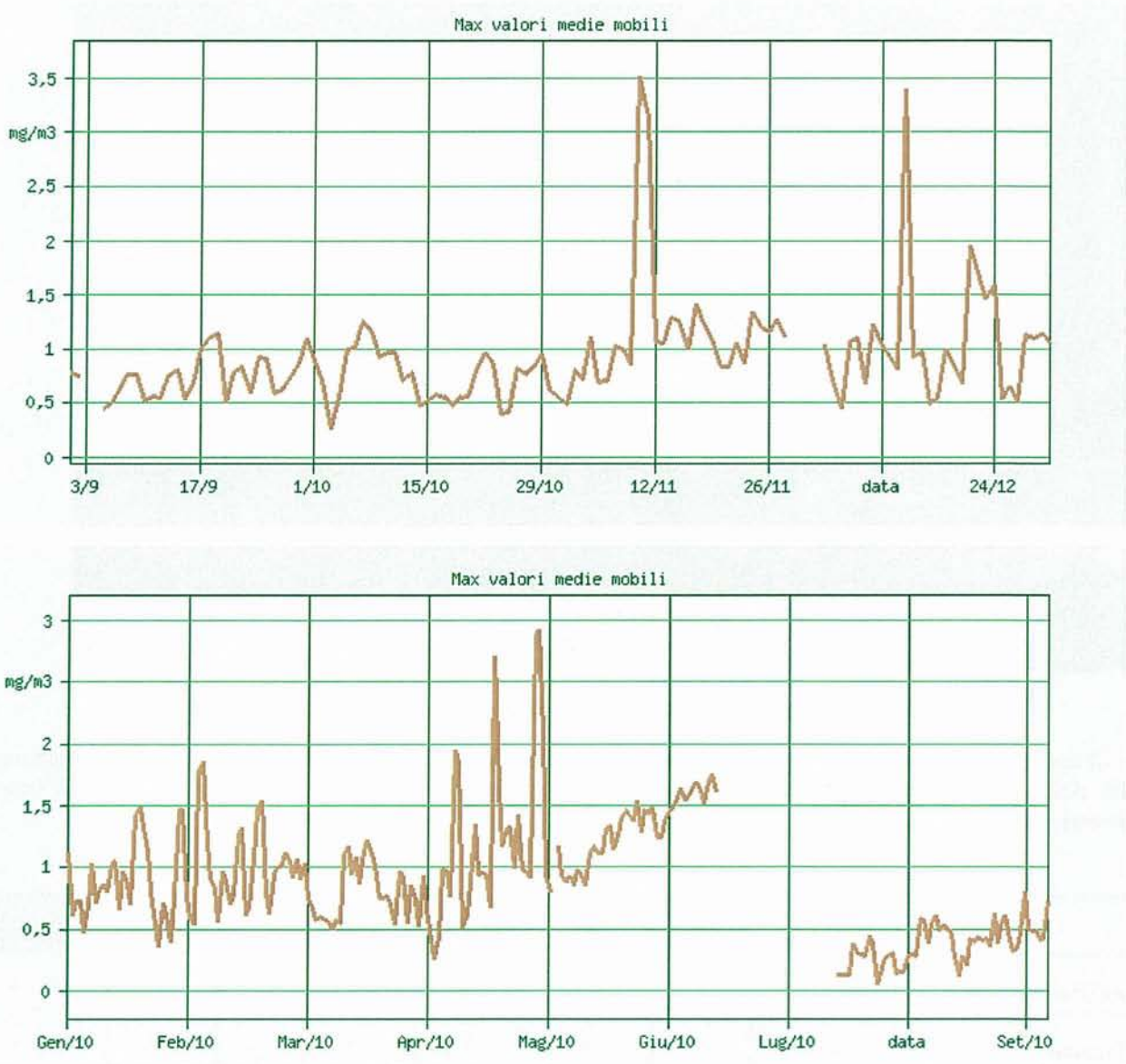


Fig.11.7 - Concentrazioni medie mobili orarie (media massima giornaliera su 8 ore) di CO registrate a Trieste (fonte www.arpa.fvg.it – sezione monitoraggio ambientale – aria –qualità dell'aria tramite centraline – dati stazioni). Nella figura in alto valori registrati dal 01/09/2009 al 31/12/2009, nella figura in basso dal 01/01/2010 al 07/09/2010

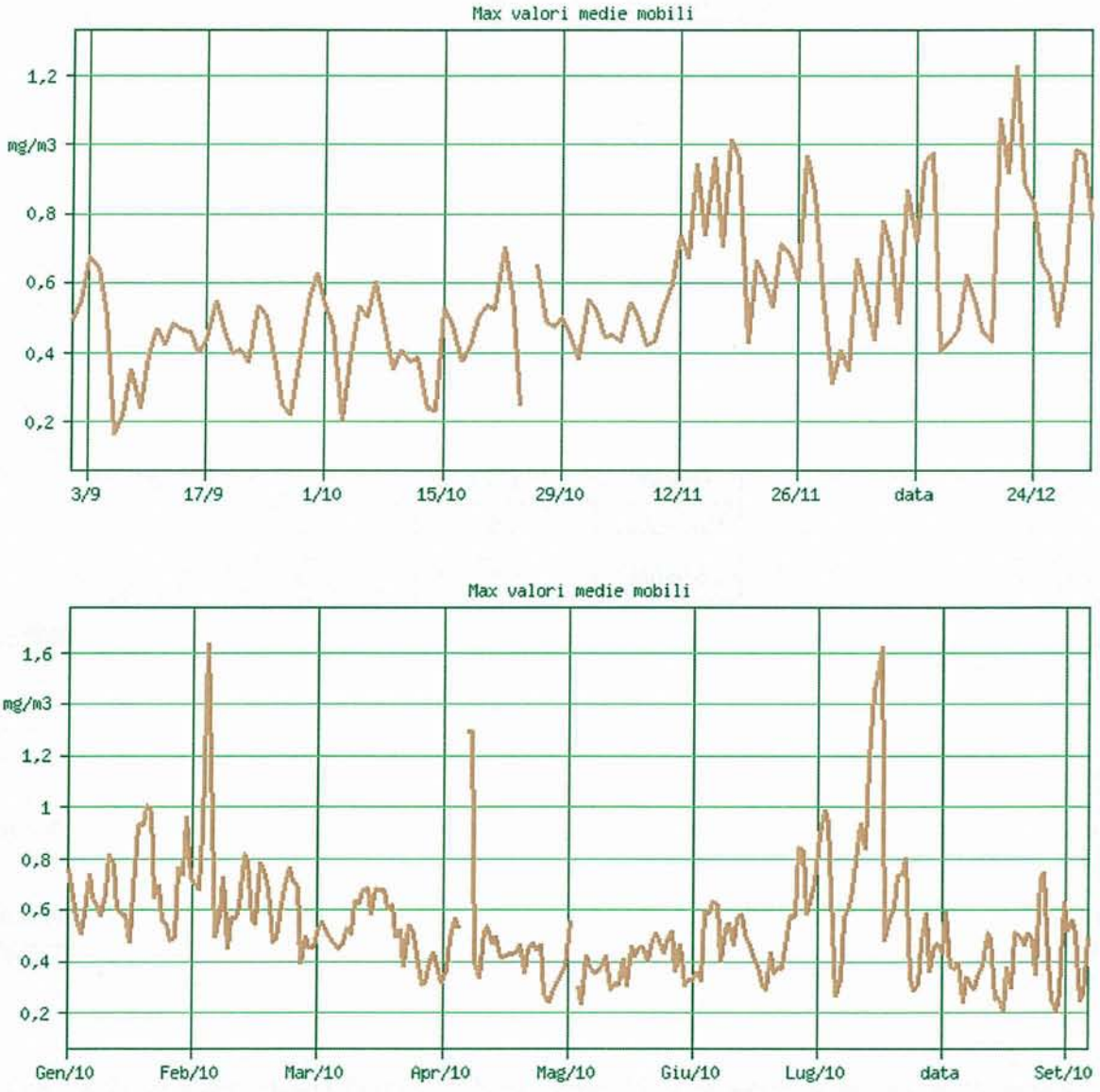


Fig. 11.8 - Concentrazioni medie mobili orarie di CO registrate a Monfalcone (fonte www.arpa.fvg.it). Nella figura in alto valori registrati dal 01/09/2009 al 31/12/2009, nella figura in basso dal 01/01/2010 al 07/09/2010

Dall'analisi dei risultati emerge che, sia nel comune di Trieste che in quello di Monfalcone, non sono mai stati superati i livelli della protezione della salute sulla media di 8 ore; i valori registrati risultano infatti sempre al di sotto del valore limite di 10 mg/m^3 definito dal D.Lgs. n.155 del 13/08/2010.

Inoltre, per quanto riguarda la sola città di Trieste, dallo "Studio sulla qualità dell'aria della città di Trieste del 2009" effettuato da ARPA FVG e CRMA (fonte: http://www.arpa.fvg.it/fileadmin/Informazione/Relazioni_annuali/2009/Relazione_Qualita_dell_aria_TS_2009.pdf), per il monossido di carbonio si conclude quanto segue: *dall'osservazione emerge una situazione del tutto tranquillizzante con valori di media trascinata sulle 8 ore non solamente non superati, ma ampiamente distanti dal valore di riferimento di 10 mg/m .*

MESE	CO (mg/m^3)
Gennaio	1.6
Febbraio	1.5
Marzo	1.5
Aprile	1.1
Maggio	1
Giugno	1
Luglio	1.1
Agosto	1
Settembre	1.1
Ottobre	1.2
Novembre	3.5
Dicembre	3.4

Tab. 11.3 - Valori massimi della media trascinata sulle 8 ore di CO (mg/m^3) rilevati nel corso dell'anno 2009 nella stazione di p.zza della Libertà a Trieste e nei dodici mesi. Valore di riferimento 10 mg/m^3

Idrocarburi

Non si dispone di registrazioni di valori di idrocarburi nelle stazioni di monitoraggio di Trieste P.zza della Libertà e di Monfalcone.

Si riporta tuttavia di seguito quanto contenuto nello studio sulla qualità dell'aria della città di Trieste del 2009 effettuato da ARPA FVG e CRMA (fonte: http://www.arpa.fvg.it/fileadmin/Informazione/Relazioni_annuali/2009/Relazione_Qualita_dell_aria_TS_2009.pdf).

Benzene

Nel corso dell'anno 2009 sono state effettuate, in 21 postazioni della città di Trieste, una serie di determinazioni sul Benzene mediante l'utilizzo di campionatori passivi di tipo diffusivo (radielli). Presso la stazione di Piazza della Libertà a Trieste si registrano concentrazioni medie annue di benzene di 1,7 (µg/mc) (relative all'anno 2009 determinate mediante l'utilizzo di campionatori passivi). L'utilizzo di questa metodologia di monitoraggio che permette a bassi costi e senza l'utilizzo dei classici campionatori una significativa estensione del territorio urbano monitorato, ha consentito di confermare, su un'area sensibilmente più estesa, quanto evidenziato nelle postazioni di piazza Garibaldi e via Battisti per cui la situazione, relativamente a questo parametro esaminato, può essere definita, per il momento, del tutto tranquillizzante. Infatti il valore medio delle 21 postazioni esaminate, pari a 2.4 µg/mc risulta non solo significativamente inferiore al valore limite per la protezione della salute umana pari a 6 µg/mc previsto per l'anno 2009 ma anche a quello di 5 µg/mc che è l'obbiettivo da raggiungere nell'anno 2010. Va inoltre segnalato che in nessuna delle 21 postazioni si è superato, il valore di 5 µg/ mc.

Idrocarburi Policiclici Aromatici (IPA)

Su tutte le stazioni di rilevamento di Trieste le concentrazioni medie annuali di BaP registrate si mantengono al di sotto del valore obiettivo fissato a 1 ng/mc dal D.Lgs. n.155 del 13/08/2010 *con andamenti della media mensile e*

della media trascinata su 7 giorni caratterizzati dalla stagionalità (incremento nei mesi invernali e decremento in quelli estivi).

Polveri sottili (PM10)

Dall'analisi della Fig. **11.9** e della Fig. **11.10**, che mostrano l'andamento delle polveri sottili rilevate nelle due stazioni di Trieste e Monfalcone, si osserva come nei mesi invernali il contributo delle polveri sottili risulta maggiore rispetto ai mesi estivi.

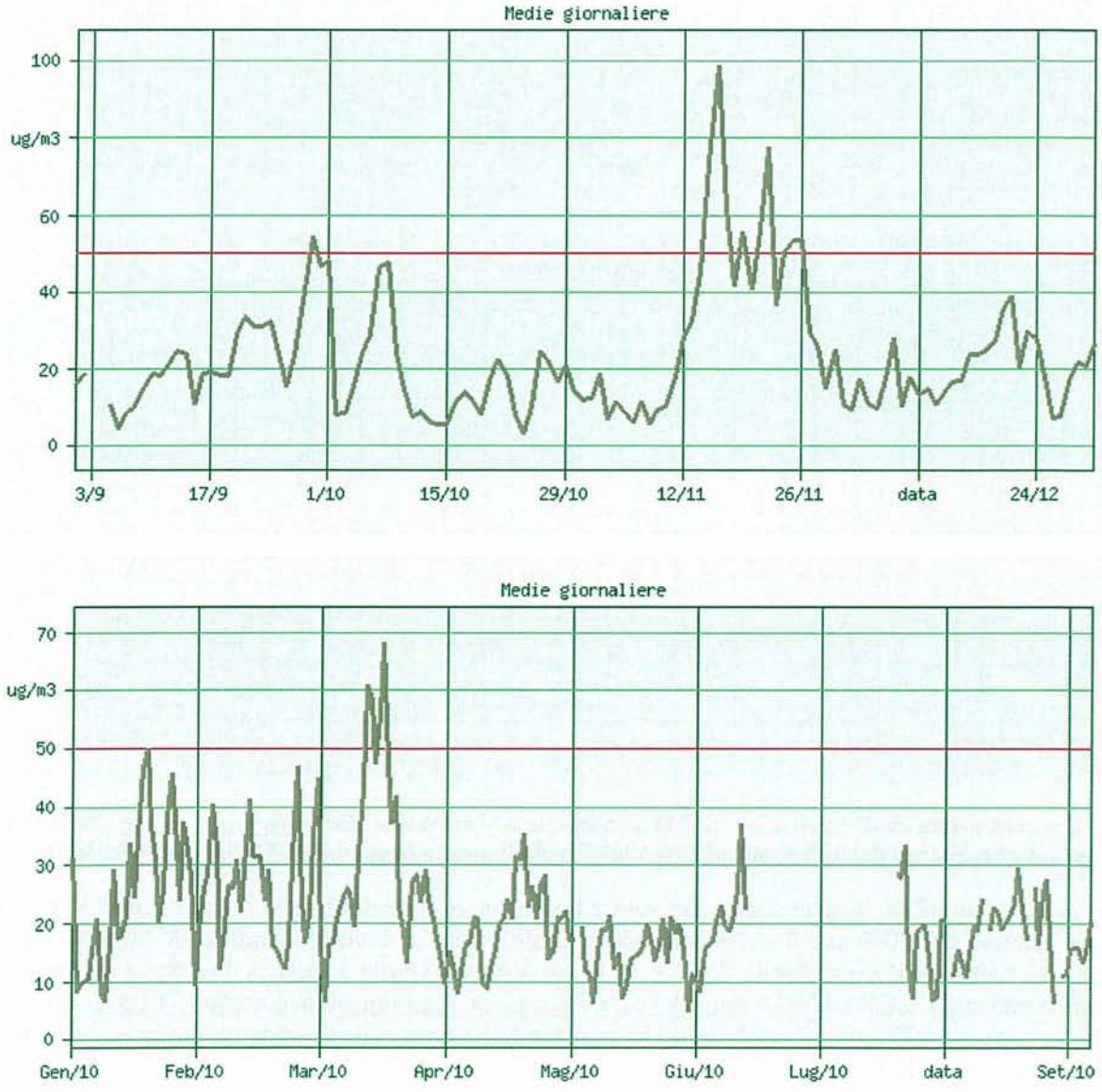


Fig. 11.9 - Concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} registrate a Trieste (fonte www.arpa.fvg.it). Nella figura in alto valori registrati dal 01/09/2009 al 31/12/2009, nella figura in basso dal 01/01/2010 al 07/09/2010

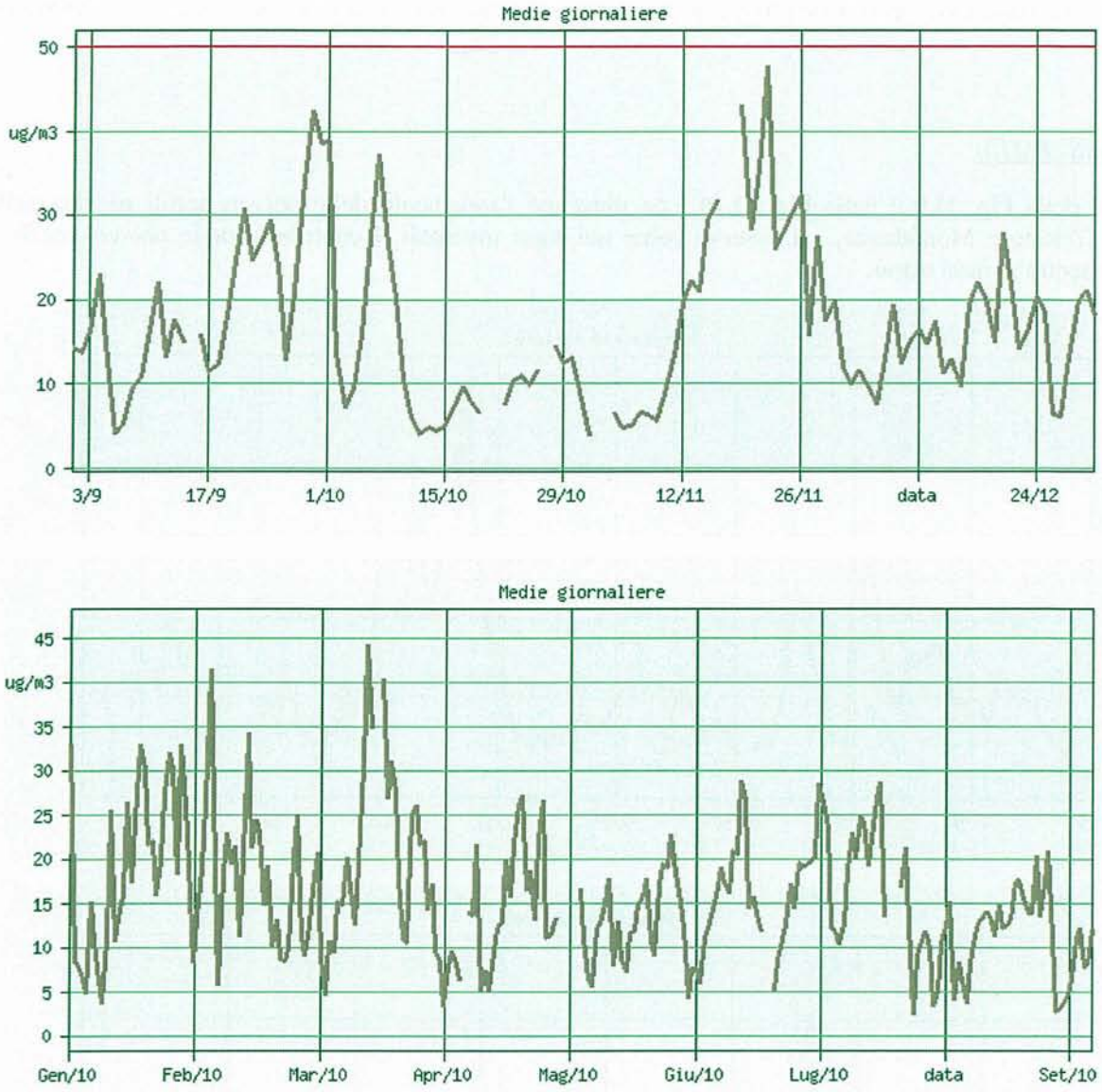


Fig. 11.10 - Concentrazioni medie giornaliere di PM_{10} registrate a Monfalcone (fonte www.arpa.fvg.it). Nella figura in alto valori registrati dal 01/09/2009 al 31/12/2009, nella figura in basso dal 01/01/2010 al 07/09/2010

In relazione ai dati disponibili, il superamento del valore limite per la protezione della salute umana (50 µg/m³) si è verificato dal gennaio del 2010 per 4 volte nella stazione di Trieste e 1 volta in quella di Monfalcone (fonte: monitoraggio dei livelli di Polveri Sottili (PM10) in Friuli Venezia Giulia a cura dell'Agenzia regionale per la protezione dell'ambiente - ARPA FVG - http://lexview-int.regione.fvg.it/meteoviabilita/pm10.aspx). Nel corso di tutto il 2009, la stazione di Trieste (P.zza Libertà) ha registrato un numero di superamenti giornalieri di PM10 pari a 11 (valore giornaliero di riferimento 50 µg /mc).

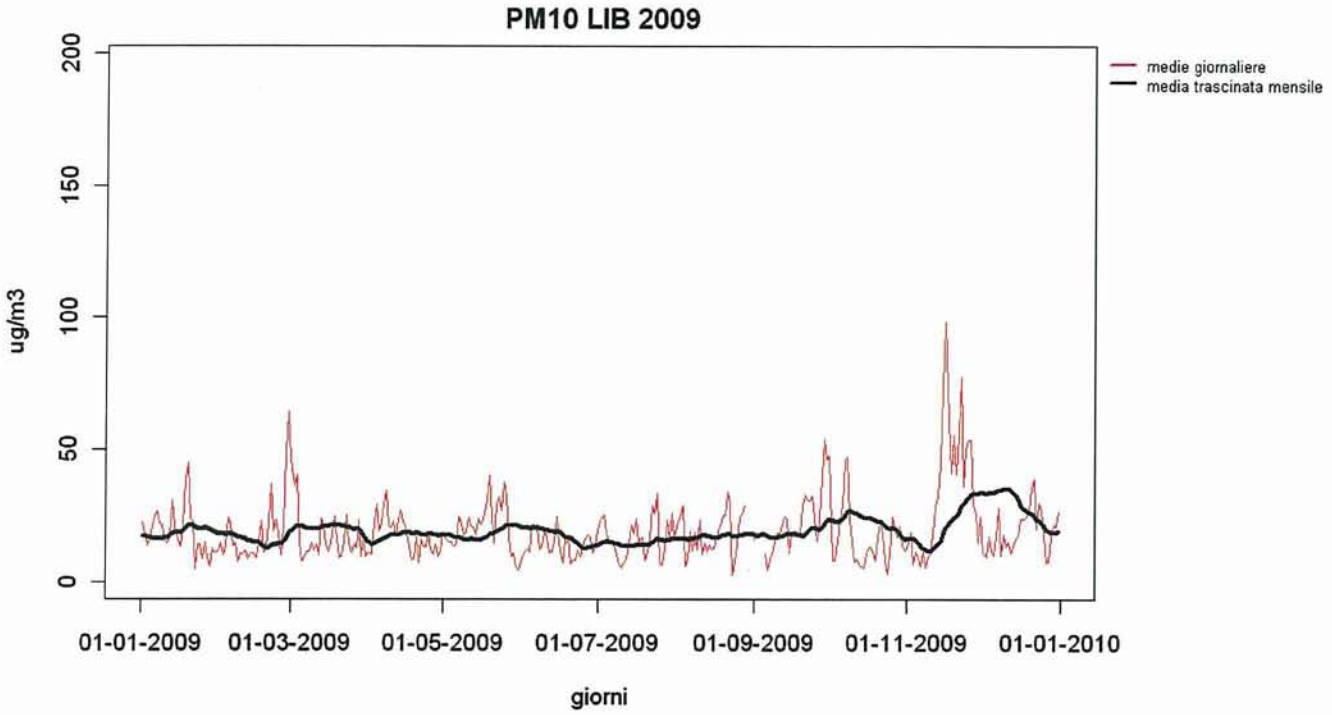


Fig. 11.11 - Andamento delle medie trascinate mensili di PM10 nell'anno 2009 nella stazione di piazza Libertà a Trieste (fonte: studio sulla qualità dell'aria della città di Trieste del 2009 effettuato da ARPA FVG e CRMA)

Ossidi di azoto

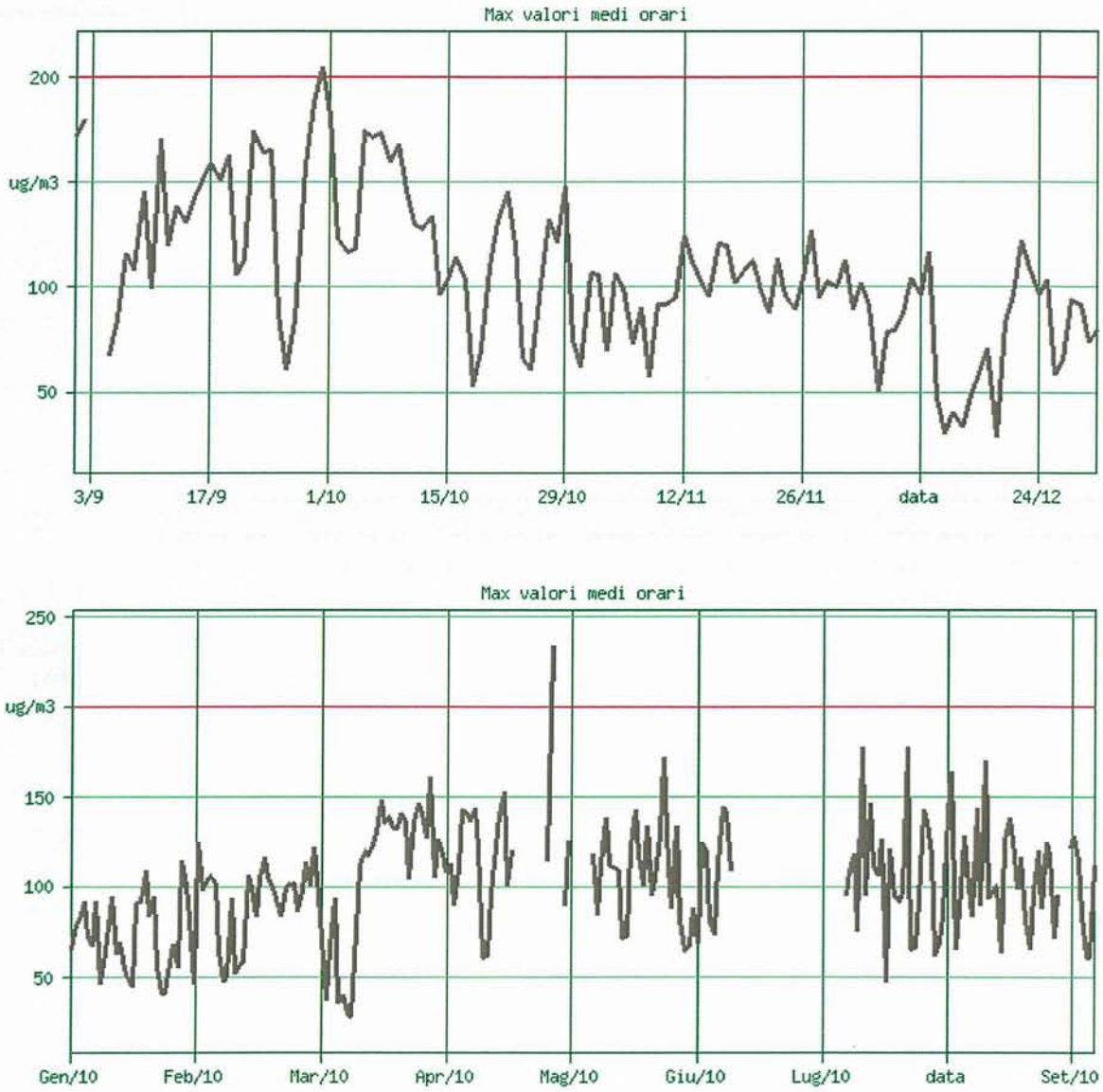


Fig. 11.12 - Concentrazioni medie orarie di biossido d'azoto registrate a Trieste (fonte www.arpa.fvg.it). Nella figura in alto valori registrati dal 01/09/2009 al 31/12/2009, nella figura in basso dal 01/01/2010 al 07/09/2010

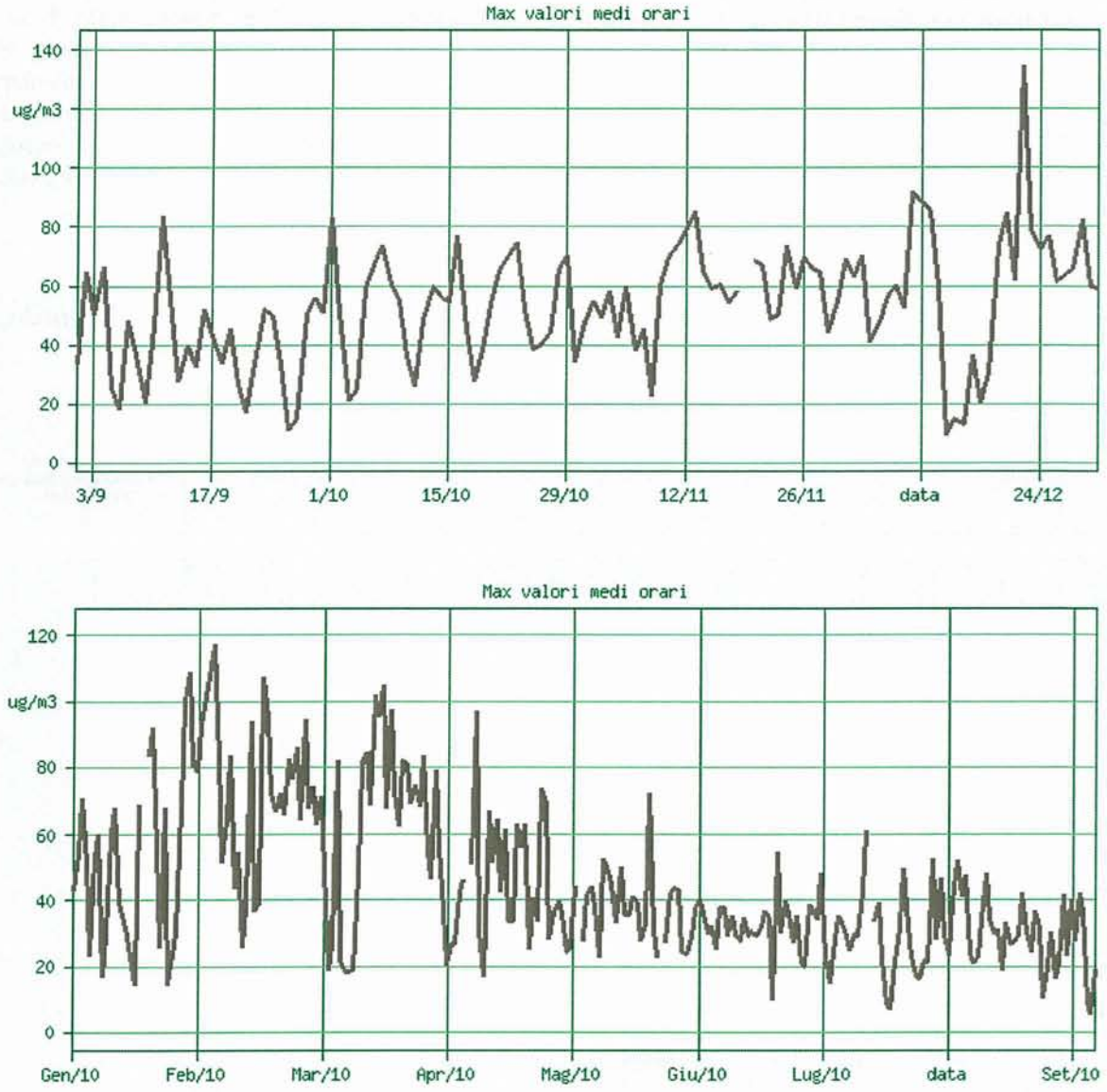


Fig. 11.13 - Concentrazioni medie orarie di biossido d'azoto registrate a Monfalcone (fonte www.arpa.fvg.it). Nella figura in alto valori registrati dal 01/09/2009 al 31/12/2009, nella figura in basso dal 01/01/2010 al 07/09/2010

Le concentrazioni di NO_2 monitorate nelle due stazioni prese in esame non evidenziano importanti superamenti del valore limite orario (periodo di mediazione 1 ora) di protezione della salute umana, definito pari a 200 µg/mc dal D.Lgs. n.155 del 13/08/2010, da non superare più di 18 volte nel corso dell'anno civile.

Dallo studio sulla qualità dell'aria della città di Trieste del 2009 effettuato da ARPA FVG e CRMA (fonte: http://www.arpa.fvg.it/fileadmin/Informazione/Relazioni_annuali/2009/Relazione_Qualita_dell_aria_TS_2009.pdf) vengono riportati i seguenti commenti:

I valori massimi orari evidenziano che le concentrazioni più elevate si sono riscontrate nella stazione di piazza Libertà, in cui predominante risulta essere l'influenza del traffico urbano in quanto punto di passaggio di tutti gli autoveicoli che arrivano a Trieste provenendo dalla strada Costiera. Per quanto attiene al numero dei superamenti del valore della media oraria (che per l'anno 2008 risultava essere pari a 210 µg /mc da non superarsi per più di

18 volte), si evidenzia che si sono registrati 22 superamenti in piazza Libertà, 2 superamenti nella stazione di via Svevo ed 1 superamento rispettivamente in piazza Vico, via Carpineto e via San Sabba; sulla base delle considerazioni sopra esposte, risultano logicamente consequenziali i valori medi annui di biossido di azoto rilevati nelle singole postazioni nell'anno 2009 e che avevano quale valore di riferimento 42 µg /mc. Tale concentrazione media annua è risultata ampiamente superata in Piazza Libertà raggiungendo un valore di 78 µg /mc ma è stata superiore a tale valore di riferimento anche nelle postazioni di via Carpineto e di piazza Vico ove, in entrambe i siti, è stata registrata una concentrazione media annua pari a 44 µg /mc. Per quanto riguarda le altre postazioni urbane triestine oltre a Muggia, i valori sono compresi in un "range" compreso tra 19 e 38 µg/mc.

Nella figura seguente, in aggiunta ai dati precedenti, è illustrato l'andamento dei valori di NO_2 per il periodo 2005-2009.

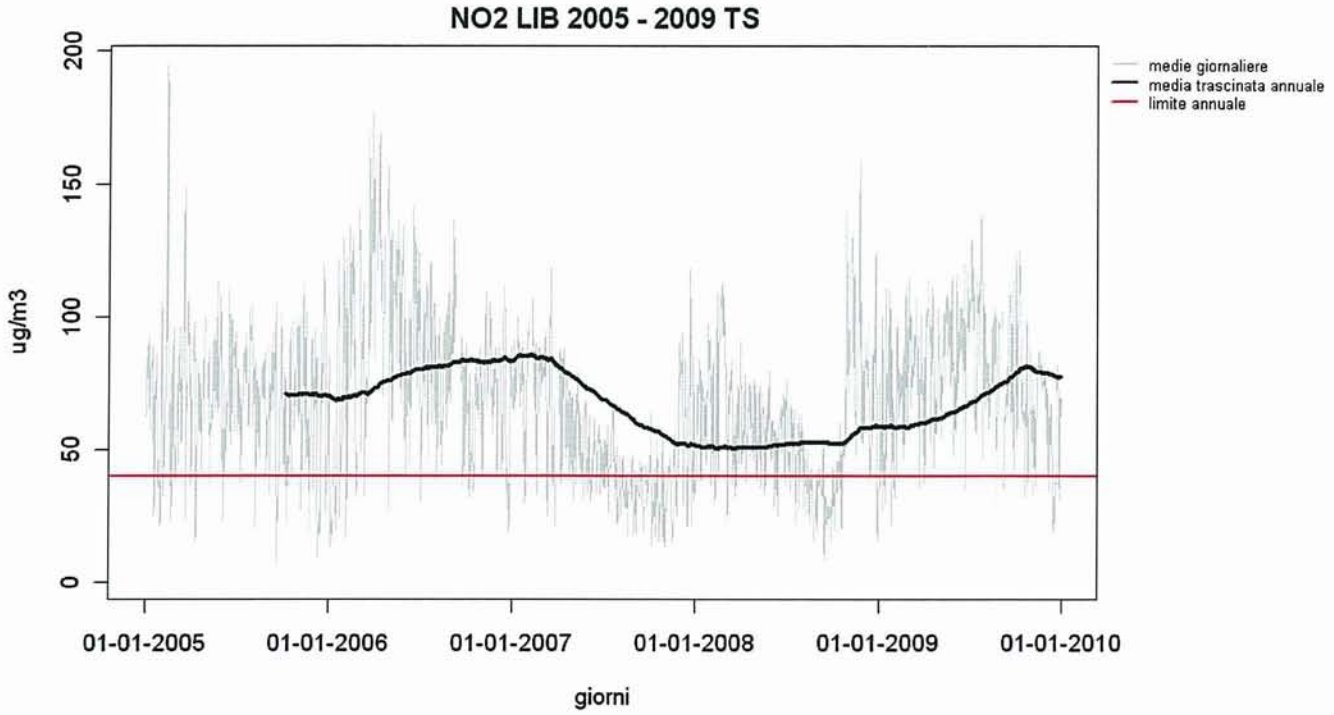


Fig. 11.14 - Andamento delle medie trascinate annue nel periodo 2005-2009 nella stazione di piazza Libertà a Trieste (fonte: studio sulla qualità dell'aria della città di Trieste del 2009 effettuato da ARPA FVG e CRMA)

Ozono

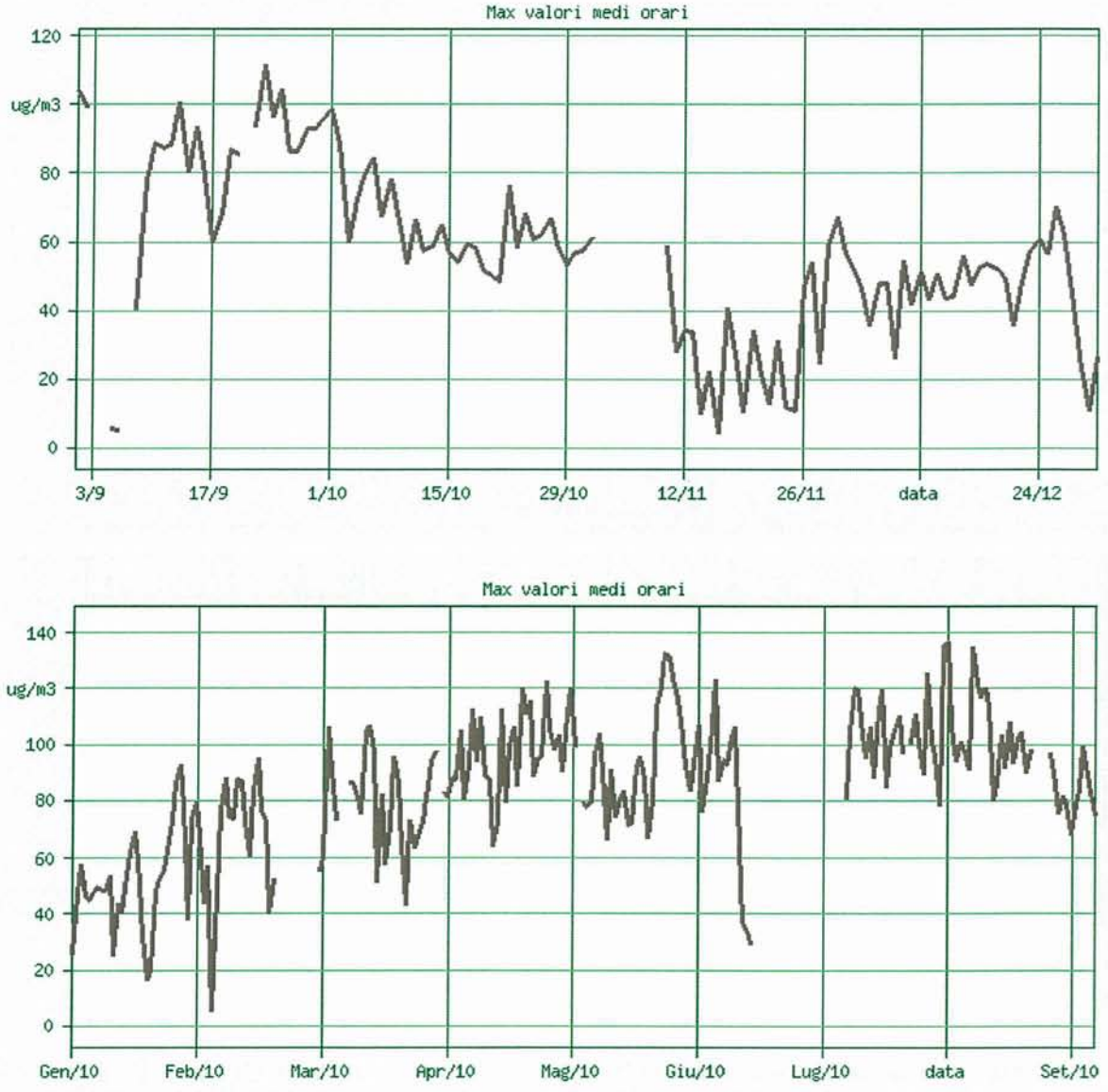


Fig. 11.15 - Concentrazioni medie (orarie) di O_3 registrate a Trieste (fonte www.arpa.fvg.it). Nella figura in alto valori registrati dal 01/09/2009 al 31/12/2009, nella figura in basso dal 01/01/2010 al 07/09/2010

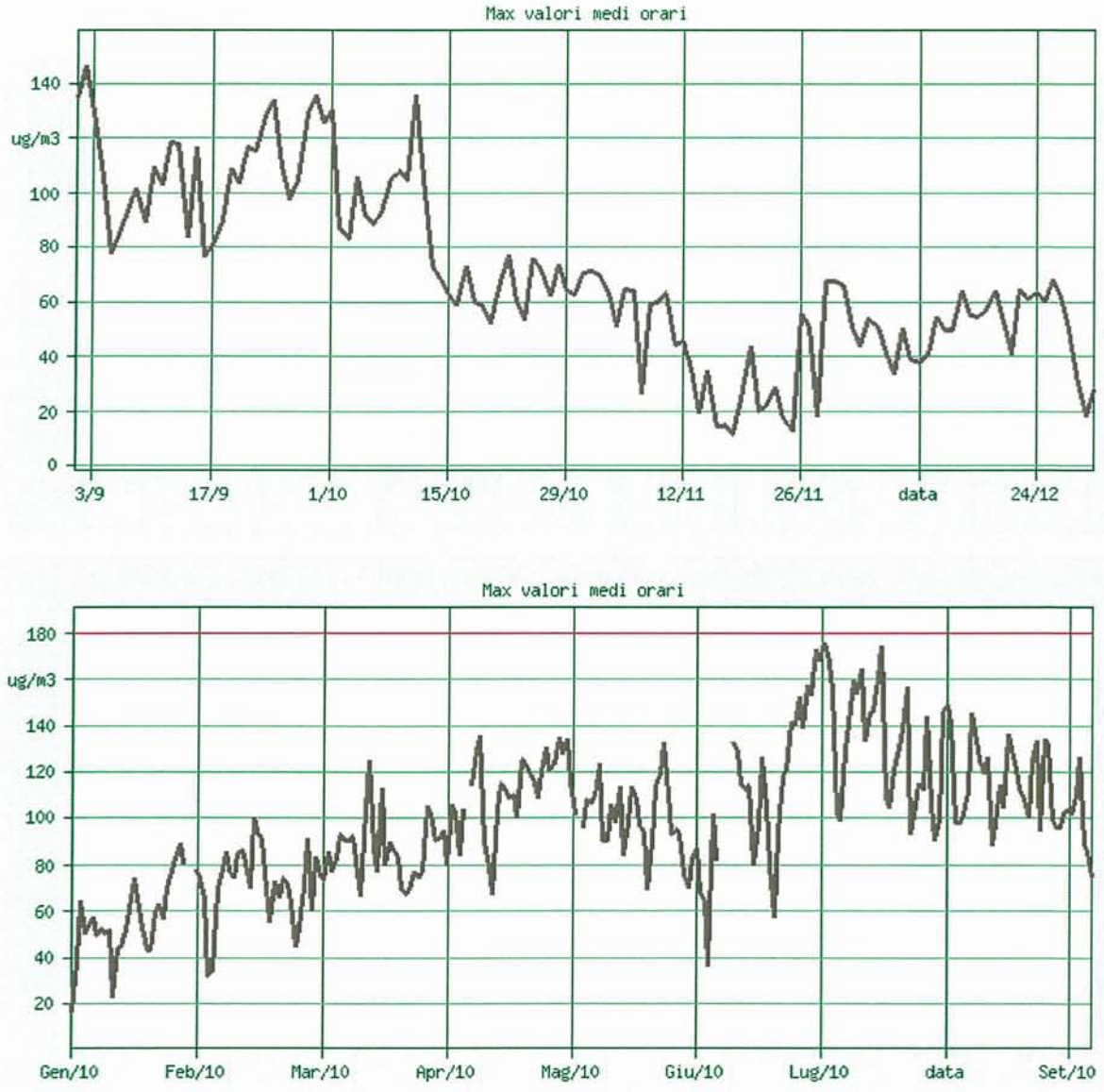


Fig. 11.16 - Concentrazioni medie (orarie e mobili) di O_3 registrate a Monfalcone (fonte www.arpa.fvg.it). Nella figura in alto valori registrati dal 01/09/2009 al 31/12/2009, nella figura in basso dal 01/01/2010 al 07/09/2010

Le concentrazioni ambientali di O_3 sono soggette a sistematiche variazioni stagionali con valori che tendono ad aumentare durante i periodi caldi e soleggiati dell'anno; infatti particolari condizioni meteo climatiche, quali alte temperature, favoriscono le reazioni fotoelettriche che determinano un incremento delle concentrazioni di O_3 in atmosfera.

Si osserva che i valori medi orari registrati a Trieste e a Monfalcone ricadono al di sotto della soglia di informazione (180 µg/mc, con periodo di mediazione di 1 ora [D.Lgs. n.155 del 13/08/2010] – la soglia di allarme è pari a 240 µg/mc).

Nello studio sulla qualità dell'aria della città di Trieste del 2009 effettuato da ARPA FVG e CRMA (fonte: http://www.arpa.fvg.it/fileadmin/Informazione/Relazioni_annuali/2009/Relazione_Qualita_dell_aria_TS_2009.pdf) si conclude quanto segue:

Con riferimento alla vigente normativa, nel corso dell'anno 2009 i rilevamenti di ozono non hanno evidenziato né in Piazza Libertà né presso la postazione di Monte S.Pantaleone alcun superamento dei valori della soglia di allarme (240 µg/mc) e dei valori della soglia di informazione (180 µg/mc).

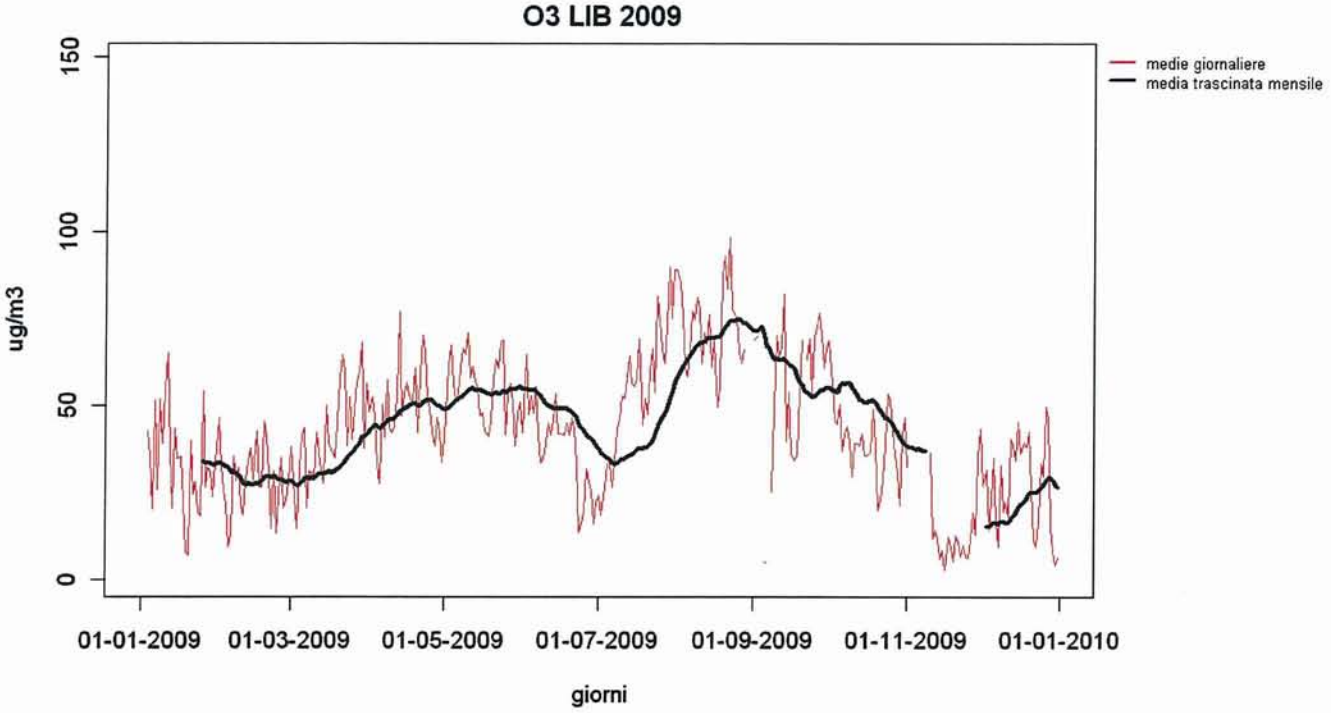


Fig. 11.17 - Andamento delle medie trascinate mensili di Ozono nel corso dell'anno 2009 nella stazione di piazza Libertà a Trieste (fonte: studio sulla qualità dell'aria della città di Trieste del 2009 effettuato da ARPA FVG e CRMA)

11.2.3 Caratterizzazione meteo climatica dell'area interessata dal progetto

11.2.3.1 Caratteristiche termo pluviometriche

Un'analisi eseguita dall'OSMER dell'ARPA Friuli Venezia Giulia sui dati giornalieri pluviometrici del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici (1961-1990) ha portato alla stesura di varie mappe regionali di piovosità. Dallo studio delle mappe della precipitazione media annuale si nota che la regione può essere, in buona misura, divisa in 4 zone che presentano regimi pluviometrici distinti:

1. Fascia costiera: è la zona meno piovosa della regione; i totali annui raggiungono mediamente i 1.000-1.200 mm, con un andamento crescente dalla costa verso l'interno;

2. Fascia pianura e colline: avvicinandosi alle montagne la piovosità aumenta; i valori medi annui variano da 1.200 a 1.800 mm;

3. Fascia prealpina: le precipitazioni medie annue raggiungono valori (dai 2.500 ai 3100 millimetri) da primato europeo;

4. Fascia alpina interna: a Nord delle Prealpi Carniche e Giulie la piovosità media annua torna a decrescere fino a valori di 1.600 – 1.800 mm, molto simili a quelli della media pianura.

I mesi più piovosi sono giugno e novembre, quando si registrano mediamente 100-120 mm di pioggia sulla fascia costiera e in alcune zone della montagna si arriva fino a 360-380 mm.

Per l'inquadramento termopluviometrico dell'area si è fatto riferimento alla stazione meteorologica di Trieste molo Bandiera (1 m s.l.m.), su un periodo di osservazione compreso tra l'anno 1994 e il 2010 (fonte: elaborazione ARPA-OSMER 2010) e alla stazione di Monfalcone (6 m s.l.m.), su un periodo di osservazione compreso tra l'anno 1961 e il 2000 (fonte: elaborazione ARPA-OSMER 2008).



Fig. 11.18 - Stazione meteorologica di Trieste Molo Bandiera (1 m s.l.m.)

Per quanto riguarda la stazione di Trieste, nel periodo considerato il totale medio annuo delle precipitazioni è pari a 859 mm, con un'intensità media giornaliera (rapporto tra la quantità di precipitazioni dell'anno medio e il numero di giorni in cui si è verificata) pari a 9,87 mm/giorno. Le temperature medie mensili mostrano un andamento regolare, con un massimo estivo (in luglio 25°C) e un minimo invernale che comunque non scende sotto lo zero (in gennaio 6,8°C). L'escursione media è pari a 18,2°C e la temperatura media annua è pari a 15,7°C.

Stazione di Trieste (11 ms.l.m.)	Periodo di osservazione	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Temperature (°C)	1994 – 2010	6.8	7.2	9.9	13.8	18.8	22.6	25	24.8	20.7	16.9	12.3	8.2
Precipitazioni (mm)	1994 – 2010	52	55	53	70	73	63	51	83	90	90	104	81
Temperatura media annua: 15,7 °C		Precipitazioni medie annue: 859 mm											

Tab. 11.4 - Dati termo pluviometrici per Trieste, medie mensili (fonte: ARPA-OSMER, 2010)

Per quanto riguarda la stazione di Monfalcone, per il periodo di riferimento il totale medio annuo delle precipitazioni è pari a 1110 mm, con un'intensità media giornaliera (rapporto tra la quantità di precipitazioni dell'anno medio e il numero di giorni in cui si è verificata) pari a 11, 6 mm/giorno. Per quanto riguarda le temperature medie mensili, si dispone solo di un limitato numero di dati relativi al periodo 2006-2010. Si osserva comunque un andamento regolare, con un massimo estivo (in luglio/agosto 24/25°C) e un minimo invernale che comunque non scende sotto lo zero (in gennaio 5°C).

Stazione di Monfalcone (11 ms.l.m.)	**Periodo di osservazione**	**Gen**	**Feb**	**Mar**	**Apr**	**Mag**	**Giu**	**Lug**	**Ago**	**Set**	**Ott**	**Nov**	**Dic**
Precipitazioni (mm)	1961 – 2000	74	61	71	89	87	106	77	93	124	123	116	89
		Precipitazioni medie annue: 1110 mm											

Tab. 11.5 - Dati pluviometrici per Monfalcone, medie mensili (fonte: ARPA-OSMER, 2009)

11.2.3.2 Anemometria

In Friuli Venezia Giulia il regime dei venti al suolo è determinato dalla conformazione del territorio. La catena alpina che dalle Carniche prosegue verso est con le Giulie, degradando poi verso sud est con i rilievi del Carso, rende predominanti i venti provenienti dal quadrante orientale sulla pianura e lungo la costa.

Per quanto riguarda l'intensità dei venti, esiste una notevole differenza tra i regimi di brezza, a valenza locale, e i venti cosiddetti "sinottici", cioè quelli che soffiano fino a 3000-4000 metri di quota e che sono segnalati dalle stazioni di rilevamento, nelle carte meteorologiche e nei notiziari meteorologici.

Per le brezze le intensità medie variano da luogo a luogo, ad ogni modo lungo la zona costiera e allo sbocco delle principali valli sulla pianura si registrano i valori medi più elevati. Per quanto riguarda la zona costiera, durante il periodo estivo, le intensità medie del vento sono comprese tra 2 e 3 m/s, mentre per le brezze misurate alle sbocco delle valli del Tagliamento, del Natisone e del Cellina i valori medi sono compresi tra 2 e 4 m/s. Nelle zone centrali della pianura friulana il regime di brezza assume valori medi compresi tra 1 e 2 m/s. Tali intensità medie rappresentano un'estrema sintesi del fenomeno, in quanto le brezze seguono un ciclo, sostanzialmente diurno, che alterna periodi di calma a periodi di elevata intensità del vento, che non di rado raggiunge valori compresi tra 5 e 8 m/s, specie lungo la costa e allo sbocco della valle del Tagliamento, in questo ultimo caso durante alcuni significativi episodi notturni.

I venti sinottici sono prevalentemente presenti nel periodo autunnale ed invernale ed hanno valori medi superiori, anche di alcuni metri al secondo, rispetto a quelli delle brezze. Per la zona della costa la Bora è il vento predominante. Questo vento ha un caratteristico comportamento a raffiche, quindi una descrizione media del fenomeno sarebbe riduttiva. Episodi di Bora con intensità del vento medio orario superiore a 10 m/s per oltre 5 ore consecutive non sono rari; le raffiche possono superare i 30 m/s e sono stati registrati valori anche superiori ai 40 m/s negli ultimi 30 anni nella zona costiera di Trieste. In pianura il vento di natura sinottica presenta una maggior costanza, salvo nelle zone orientali della regione dove la connotazione è a raffiche, anche se meno marcata di quella costiera. In pianura valori medi compresi tra 3 e 5 m/s possono considerarsi descrittivi della circolazione sinottica, tenendo presente però che le irruzioni di vento da nord-est sovente si manifestano con intensità medie orarie attorno ai 10 m/s per alcune ore.

Per quanto riguarda la direzione prevalente dei venti nelle diverse zone della regione, ricordiamo che le brezze lungo la costa hanno provenienza SO durante il giorno e N o NE durante la notte; fa eccezione la zona costiera triestina in cui la direzione di provenienza diurna varia da O a NO, mentre quella notturna è sostanzialmente

orientale con leggere variazioni da località a località. Le brezze della pianura sono caratterizzate da direzioni meridionali durante il giorno e settentrionali durante la notte, mentre per la fascia dell'alta pianura le direzioni sono guidate dallo sbocco della principale valle limitrofa.

I venti sinottici hanno provenienza prevalente nord orientale, ma non mancano ogni anno alcuni episodi di scirocco o tramontana.

Per il territorio in esame è stata considerata la serie storica di dati relativa alla stazione di Trieste Molo Bandiera (1 m s.l.m.), nel periodo 1995-2008 (fonte: elaborazione ARPA-OSMER 2009). Sulla base di analisi mensili e annuali del vento misurato a 10 m di altezza si riportano in Fig. **11.19**:

- Velocità media del vento filato;
- Velocità media per ottante;
- Frequenza percentuale media (annuale o mensile) dei minuti di vento misurati negli ottanti da cui spira il vento.

Dai dati riportati in Fig. **11.19** risulta evidente la prevalenza delle direzioni E. Significativi, anche se solo in certi periodi dell'anno, risultano i contributi delle componenti NO e O.

Per quanto riguarda l'intensità dei venti si registra nel periodo analizzato una velocità media pari a 3,8 m/s.

La distribuzione delle frequenze nei mesi invernali presenta forti analogie con quella annuale. Appare ancor più accentuata la prevalenza del settore E (NE, SE).

mese	anni di misura	velocità media vento	velocità media nell'ottante (m/s)								frequenza nell'ottante (%)							
			N	NE	E	SE	S	SO	O	NO	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO CALMA
gen	1995 - 2008	4.1	2.1	9.3	5.5	2.7	1.8	2.1	2.0	1.9	4	16	28	16	7	4	6	9 9
feb	1995 - 2008	3.8	2.0	8.4	5.6	2.5	1.7	1.8	2.0	2.1	5	17	24	13	7	5	7	11 12
mar	1995 - 2008	3.9	2.3	7.9	5.6	2.9	2.4	2.2	2.4	2.3	6	17	23	14	7	5	8	11 10
apr	1995 - 2008	3.5	2.1	7.3	4.6	2.8	2.3	2.7	2.7	2.4	7	15	20	15	7	6	10	13 9
mag	1995 - 2008	3.3	2.2	6.2	4.3	2.8	2.2	2.9	2.7	2.5	6	13	21	15	6	6	10	15 7
giu	1995 - 2008	3.3	2.3	6.2	4.3	2.7	2.4	3.0	2.8	2.5	6	13	21	15	6	6	13	16 6
lug	1995 - 2008	3.4	2.4	6.0	4.4	2.6	2.2	3.2	3.0	2.6	5	14	22	14	6	6	13	15 5
ago	1995 - 2008	3.4	2.3	5.9	4.5	2.6	2.3	3.0	3.0	2.5	6	14	25	15	6	6	11	12 5
set	1995 - 2008	3.8	2.5	7.0	4.6	2.7	2.4	3.2	2.8	2.5	4	17	29	19	6	4	9	9 4
ott	1995 - 2008	3.9	2.0	7.4	4.8	2.8	2.8	3.4	2.4	2.2	4	15	31	22	7	4	6	7 5
nov	1995 - 2008	4.2	2.5	8.1	5.2	2.9	2.6	2.9	2.2	2.3	4	16	30	24	7	3	5	6 5
dic	1995 - 2008	4.7	2.2	9.7	5.9	2.7	1.9	2.3	2.1	2.2	3	17	34	19	6	3	4	6 7
anno	**1995 - 2008**	**3.8**	**2.2**	**7.6**	**5.0**	**2.7**	**2.3**	**2.7**	**2.6**	**2.4**	**5**	**15**	**26**	**17**	**6**	**5**	**9**	**11 7**

Indicazione cromatica: velocità del vento	
	da 0.5 a 1.5 m/s
	da 1.5 a 2.5 m/s
	da 2.5 a 3.5 m/s
	maggiore di 3.5 m/s

Indicazione cromatica: frequenza del vento nell'ottante	
	da 0 a 5 %
	da 5 a 10 %
	da 10 a 20 %
	maggiore del 20%

Fig. 11.19 - Velocità e direzione media del vento (fonte: elaborazione ARPA-OSMER 2009)

11.3 Valutazione delle interferenze e degli interventi di mitigazione

11.3.1 Caratterizzazione delle sorgenti

Le attività associate alla realizzazione della tratta ferroviaria in esame aventi potenziali ricadute sulla qualità dell'aria, possono essere ricondotte essenzialmente alle tre seguenti tipologie:

- cantieri fissi (cantieri operativi, cantieri di imbocco galleria, aree di stoccaggio inerti ed aree tecniche in corrispondenza delle opere d'arte);
- cantieri mobili (lavorazioni lungo la linea nelle tratte all'aperto);
- traffico generato dai mezzi di cantiere per l'approvvigionamento e lo smaltimento dei materiali.

In relazione alla natura delle sorgenti possono essere individuati, quali indicatori del potenziale impatto delle stesse sulla qualità dell'aria, i seguenti parametri:

- inquinanti gassosi generati dalle emissioni dei motori a combustione interna dei mezzi di trasporto e dei mezzi di cantiere in genere;
- polveri: PM10 (polveri inalabili, le cui particelle sono caratterizzate da un diametro inferiore ai 10 μm) e PTS (polveri totali sospese). Le polveri sono generate sia dalla combustione incompleta all'interno dei motori, che da impurità dei combustibili, che dal sollevamento da parte delle ruote degli automezzi e da parte di attività di movimentazione di inerti.

Va evidenziato il ruolo critico svolto dai PM10, originati tanto dal funzionamento dei motori a combustione dei mezzi d'opera che dalle attività di costruzione in senso lato, ed il cui comportamento dispersivo risulta, di fatto, assimilabile a quello di un inquinante gassoso (prescindendo dalla composizione chimica).

11.3.1.1 I cantieri fissi

Le attività più gravose svolte in termini di emissioni nell'ambito dei cantieri sono costituite:

- dal confezionamento del calcestruzzo negli impianti di betonaggio;
- dalla movimentazione degli inerti all'interno dei cantieri; in questa categoria rientrano sia le terre da scavo, che vengono stoccate ai fini del riutilizzo, sia gli inerti impiegati per il confezionamento del calcestruzzo, sia il pietrisco impiegato per la massicciata ferroviaria;
- dal transito degli automezzi sulla viabilità interna ai cantieri.

11.3.1.2 I cantieri mobili

Le problematiche relative all'immissione di inquinanti atmosferici nell'ambito dei cantieri mobili (ovvero del fronte di avanzamento dei lavori) sono legate principalmente:

- alle attività di movimento terra (scavi e realizzazione rilevati);
- alle attività di movimentazione dei materiali;
- al transito dei mezzi di cantiere.

11.3.1.3 Il traffico indotto

Oltre ai cantieri, un contributo agli impatti sulla componente, direttamente imputabili alle attività di realizzazione della linea ferroviaria, è rappresentato dal traffico indotto sulla viabilità esistente e sulle piste di cantiere.

In generale, la dimensione dell'impatto legato al transito indotto sulla viabilità esistente risulta essere direttamente correlato all'entità dei flussi orari degli autocarri e pertanto risulta stimabile in relazione ai fabbisogni dei cantieri stessi.

11.3.2 Stima dei fattori di emissione

Come precedentemente indicato, l'impatto più significativo esercitato dai cantieri di costruzione sulla componente atmosfera è generato dal sollevamento di polveri: sia quello indotto direttamente dalle lavorazioni, sia quello indotto indirettamente dal transito degli automezzi sulla viabilità interna ed esterna.

I parametri che sono stati assunti per rappresentare le polveri sono costituiti da PTS (polveri totali sospese) e PM10 (frazione fine delle polveri, di granulometria inferiore a 10 μm). Tra le sorgenti di polveri vengono trascurati i motori delle macchine operatrici, il cui contributo appare quantitativamente limitato, se confrontato alla generazione di polveri indotta dai lavori. Vengono analogamente trascurate le emissioni generate dalle attività di preparazione dell'area di cantiere (scotico, sistemazione piazzale, ecc.), che, benché comportino lavori di movimento terra, hanno una durata ridotta (generalmente di poche settimane). Per queste attività si prevede comunque una riduzione della polverosità attraverso bagnatura sistematica del terreno.

Per la fase di esercizio dei cantieri sono state stimate nel seguito del presente paragrafo le emissioni di polveri in corrispondenza delle principali fonti individuate.

Le emissioni sono state stimate a partire da una valutazione quantitativa delle attività svolte nei cantieri, tramite opportuni fattori di emissione derivati da *"Compilation of air pollutant emission factors" –EPA-, Volume I, Stationary Point and Area Sources (Fifth Edition).*

Le emissioni vengono calcolate tramite la relazione E = A x F, dove E indica le emissioni, A l'indicatore dell'attività correlato con le quantità emesse (grandezza caratteristica della sorgente che può essere strettamente correlata alla quantità di inquinanti emessi in aria) e F il fattore di emissione (massa di inquinante emessa per una quantità unitaria dell'indicatore).

Di seguito, per ciascuna attività capace di contribuire in maniera significativa alla generazione di polveri, ovvero per ciascuna sorgente, vengono definiti:

- il fattore di emissione utilizzato F;
- i parametri da cui F dipende;
- l'indicatore dell'attività A;
- la fonte impiegata per la stima del fattore di emissione.

La stima del fattore di emissione è stata ripetuta, relativamente alle aree di deposito inerti ed alla viabilità di cantiere, confrontando due situazioni caratteristiche corrispondenti a terreno secco ed a terreno imbibito d'acqua: questa seconda situazione è rappresentativa delle condizioni che si manifestano a seguito dell'innaffiatura; la relativa analisi permette pertanto di valutare l'efficacia della bagnatura come sistema per l'abbattimento della polverosità.

11.3.3 Impianti di betonaggio

Le attività legate agli impianti di betonaggio che possono generare emissione di polveri sono:

- rifornimento dai silos (cemento);
- carico miscelatore;
- carico betoniera.

I fattori di emissione assunti per tali attività e i corrispondenti indicatori dell'attività sono riportati nella tabella seguente (AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 11, 11.12 Concrete Batching).

Attività	**Fattore di emissione F**		**Indicatore dell'attività A**
	PM tot	**PM-10**	
Rifornimento dai silos	0.005 kg/t	0.00257 kg/t	Tonnellate di materiale utilizzato totale (inerti, sabbia, cemento)
Carico miscelatore	0.0056 kg/t	0.0019 kg/t	Tonnellate di cemento totale utilizzato
Carico betoniera	0.1 kg/t	0.025 kg/t	Tonnellate di cemento totale utilizzato

Valutando l'indicatore di attività orario si stimano le emissioni orarie dovute all'impianto di betonaggio.

Ipotizzando una produzione di calcestruzzo massima di 80 mc/ora si deriva una stima di 1,4 kg/h di PM tot e 1,3 kg/h di PM10.

Al fine di ridurre tali valori è necessario che l'impianto sia realizzato a regola d'arte e soggetto ad accurata periodica manutenzione.

11.3.4 Cumuli di terra, carico e scarico

Il fattore di emissione utilizzato per la stima della polverosità generata dalle attività di movimento terra è il seguente:

$$F = k(0{,}0016)\frac{\left(\frac{U}{2{,}2}\right)^{1{,}3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1{,}4}} \qquad (kg/t)$$

(AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 13, 13.2.4 Aggregate Handling And Storage Piles)

dove

k= costante moltiplicativa adimensionale variabile in funzione della dimensione delle particelle: (k=0,74 per il calcolo di PM tot - k= 0.35 per il calcolo di PM-10)

U= velocità media del vento (m/s)

M= umidità del materiale accumulato (%)

La formula empirica consente una stima attendibile delle emissioni per valori di U e M compresi nel range di valori specificato nella tabella seguente.

Parametro	Range
Velocità del vento	0,6 – 6,7 m/s
Umidità del materiale	0,25 – 4,8 %

Non avendo a disposizione valori specifici per le aree di cantiere in esame, la velocità del vento è stata assunta pari in tutti i casi pari a 6,7 m/s: tale valore descrive la peggiore situazione riscontrabile in sito compatibilmente con il range di validità della formula di stima utilizzata.

Per la stima in condizioni "normali" l'umidità del materiale è assunta pari a 0,25% (il valore più basso compatibilmente con il range di validità della formula); al fine di simulare le condizioni post-innaffiamento, l'umidità del materiale è invece assunta pari a 4,8%.

Il valore del fattore di emissione risultante nelle due situazioni è specificato nella tabella seguente:

Condizione	Fattore di emissione F PM tot	Fattore di emissione F PM 10
Normale	0,09 kg/t	0.04 kg/t
Post -innaffiamento	0,0015 kg/t	0,0007 kg/t

L'indicatore dell'attività (A) è rappresentato dalle tonnellate di materiale accumulato e/o trattato in un'ora. Il valore delle emissioni ottenuto risulta quindi espresso in chilogrammi di polvere emessa all'ora.

Si evidenzia come la bagnatura del terreno durante i lavori di movimento terra possa comportare una riduzione dell'emissione di polveri (sia in termini di polveri totali che di PM10) di oltre il 98%.

Dall'analisi, indipendentemente dai valori determinati, che risultano dipendenti da una serie di parametri non noti e non controllabili, si deriva quindi l'importanza della umidificazione del materiale per il contenimento degli impatti.

11.3.5 Traffico veicolare nelle aree non pavimentate

Per la stima delle emissioni di polvere generate dal traffico veicolare nelle aree non pavimentate è stato utilizzato il seguente fattore di emissione:

$$F = k(0{,}2819)\frac{(s/12)^a (W/3)^b}{(M/0{,}2)^c} \qquad (kg/km)$$

(AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 13,

13.2.2 Unpaved Roads)

dove :

W= peso medio dei mezzi di cantiere che percorrono le aree considerate (t)

s= contenuto di limo dello strato superficiale delle aree non pavimentate percorse dai mezzi (%)

M= umidità del terreno superficiale delle aree non pavimentate percorse dai mezzi (%)

La formula empirica considera i materiali della granulometria del limo (particelle di diametro < 75μm) come responsabili principali della polverosità nelle aree di cantiere.

Ipotizzando che i mezzi utilizzati siano per la maggior parte autocarri da 12 mc con peso a vuoto di 130 quintali, il peso medio di tali mezzi (carichi in entrata e scarichi in uscita o viceversa) è assunto pari a 16 tonnellate.

La formula empirica per la stima delle emissioni fornisce risultati affidabili per valori di s e M compresi nel range di valori specificato nella tabella seguente.

Parametro	Range
Contenuto di limo	1,2 – 35 %
Umidità del materiale	0,03 – 20 %

Non avendo a disposizione valori specifici per le aree di cantiere in esame, per il contenuto di limo e l'umidità del terreno si assumono a titolo indicativo i valori specificati nella tabella seguente:

Condizione	Contenuto di limo	Umidità del materiale
Normale	5%	0.03 %
Post-innaffiamento	5 %	5 %

I valori delle costanti k, a, b e c sono specificati nella tabella seguente.

Costante	PM tot	PM-10
K (lb/mile)	10	2,6
a	0,8	0,8
b	0,5	0,4
c	0,4	0,3

Il valore del fattore di emissione risultante nelle due situazioni è specificato nella tabella seguente:

	Fattore di emissione F PM tot	Fattore di emissione F PM 10
Normale	15,56 kg/km	0,89 kg/km
Post-innaffiamento	2,01 kg/km	0,19 kg/km

L'indicatore dell'attività (A) è rappresentato dai chilometri percorsi dai veicoli circolanti sulle aree non pavimentate in un ora. Tale valore viene calcolato a partire dalla stima del numero medio di mezzi circolanti sulle aree non pavimentate del cantiere in un ora di lavoro e dalla stima del numero medio di chilometri percorsi nello stesso intervallo di tempo dagli stessi.

Si evidenzia come la bagnatura delle piste e dei piazzali possa comportare una riduzione dell'emissione di polveri totali di oltre il 87% e di fini (PM10) di oltre il 78%: tale intervento assume quindi un'importanza sostanziale al fine di prevenire la diffusione di polveri all'esterno delle aree di cantiere.

11.3.6 Traffico veicolare nelle aree pavimentate

La formula empirica impiegata per stimare le emissioni di polvere in questo caso è la seguente:

$$F = k(sL/2)^{0.65}(W/3)^{1.5} \qquad (kg/km)$$

(AP-42 Fifth Edition, Volume I, Chapter 13, 13.2.1 Paved Roads)

dove

W= peso medio dei mezzi di cantiere che percorrono le aree considerate (t)

sL= contenuto di limo dello strato superficiale delle aree pavimentate percorse dai mezzi (g/m^2)

k= costante moltiplicativa variabile in funzione della dimensione delle particelle:

k= 0,024 per PM tot

k= 0,0046 per PM-10

Come per le aree non pavimentate, il peso medio dei mezzi (carichi in entrata e scarichi in uscita o viceversa) è assunto pari a 16 tonnellate; il contenuto di limo è assunto, per le strade pavimentate, pari a 5 g/m^2 in assenza di innaffiamento e pari a 1 g/m^2 in caso di bagnatura della strada. Il valore del fattore di emissione risultante nelle due situazioni è specificato nella tabella seguente:

Condizione	Fattore di emissione F PM tot	Fattore di emissione F PM 10
Normale	0,54 kg/km	0,1 kg/km
Post-innaffiamento	0,19 kg/km	0,04 kg/km

L'indicatore dell'attività (A) è rappresentato dai chilometri percorsi dai veicoli circolanti sulle aree pavimentate in un'ora. Tale valore viene calcolato a partire dalla stima del numero medio di mezzi circolanti sulle aree pavimentate del cantiere in un ora di lavoro e dalla stima del numero medio di chilometri percorsi nello stesso intervallo di tempo dagli stessi.

Si evidenzia come la bagnatura della sede stradale possa comportare una riduzione dell'emissione di polveri totali e di fini di oltre il 60%: tale intervento assume quindi un'importanza sostanziale al fine di prevenire la diffusione di polveri all'esterno delle aree di cantiere.

11.3.7 Sintesi degli impatti e misure di mitigazione

La descrizione delle sorgenti e dei fattori di emissione riportata nei paragrafi precedenti consente di concludere che:

- non è possibile definire quantitativamente degli indicatori di polverosità che consentano di valutare l'impatto sui singoli ricettori: il processo di sollevamento e trasporto delle particelle fini dipende infatti da numerose variabili indefinite;
- i ricettori che maggiormente subiscono l'impatto relativamente alla componente ambientale in esame sono costituiti dai ricettori collocati in prossimità delle aree di lavoro dove si svolgono lavorazioni di movimento terra, delle aree di stoccaggio che ospitano cumuli di inerti e delle viabilità percorse dai mezzi di cantiere;
- per ridurre la diffusione delle polveri e quindi mitigarne l'impatto ambientale è possibile intervenire mediante specifiche procedure operative, consistenti in interventi di umidificazione del materiale.

Nel seguito sono illustrate le prescrizioni operative e gestionali finalizzate alla riduzione preventiva dell'impatto degli inquinanti atmosferici prodotti dalle attività di costruzione e di cantiere. La corretta esecuzione delle misure di mitigazione, nel caso della componente in oggetto, consente un ridimensionamento dell'impatto specifico, con particolare riferimento alle polveri, di fattori dell'ordine dell'80% e oltre.

La definizione delle misure da adottare per la mitigazione degli impatti generati dalle polveri sui ricettori circostanti le aree di cantiere e di lavoro è stata basata sul criterio di impedire il più possibile la fuoriuscita delle polveri dalle stesse aree e, ove ciò non riesca, di trattenerle al suolo impedendone il sollevamento.

Le opere di mitigazione previste consistono sostanzialmente in:

- barriere fisiche sul perimetro dei cantieri fissi e del fronte di avanzamento lavori, disposte in particolare in corrispondenza dei ricettori fronteggianti i cantieri. Le barriere lungo il fronte avanzamento lavori sono costituite dalle stesse barriere antirumore mobili, di cui è prevista l'installazione in tutte le aree lungo il cantiere mobile in cui vi siano ricettori a carattere residenziale a distanza ridotta dalla linea ferroviaria e ove gli spazi consentano l'interposizione di una barriera;
- bagnatura mediante autobotti delle piste, dei piazzali e spazzolatura ad umido delle strade esterne impiegate dai mezzi di cantiere, finalizzate ad impedire il sollevamento delle particelle di polvere da parte delle ruote dei mezzi e a legare al suolo o, nel caso della spazzolatura, a rimuovere le particelle di fini. Tale intervento sarà effettuato in maniera sistematica con frequenza variabile, sulla base anche della fase di lavoro e tenendo conto del periodo stagionale con incremento della frequenza delle bagnature durante la stagione estiva. Si osserva che l'efficacia del controllo delle polveri con acqua dipende essenzialmente dalla frequenza con cui lo stesso viene applicato;
- installazione di un impianto per lavaggio ruote dei mezzi presso l'uscita di ciascuno dei cantieri operativi e dei cantieri di imbocco galleria. L'impianto di lavaggio ruote consiste in una vasca con ugelli che emettono acqua in pressione in cui vengono fatti transitare i mezzi di cantiere al fine di prevenire la diffusione di polveri, come pure l'imbrattamento della sede stradale all'esterno del cantiere;
- adeguata pavimentazione del piazzale dei cantieri operativi.

Le procedure operative da attuare al fine di limitare la polverosità comprendono essenzialmente quanto segue:

- i mezzi di cantiere destinati alla movimentazione delle terre da scavo dovranno essere coperti con teli adeguati aventi caratteristiche di resistenza allo strappo e di impermeabilità;

- al fine di evitare il sollevamento delle polveri all'interno delle aree di cantiere e lungo le piste gli automezzi dovranno viaggiare a velocità ridotta;
- particolare attenzione dovrà essere posta alla modalità ed ai tempi di carico e scarico del terreno;
- le ruote dei mezzi dovranno essere lavate nell'apposita vasca di lavaggio ad ogni viaggio in uscita dal cantiere;
- gli autocarri dovranno essere lavati giornalmente presso la vasca di lavaggio;
- le aree eventualmente destinate allo stoccaggio di terreno vegetale dovranno essere bagnate o in alternativa coperte al fine di evitare il sollevamento delle polveri;
- durante le attività di demolizione di fabbricati o strutture di qualsivoglia tipo si dovrà procedere ad abbondante irrorazione con acqua dirigendo i getti in corrispondenza dei punti di attività dei macchinari di demolizione in maniera da abbattere le polveri che si generano dalla lavorazione.

Relativamente agli altri inquinanti emessi dai mezzi di trasporto, questi dovranno essere preferibilmente nuovi e sottoposti a continua manutenzione; particolare attenzione dovrà essere posta alla tipologia e manutenzione dei filtri di scarico anche in relazione alla diminuzione dell'inquinamento acustico.

11.4 Percezione da parte degli stakeholder

Il problema delle polveri prodotte durante la fase di cantiere è un aspetto a cui sono molto sensibili le comunità locali. Ciò dipende principalmente da due fattori:

- gli ambiti spaziali interessati dai fenomeni di dispersione e di sedimentazione del materiale particolato sono sovente rappresentati da aree urbanizzate o coltivate, dove è possibile che si manifestino problemi sanitari in soggetti sensibili o predisposti o danni materiali;
- la dispersione e la sedimentazione di polveri hanno effetti vistosi e immediatamente rilevabili dalla popolazione, trattandosi di fenomeni visibili e che hanno la possibilità di arrecare disturbi diretti agli abitanti (deposito di polvere sui balconi, sui prati, sulle piante da frutto, sulle aree coltivate, etc.).

Le parti esterne coinvolte saranno quindi costituite, oltre agli enti preposti alla tutela del territorio, dai cittadini residenti nell'area, ma anche dagli agricoltori aventi terreni coltivati in prossimità delle aree di cantiere.

12 RUMORE

12.1 Riferimenti legislativi

Per i riferimenti legislativi si rimanda al capitolo 4.1.

12.2 Valutazione delle interferenze e degli interventi di mitigazione

12.2.1 Caratterizzazione acustica dei cantieri fissi

Le tipologie di cantieri previsti, la loro localizzazione, i macchinari e gli impianti presenti al loro interno sono descritti nell'ambito del Quadro di Riferimento Progettuale. Lo scenario di cantierizzazione ivi descritto costituisce il riferimento per le analisi acustiche presentate di seguito.

La caratterizzazione acustica dei cantieri è stata fatta sulla base delle seguenti ipotesi preliminari circa il loro funzionamento:

- le aree tecniche, le aree di stoccaggio ed i cantieri di armamento saranno attivi esclusivamente in periodo diurno;
- i cantieri di galleria saranno attivi 24 ore su 24;
- i cantieri operativi saranno attivi principalmente in periodo diurno, ad eccezione di quelli che svolgono attività di supporto ai cantieri di galleria (come ad esempio il confezionamento del calcestruzzo), che dovranno essere quindi anch'essi attivi 24 ore su 24.

I campi base possono essere assimilati ad aree residenziali (essi ospitano infatti principalmente uffici, dormitori e mense) con attività a basso impatto acustico, che possono essere considerate trascurabili.

Nelle tabelle seguenti sono illustrati i dati identificativi, ai fini della caratterizzazione acustica, di ciascuna delle tipologie di cantiere considerate, comprendenti:

- la natura della sorgente di rumore (macchinario od impianto fisso);
- la potenza sonora attribuita alla sorgente (cfr. paragrafo successivo);
- il numero di macchinari ipotizzati all'interno del cantiere;
- il periodo di attività di ciascun macchinario all'interno del cantiere;
- la percentuale di impiego;
- la potenza sonora complessiva, ottenuta moltiplicando il valore della potenza sonora di ciascuna sorgente per il numero di sorgenti presenti;
- infine, nell'ultima colonna, la potenza sonora risultante attribuibile al singolo cantiere, ovvero, in altre parole, il valore della sorgente equivalente impiegata nelle analisi per rappresentare il cantiere.

Poiché la definizione del numero di macchinari non è in questa fase un dato certo, né tantomeno lo è la potenza sonora dei macchinari (che dipende dal modello, dallo stato di manutenzione, dalle condizioni d'uso, ecc.), si è operato in maniera quanto più realistica possibile nel ricostruire i vari scenari, con ipotesi adeguatamente cautelative.

Macchinari	Lw	Numero	Ore DAY	Ore NIGHT	% Impiego	Lw DAY	Lw NIGHT
Officina	90.0	1	10	0	100%	88.0	0.0
Impianto betonaggio	117.8	1	16	8	100%	117.8	117.8
Impianto trattamento acque di scarico	102.1	1	16	8	100%	102.1	102.1
Autocarro (regime medio)	106.1	100	0.06	0.03	100%	101.5	101.5
Autovetture/furgoni	97.7	60	0.02	0.01	80%	85.9	85.9
Autogru	110.0	1	8	0	20%	100.0	0.0
Pala meccanica cingolata	113.9	1	8	0	20%	103.9	0.0
Carrello elevatore	104.6	1	10	0	60%	100.3	0.0
TOTALE						**118.3**	**118.0**

Tab. 12.1 -Cantieri Operativi

Macchinari	Lw	Numero	Ore DAY	Ore NIGHT	% Impiego	Lw DAY	Lw NIGHT
Impianto di ventilazione per galleria	113.9	1	16	8	100%	113.9	113.9
Impianto trattamento acque di scarico	102.1	1	16	8	100%	102.1	102.1
Autocarro (regime medio)	106.1	120	0.06	0.03	100%	102.3	102.3
Autovetture/furgoni	97.7	20	0.02	0.01	80%	81.2	81.2
Autogru	110.0	1	16	8	20%	103.0	103.0
Pala meccanica cingolata	113.9	1	16	8	20%	106.9	106.9
Carrello elevatore	104.6	1	16	8	20%	97.6	97.6
TOTALE						**115.5**	**115.5**

Tab. 12.2 -Cantieri Imbocco Galleria

Macchinari	Lw	Numero	Ore DAY	Ore NIGHT	% Impiego	Lw DAY	Lw NIGHT
Autocarro (regime medio)	106.1	50	0.25	0	100%	105.0	-
Escavatore Cingolato	109.7	1	10	0	50%	104.6	-
Autogru	110.0	1	10	0	50%	104.9	-
TOTALE						**109.6**	-

Tab. 12.3 - Aree Tecniche

Macchinari	Lw	Numero	Ore DAY	Ore NIGHT	% Impiego	Lw DAY	Lw NIGHT
Autocarro (regime medio)	106.1	60	0.17	0	100%	104.1	-
Pala meccanica gommata	107.4	1	10	0	60%	103.1	-
TOTALE						**106.6**	-

Tab. 12.4 - Aree di Stoccaggio

Macchinari	Lw	Numero	Ore DAY	Ore NIGHT	% Impiego	Lw DAY	Lw NIGHT
Motrice Diesel	114.0	2	10	0	20%	108.0	-
Autocarro (regime medio)	106.1	30	0.25	0.00	100%	102.8	-
Autovetture/furgoni	97.7	30	0.03	0.00	80%	84.7	-
Autogru	110.0	1	10	0	40%	104.0	-
Escavatore Ruota - Rotaia	106.0	1	10	0	40%	100.0	-
TOTALE						**110.7**	-

Tab. 12.5 -Cantieri di Armamento

Per quanto riguarda i Cantieri Operativi ed i cantieri di Imbocco Galleria, per i quali si prevedono anche orari di funzionamento notturni, si ritiene opportuno segnalare che gli impianti di Betonaggio e gli impianti di Ventilazione possono essere efficacemente silenziati, in modo da ottenere una significativa riduzione delle emissioni acustiche in particolare nelle situazioni in cui la vicinanza di ricettori lo richiede.

Cantiere	Cantieri non silenziati		Cantieri con Betonaggio e Ventilatore silenziati	
	Lw DAY	Lw NIGHT	Lw DAY	Lw NIGHT
Cantiere Operativo	118.3	118.0	110.4	108.1
Cantiere di galleria	115.5	115.5	110.7	110.7

Tab. 12.6 -Confronto tra cantieri standard e cantieri con macchinari silenziati

12.2.2 Caratterizzazione acustica del cantiere mobile

Il cantiere mobile è costituito dall'area di lavoro che avanza lungo il tracciato per la realizzazione della sede ferroviaria. Nel caso analizzato questa si trova praticamente sempre, nella tratta urbanizzata all'aperto, in rilevato in affiancamento alla sede esistente. Mentre gli altri cantieri possono essere considerati ai fini qui analizzati come sorgenti di rumore stazionarie per l'intera durata dei lavori, il cantiere mobile si sposta invece nello spazio. Di conseguenza, il rumore da esso generato interessa il singolo ricettore per una durata di tempo piuttosto limitata (per la costruzione della sede in rilevato si può parlare di un tempo compreso tra qualche giorno e qualche settimana) e legata all'avanzamento dei lavori.

La tabella seguente illustra la caratterizzazione acustica del fronte di avanzamento lavori per la costruzione della sede ferroviaria in rilevato, per il quale si ipotizza che le lavorazioni si svolgano unicamente nel periodo diurno.

Macchinari	Lw	Numero	Ore DAY	Ore NIGHT	% Impiego	Lw DAY	Lw NIGHT
Grader	112.4	1	8	0	100%	109.4	-
Autocarro (regime medio)	106.0	1	0.25	0	100%	102.7	-
Pala Meccanica Cingolata	113.9	1	8	0	100%	110.9	-
Rullo Compressore	112.8	1	8	0	100%	109.8	-
TOTALE						**115.1**	**-**

Tab. 12.7 -Cantiere Mobile Fronte Avanzamento Lavori (FAL)

12.2.3 Potenze sonore dei macchinari impiegati

Nella tabella seguente sono riportate le potenze sonore considerate per la caratterizzazione dei macchinari presenti nelle aree di cantiere. I dati di potenza sonora sono in larga parte ricavati dal rapporto "Conoscere per Prevenire n°11 – La valutazione dell'inquinamento acustico prodotto dai cantieri edili", redatto dal Comitato Paritetico Territoriale per la prevenzione infortuni, l'igiene e l'ambiente di lavoro di Torino e Provincia (Nel seguito "C.P.T. Torino") e sono stati integrati con alcune misure svolte in cantieri analoghi o, in mancanza di esse, con dati dichiarati dal costruttore o da valori massimi prescritti dalla normativa (D. Lgs. 262/2002).

Macchinario	Lw [dB(A)]	Fonte
Impianto di condizionamento	65.0	Daikin RZQ100CV1/BW1 (dato targa)
Autovetture/furgoni	97.7	Valore adottato in analoghi studi di cantierizzazione
Impianto betonaggio	117.8	C.P.T. Torino - Massimo valore
Impianto betonaggio silenziato	105.3	Misura diretta cantieri CAVET
Autocarro (regime medio)	106.1	C.P.T. Torino - Media macchine
Pala meccanica gommata	107.4	C.P.T. Torino - Media macchine
Pala meccanica cingolata	113.9	C.P.T. Torino - Media macchine
Escavatore Cingolato	109.7	C.P.T. Torino - Media macchine
Officina	90.0	Misura diretta cantieri CAVET
Impianto trattamento acque di scarico	102.1	Misura diretta cantiere TAV Firenze 2002
Motrice Diesel	114.0	Misura diretta cantiere TAV Firenze 2002
Autogru	110.0	C.P.T. Torino - Media macchine
Impianto di ventilazione per galleria	113.9	Zitron 35 Kw - Misura cantiere Castelnuovo Garfagnana 2007
Impianto di ventilazione per galleria Silenziato	99.4	Misura Cantiere Cavet 2002
Carrello Elevatore	104.6	C.P.T. Torino - Media macchine
Carrelli Ferroviari a Motore	114.0	Motrice Diesel, Misura diretta cantiere TAV Firenze 2002
Escavatore Ruota - Rotaia	106.0	Colmar T10000 FS - Dato targa costruttore

Tab. 12.8 - Potenza acustica dei macchinari considerati nello studio

Tra le strutture ed impianti presenti nei cantieri si ritengono trascurabili, come sorgenti di rumore, le cabine elettriche, i magazzini, gli spogliatoi e servizi igienici.

12.2.4 Metodologia di valutazione dell'impatto

In questa fase di progettazione preliminare sono state individuate le aree di cantiere ma non è possibile definire in dettaglio la conformazione planoaltimetrica dei cantieri e la localizzazione al loro interno dei macchinari; anche il numero di macchinari e gli orari di funzionamento potranno subire variazioni in seguito ad una definizione più dettagliata delle esigenze di cantierizzazione, che potrà essere però svolta solo dall'impresa costruttrice, sulla base della propria specifica organizzazione.

Inoltre, allo stato attuale, tutti i comuni interferiti dal tracciato non sono dotati di classificazione acustica, ma è molto probabile che nei prossimi anni questo strumento di pianificazione sia adottato, con conseguente ridefinizione dei limiti di riferimento per le attività di cantiere che sono assimilabili a sorgenti industriali.

Con le suddette premesse, e stante le numerose carenze di dati ed informazioni legate alla fase progettuale preliminare, si è ritenuto opportuno affrontare lo studio di impatto della cantierizzazione in base a sezioni tipologiche semplificate in cui si illustra il rumore circostante il cantiere sul territorio in assenza di ostacoli significativi alla propagazione del suono. Lo scopo dello studio è quindi quello di verificare le situazioni di criticità prossime alle aree di cantiere, mentre si rimanda forzatamente alle successive fasi progettuali per una definzione di dettaglio degli interventi di mitigazione acustica, che non potranno essere disgiunti dallo studio dell'organizzazione del layout interno del cantiere, come specificato anche nel seguito, oltre che correlati alle modalità operative preventivate nel cronoprogramma di progetto (con particolare riferimento alle sovrapposizioni di lavorazioni in aree vicine).

È stata quindi predisposta una sezione tipologia per ogni tipologia di cantiere fisso, ponendosi come obiettivo il rispetto dei limiti di classe IV: 65 dB(A) in periodo diurno e 55 dB(A) in periodo notturno. Per quanto riguarda il cantiere mobile, data la natura temporanea delle lavorazioni, ci si pone invece l'obiettivo di rispettare il limite di 70 dB(A) per poter accedere alle autorizzazioni in deroga durante il periodo di riferimento diurno.

Le simulazioni acustiche sono state eseguite utilizzando lo standard di riferimento ISO 9613-2, con condizioni meteorologiche standard.

12.2.5 Stima dell'impatto acustico dei cantieri fissi

Per la simulazione del rumore generato dai cantieri operativi la potenza sonora dei macchinari è stata assegnata ad una sorgente acustica areale di 50 metri di lunghezza per 50 metri di larghezza, posta a 2 metri di altezza sul piano di campagna. Come mostrato nella immagine seguente, in configurazione non silenziata i cantieri operativi possono determinare una vasta area con livelli di pressione sonora superiori a 55 dB(A), che, soprattutto in periodo notturno, non può essere considerata accettabile in presenza di ricettori residenziali.

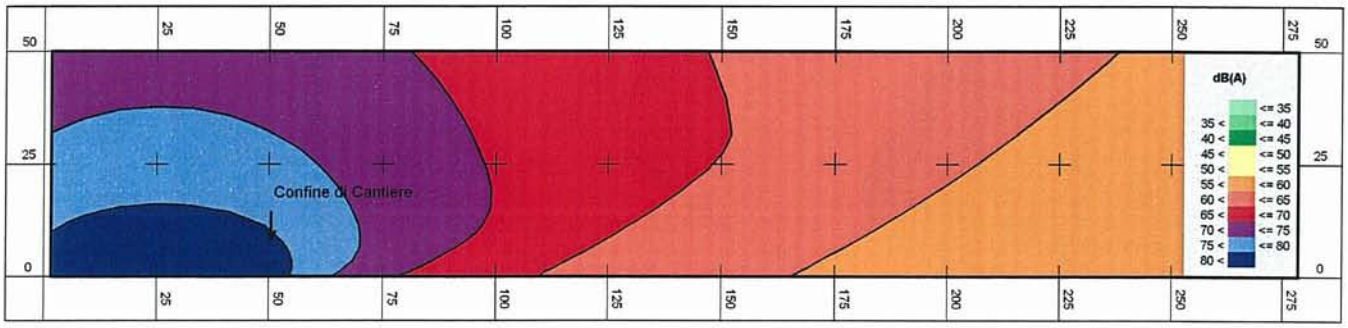


Fig. 12.1 - Sezione Isofonica Cantiere Operativo

Adottando un impianto di betonaggio silenziato e prevedendo una barriera di altezza pari a 5 metri lungo il confine del cantiere, i livelli di pressione sonora possono essere contenuti entro i 65 dB(A) appena fuori dal confine di cantiere in periodo diurno ed entro i 55 dB(A) a 25 metri dal confine di cantiere in periodo notturno, come illustrato nelle figure seguenti. Ovviamente le isofoniche mostrano come il livello si attesti su valori più alti via via che ci si allontana dal suolo, tuttavia, anche per edifici di 2-3 piani, le mitigazioni risultano completamente efficaci già a 50 metri di distanza dal confine di cantiere.

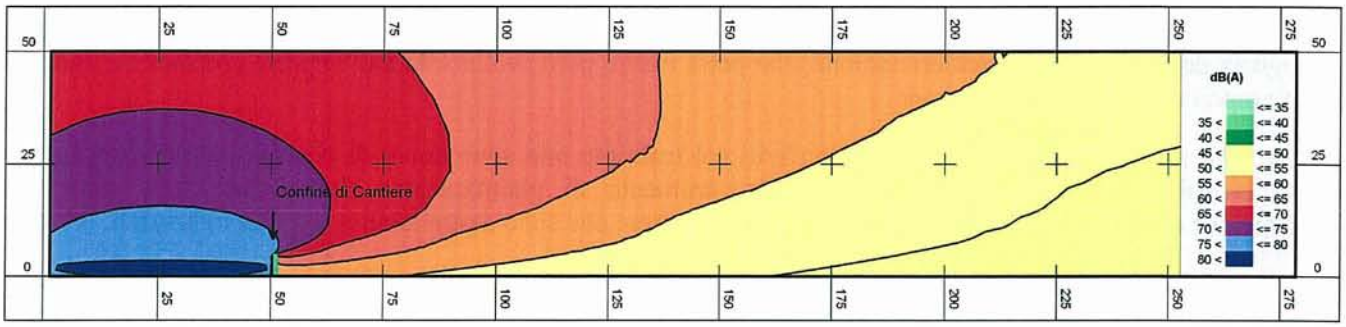


Fig. 12.2 – Sezione Isofonica Cantiere Operativo silenziato, con barriera (DAY)

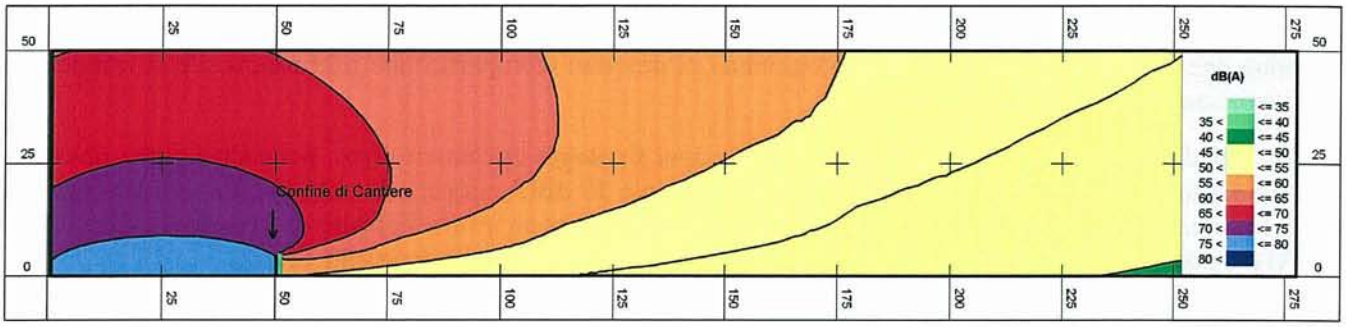


Fig. 12.3 – Sezione Isofonica Cantiere Operativo silenziato, con barriera (NIGHT)

La stessa configurazione geometrica adottata per i cantieri operativi è stata predisposta per i cantieri di imbocco galleria, generalmente localizzati in aree scarsamente antropizzate. Anche in questo caso, come per i cantieri operativi, il cantiere non silenziato determina vaste aree con livelli di pressione sonora superiori ai limiti di accettabilità, anche in considerazione del fatto che i cantieri di galleria lavorano 24 ore su 24 senza soluzione di continuità.

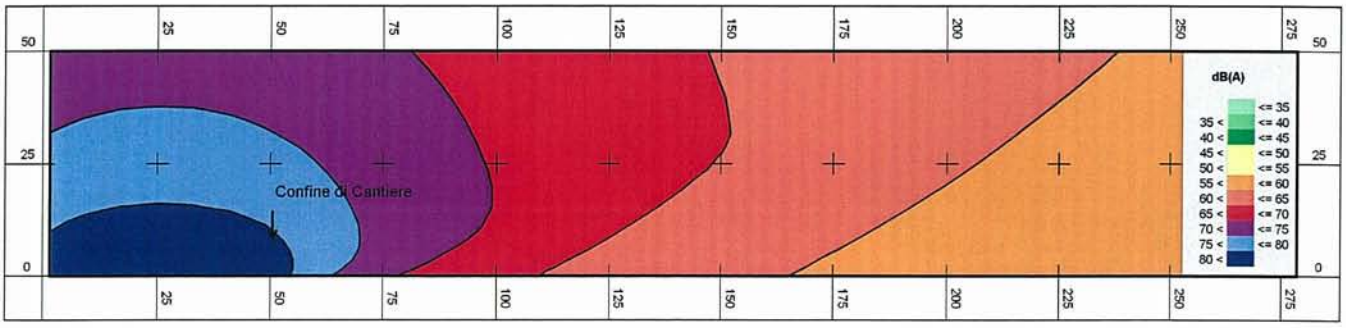


Fig. 12.4 – Sezione Isofonica Cantiere Imbocco Galleria (DAY/NIGHT)

Si ritiene opportuna quindi la adozione di ventilatori di galleria silenziati in tutti i cantieri, anche in assenza di edifici residenziali, come misura generale di mitigazione ambientale.

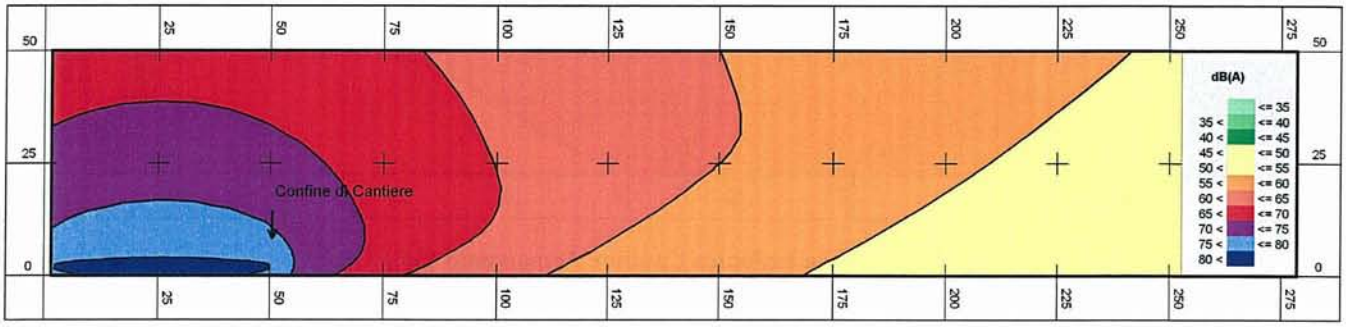


Fig. 12.5 – Sezione Isofonica Cantiere Imbocco Galleria silenziato (DAY/NIGHT)

Come illustrato nella sezione precedente, l'utilizzo del silenziatore consente di contenere i livelli di pressione sonora entro i 55 dB(A) a circa 125 metri dal confine di cantiere. In situazioni di particolare antropizzazione, le mitigazioni acustiche sulle sorgenti saranno integrate con la adozione di barriere antirumore, che consentono di scendere sotto i 55 dB(A) già a 50 metri dal confine di cantiere.

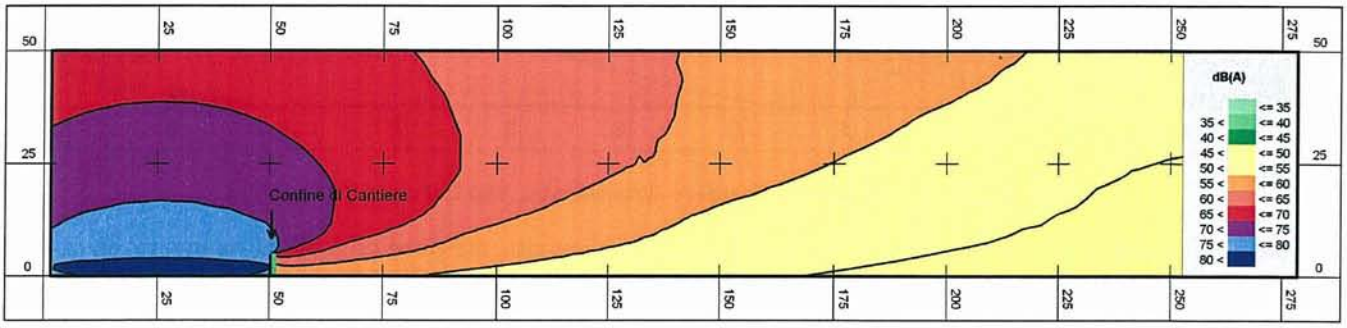


Fig. 12.6 – Sezione Isofonica Cantiere Imbocco Galleria silenziato, con barriera (DAY/NIGHT)

Naturalmente, in particolar modo per i cantieri di imbocco galleria, in fase definitiva il posizionamento del ventilatore, degli altri macchinari fissi e delle barriere antirumore dovrà tenere conto della posizione dei ricettori e della orografia del territorio.

I restanti cantieri fissi (armamento, aree tecniche e aree di stoccaggio) lavoreranno esclusivamente in periodo di riferimento diurno, in situazioni quindi meno critiche per i ricettori residenziali.

I cantieri di armamento risultano i più problematici, essendo caratterizzati da un livello di potenza sonora più alto ed essendo per lo più posizionati in aree di stazione, a stretto contatto con zone antropizzate. In questo caso si è scelta per le simulazioni tipologiche una configurazione geometrica piana con sorgente areale di dimensioni pari a 100 m di lunghezza e 25 m di larghezza, ad una altezza di 2 metri sul piano di campagna; tale configurazione rispecchia più fedelmente la geometria stretta e lunga dei cantieri di armamento.

Come illustrato nella sezione seguente, già a 50 metri dal confine di cantiere il livello di pressione sonora scende sotto i 65 dB(A), in situazioni di edificato che generalmente si trovano a ridosso della linea ferroviaria e quindi nella fascia di pertinenza A per quanto riguarda il rumore proveniente dai treni in esercizio.

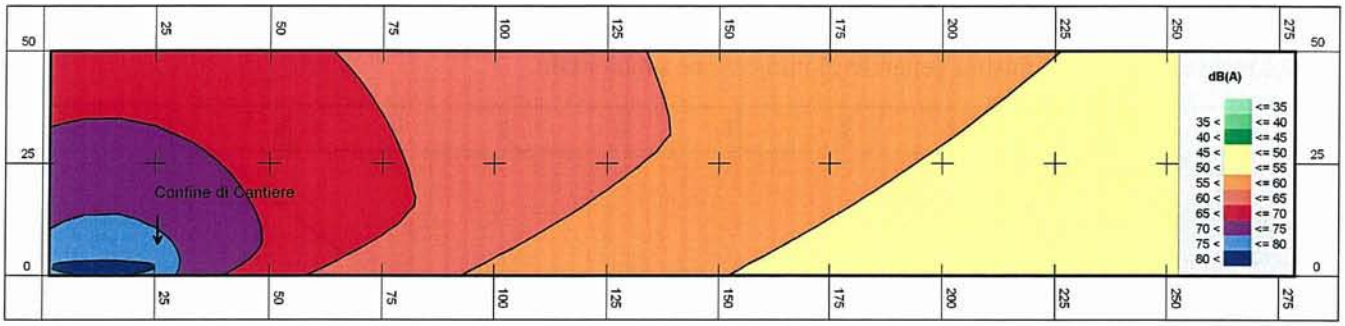


Fig. 12.7 – Sezione Isofonica Cantiere Armamento (Solo DAY)

Volendo intervenire per ridurre il livello di pressione sonora ai ricettori, è possibile adottare barriere di cantiere di altezza massima pari a 5 metri (come illustrato nella sezione seguente).

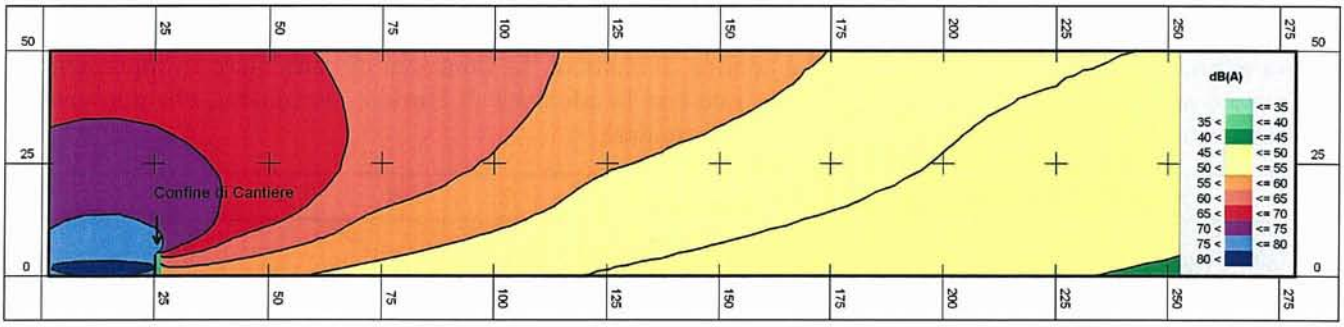


Fig. 12.8 – Sezione Isofonica Cantiere Armamento, con barriere (Solo DAY)

Per quanto riguarda le aree di stoccaggio la situazione appare generalmente poco critica, dal momento che il livello di pressione sonora scende sotto i 65 dB(A) gia nei primi 25 metri dal confine di cantiere, come illustrato nella sezione seguente. Va detto inoltre che tali aree dono destinate nel caso in esame allo stoccaggio delle terre e che efficaci barriere antirumore possono essere realizzate senza costo con valli di terra di adeguata altezza disposti sul perimetro dell'area.

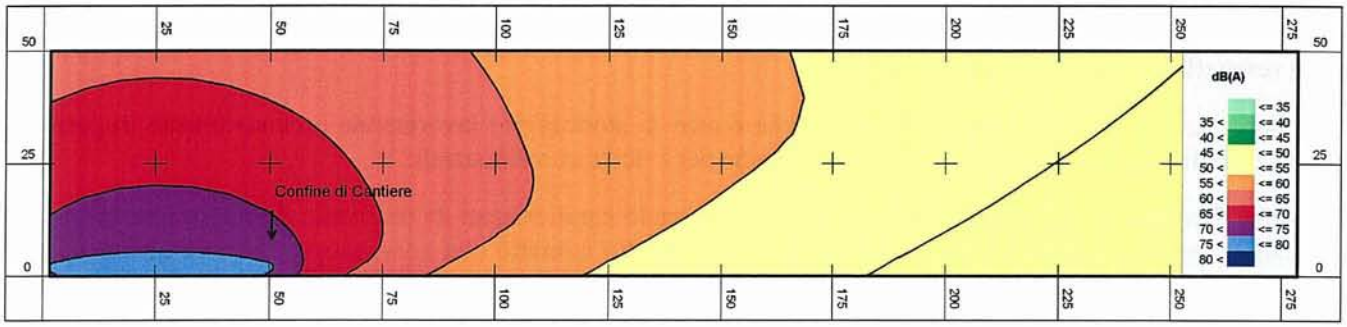


Fig. 12.9 – Sezione Isofonica Area Stoccaggio (Solo DAY)

Infine, per le aree tecniche, è stata considerata la forma stretta ed allungata delle stesse e si è quindi scelto una configurazione geometrica piana con sorgente areale di dimensioni pari a 100 m di lunghezza e 15 m di larghezza, ad una altezza di 2 metri sul piano di campagna.

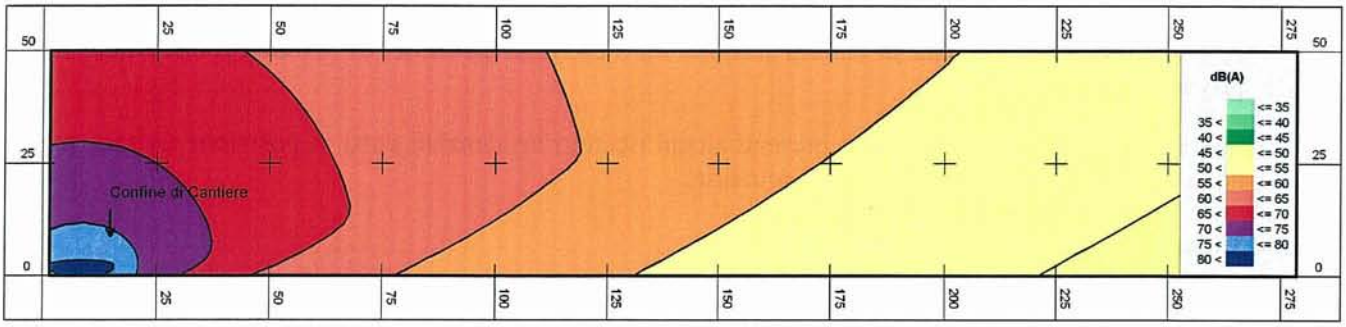


Fig. 12.10 – Sezione Isofonica Area Tecnica (Solo DAY)

In questo caso il livello di pressione sonora scende sotto i 65 dB(A) diurni a circa 50 metri dal confine di cantiere, e quindi, considerando la esigua dimensione delle aree tecniche, le porzioni di territorio impattate da livelli di pressione sonora significativi risultano piuttosto contenute.

I risultati delle simulazioni effettuate con l'appproccio sopra descritto sono presentati in planimetria in Allegato 4 tramite l'illustrazione delle isolinee di livello sonoro.

Ai fini di confronto con i limiti di normativa nele figure in Allegatc 4 sono riportate le isolinee fino al valore di 65 dBA per i cantieri in cui si svolgeranno solo attività diurne e fino a 55 dBA per i cantieri in cui si svolgeranno anche attività notturne. Sulle stesse figure sono indicati i ricettori con relativa numerazione.

Dall'analisi delle figure si deriva che vi sono diverse situazioni di superamento dei limiti sopra indicati; queste riguardano in particolare i seguenti cantieri:

- area di stoccaggio AS02-F1: presenza di un ricettore residenziale (abitazione monofamiliare) in prossimità del perimetro dell'area di cantiere;
- cantiere d'armamento CA01-F2: presenza di ricettori residenziali sia a sud che a nord dell'area di cantiere;
- cantiere d'armamento CA02-F2: presenza di ricettori residenziali a nord dell'area di cantiere;
- cantiere d'armamento CA03-F1-F2: presenza di ricettori residenziali a sud dell'area di cantiere, in posizione ribassata rispetto ad essa;
- cantiere d'armamento CA04-F2-F6: presenza di ricettori residenziali a monte dello scalo di Aurisina, in posizione rialzata per la presenza di una scarpata morfologica;
- cantiere di imbocco galleria CG02-F1: presenza di ricettori residenziali a sud del cantiere, separati dallo stesso cantiere dalla linea ferroviaria esistente, ed in posizione ribassata rispetto a questa;
- cantiere di imbocco galleria CG06-F2: presenza di ricettori residenziali del centro abitato di Sablici;
- cantiere di imbocco galleria CG10-F6: presenza di numerosi ricettori residenziali, oltre che di una scuola, ospitata nel castello Geiringer;
- cantiere operativo CO02-F1-F2: presenza di numerosi ricettori residenziali e dell'ospedale di Monfalcone;
- cantiere operativo CO03-F2: presenza di ricettori residenziali in corrispondenza dell'abitato di Sablici;

- cantiere operativo CO05-F2-F6: presenza di ricettori residenziali in prevalenza a nord della stazione di Aurisina (i ricettori presenti in ambito stazione sono costituiti da edifici di pertinenza ferroviaria ceduti a privati);
- cantiere operativo CO06-F6: sono presenti alcuni ricettori residenziali posti in posizione rialzata, a monte della linea di cintura e di una viabilità primaria.

12.2.6 Stima di impatto del cantiere mobile

Come indicato in precedenza, il fronte di avanzamento lavori lungo la linea ferroviaria sottopone i ricettori ad emissioni rumorose limitate nel tempo: tipicamente, il ricettore registrerà un aumento del rumore con l'avvicinarsi del cantiere mobile, sarà esposto alla fase acuta per pochi giorni, e poi il rumore scenderà a mano a mano che il cantiere si allontana lungo la linea.

Gli interventi di mitigazione acustica mediante schermi antirumore sono di difficile realizzazione lungo il cantiere mobile, per i seguenti motivi:

- nella fase di costruzione della linea deve essere permessa la manovra dei mezzi pesanti e dei macchinari di servizio;
- le sorgenti di rumore non sono sempre poste alla stessa quota;
- a seconda delle attività svolte e delle difficoltà incontrate, in certi tratti il cantiere potrebbe avanzare molto velocemente, in altri tratti più lentamente;
- nei tratti urbani la linea ferroviaria si sviluppa generalmente molto a ridosso dei ricettori, e l'efficacia delle barriere è dunque limitata ai piani bassi degli edifici;
- l'inseerimento di barriere antirumore comporta l'occupazione di un'area aggiuntiva rispetto al sedime dell'opera ed alle eventuali piste di cantiere, e laddove i ricettori sono molto prossimi all'area di lavoro gli spazi a disposizione possono non essere sufficieenti.

Tuttavia, ove le caratteristiche del cantiere lo consentano, sarà valutata la possibilità di mitigare l'impatto acustico mediante barriere mobili, da posizionare di volta in volta a protezione dei ricettori più esposti, e da spostare insieme al fronte di avanzamento lavori.

Per capire l'impatto delle lavorazioni a diverse distanze dal confine di cantiere, e a diverse altezze sul piano campagna, è stata eseguita una simulazione schematica in sezione per lo scenario di costruzione del rilevato. La simulazione consente di stimare i livelli di pressione sonora fino ad una altezza di 25 metri e fino a una distanza di 75 metri dall'area di cantiere.

Poiché le sorgenti di rumore non sono fisse ma verranno di volta in volta spostate seguendo l'avanzamento del cantiere, non si è ritenuto opportuno inserire nel modello di calcolo la geometria completa del sito di intervento per poi posizionare le sorgenti di rumore in un punto arbitrario. Si è invece scelto, come già indicato, di introdurre una geometria semplificata, che simuli una sezione tipo durante l'avanzamento del cantiere, in modo da poter posizionare sulla stessa di volta in volta i ricettori in corrispondenza della sezione su cui si sta lavorando, ed ottenere così una stima del rumore in corrispondenza delle attività più gravose negli edifici più esposti.

Sono state dunque posizionate le sorgenti di rumore indicate in tabella 12.8 al di sopra del rilevato in costruzione (ipotizzato di sezione pari a 20 metri ed analizzato in due configurazioni tipo, con altezza rispettivamente pari a 0,5 m e a 1,5 m sul piano campagna circostante) su uno sviluppo lineare di circa 40 metri. E`stata quindi eseguita una simulazione acustica in sezione, utilizzando il metodo di propagazione conforme alla norma ISO9613 in condizioni meteorologiche standard.

Come evidenziato nelle figure seguenti, si prevedono livelli di pressione sonora superiori a 70 dB(A) presso tutti i ricettori posti ad una distanza inferiore a 50 metri dall'asse del rilevato; tale distanza aumenta fino a 70 metri in corrispondenza dei piani più alti.

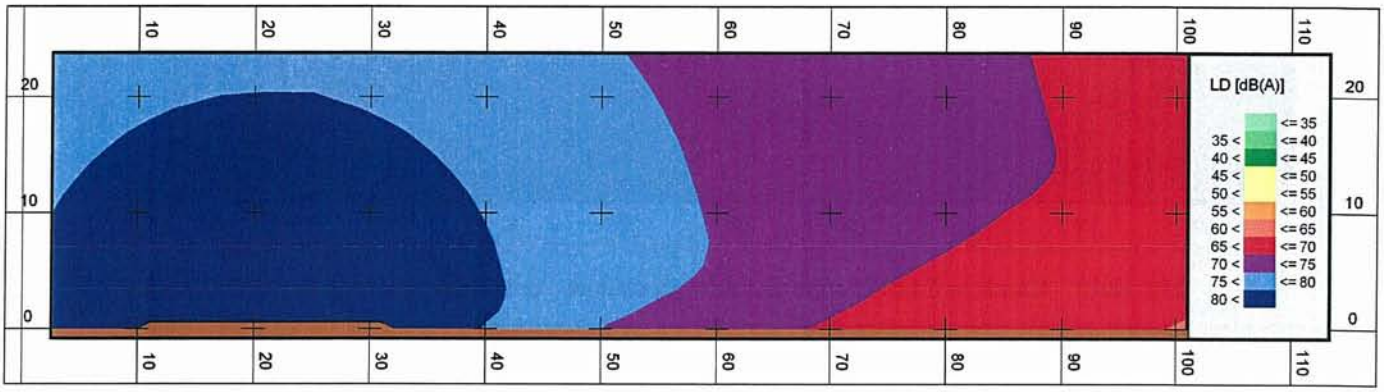


Fig. 12.11 – Cantiere FAL: Mappa isofonica in sezione – ante mitigazione – rilevato H=0,5 m

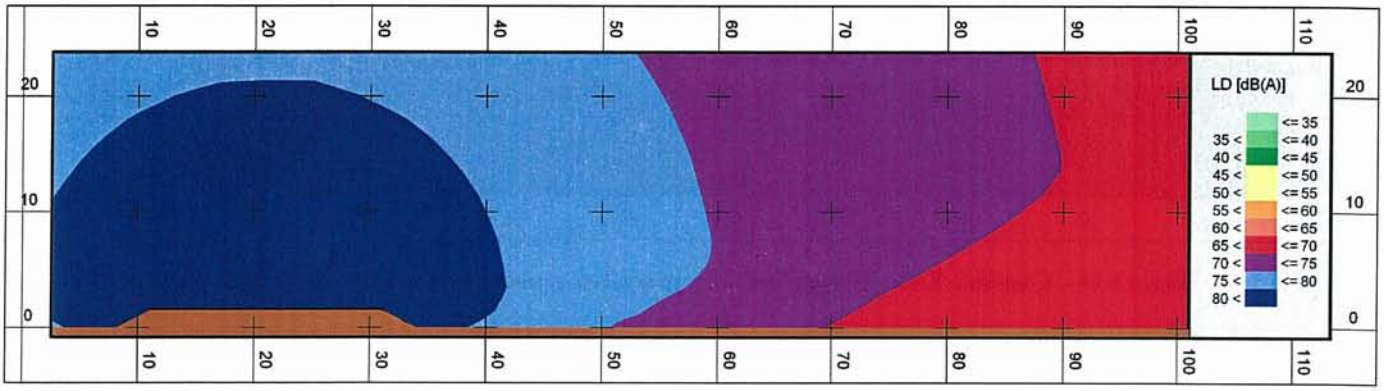


Fig. 12.12 – Cantiere FAL: Mappa isofonica in sezione – ante mitigazione – rilevato H=1,5 m

Predisponendo una barriera di cantiere di altezza pari a 5 metri (la massima altezza disponibile sul mercato per barriere mobili adatte a questo tipo di applicazioni), è possibile abbattere significativamente il rumore dovuto alle lavorazioni, riducendo l'impatto al di sotto dei 70 dB(A) già in prossimità del cantiere per i ricettori al piano di campagna, e a distanze via via crescenti in funzione dell'altezza. Naturalmente, la barriera posta a perimetro del cantiere non avrebbe alcun effetto significativo sui piani alti di un edificio affacciato direttamente sulla linea ferroviaria.

La localizzazione della barriera è d'altra parte condizionata sia dagli spazi disponibili, sia dall'esigenza di non interferire con le lavorazioni e con le piste di cantiere.

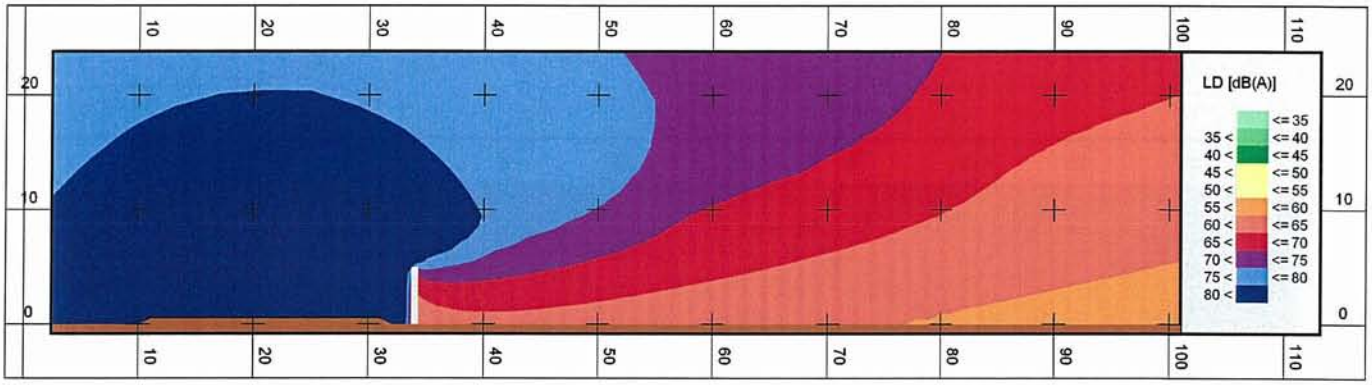


Fig. 12.13 – Cantiere FAL: Mappa isofonica in sezione – post mitigazione – rilevato H=0,5 m

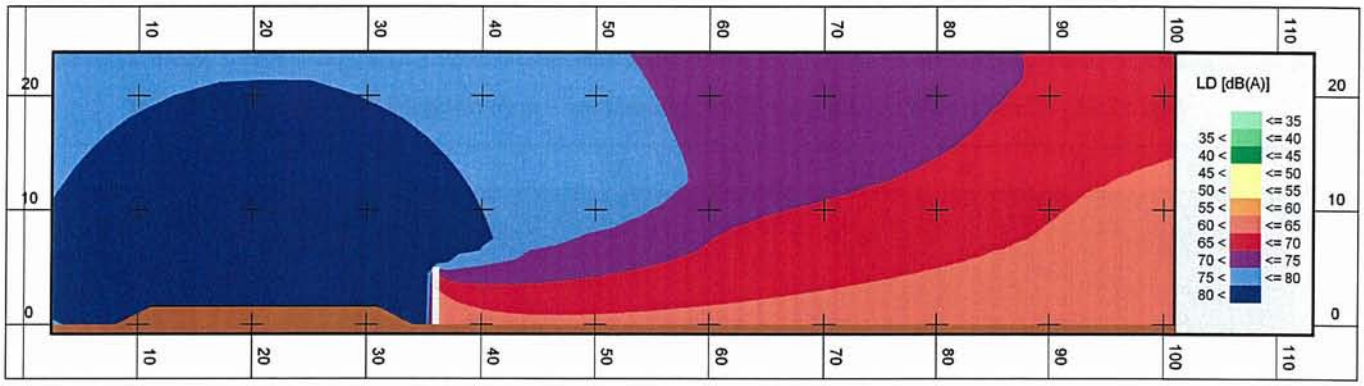


Fig. 12.14 – Cantiere FAL: Mappa isofonica in sezione – post mitigazione – rilevato H=1,5 m

12.3 Interventi di mitigazione

12.3.1 Interventi di mitigazione per le aree di cantiere fisso

Nel paragrafo 12.2 è stata evidenziata, per alcuni cantieri, la possibilità di superamento dei limiti di 65 dBA diurni o di 55 dBA notturni in corrispondenza di ricettori residenziali collocati nell'area circostante.

Per tali cantieri risulta necessaria l'adozione, sul perimetro, di specifiche barriere antirumore; nella presente fase di progettazione preliminare si è ipotizzato che queste abbiano altezza 5 m (la massima altezza normalmente raggiungibile con le barriere in commercio, senza dovere ricorrere a strutture eccessivamente onerose), ma nelle successive fasi di progettazione, sulla base di una definizione di dettaglio dei layout interni dei cantieri (localizzazione degli impianti e dei baraccamenti) e delle caratteristiche di potenza sonora e delle quantità dei macchinari in essi impiegati, le caratteristiche geometriche delle stesse barriere potranno essere rivedute.

In particolare le barriere previste sono sintetizzate nella seguente tabella, oltre che illustrate nelle tavole "*Mitigazioni e ripristino delle aree di cantiere*" (elaborati L344 00 R22 P5 SA000G 019÷027 A).

Cantiere	Barriera	Lunghezza totale (m)
CA01–F2	BC 01	300
CA02–F2	BC 02	260
CO02–F1–F2	BC 03	430
CG02–F1	BC 04	165
CA03–F1–F2	BC 05	400
CO03–F2	BC 06	245
CG06–F2	BC 07	105
CO05–F2–F3	BC 08	370
CG10–F3	BC 09	475

In Allegato 5 sono mostrati in forma grafica, insieme alla localizzazione delle barriere, i superamenti dei limiti precedentemente indicati nello scenario con barriere. Si osserva, in relazione alla localizzazione delle barriere ed ai superamenti residui, quanto segue:

- per l'area di stoccaggio AS02-F1 sono previsti possibili superamenti in corrispondenza di un ricettore collocato immediatamente a ridosso del perimetro del cantiere, a nord dello stesso. Ciononostante non sono stati previsti interventi di mitigazione con barriere antirumore in quanto queste potranno essere efficacemente sostituite da un vallo in terra di adeguata altezza, realizzato con le terre di scotico da stoccare nell'area fino a fine lavori;

- per il cantiere operativo CO06-F2 non è possibile ipotizzare l'impiego di barriere antirumore data la sua posizione ribassata rispetto ai ricettori residenziali, che peraltro sono separati dallo stesso cantiere sia dalla linea ferroviaria di cintura che da un asse viario con intenso traffico; la mitigazione del cantiere avverrà attraverso lo sviluppo di un opportuno layout degli impianti e dei baraccamenti di cantiere, da studiare nelle fasi di progettazione successiva;

- per il cantiere di armamento CA04-F2-F3 non si prevede la possibilità di inserimento di barriere antirumore che abbiano una significativa efficacia acustica, dal momento che i ricettori presenti sono collocati in posizione rialzata rispetto alla sede ferroviaria, al di sopra di un terrazzo morfologico;

- per il cantiere CG02-F1 si prevede la possibilità di superamenti residui del limite di 55 dBA per lavorazioni notturne sui ricettori posti più vicino alla linea ferroviaria esistente;

- per il cantiere CG06-F2 e per il cantiere CO03-F2 si prevede la possibilità di superamenti residui del limite di 55 dBA per lavorazioni notturne sui ricettori dell'abitato di Sablici posti più vicino al perimetro di cantiere; in queste situazioni sarà necessario uno studio di dettaglio del layout di cantiere, da effettuare nelle successive fasi di progettazione;

- per il cantiere CG10-F3, nonostante la barriera, si prevedono significativi superamenti residui del limite notturno sui ricettori circostanti; la soluzione per questo caso sarà quella di limitare le lavorazioni del cantiere, destinato principalmente alla realizzazione di un pozzo di ventilazione, all'orario diurno;

- per il cantiere CO02-F1-F2 si prevede la possibilità di superamenti residui del limite di 55 dBA per lavorazioni notturne sui ricettori posti più vicino al perimetro, a nord dell'ospedale di Monfalcone;

- per il cantiere CO05-F2-F3 vi possono essere superamenti residui su alcuni ricettori residenziali, tutti posti però in aree di pertinenza ferroviaria e quindi costituiti da fabbricati di proprietà FS ceduti a privati.

12.3.2 Interventi di mitigazione per il fronte di avanzamento lavori

Al fine di ridurre il livello di rumore sui ricettori è quindi stata prevista l'installazione di barriere antirumore mobili sul perimetro delle aree di lavoro, ovunque vi sia un superamento sugli stessi ricettori del valore di livello equivalente diurno di 70 dBA, compatibilmente con le esigenze di accesso alle aree e con la geometria dei luoghi. Le barriere potranno essere realizzate in campi di lunghezza tra 100 e 200 metri, da spostare con l'avanzamento progressivo dei lavori.

La tabella seguente illustra le porzioni di tracciato dove, in funzione degli spazi presenti tra area di lavoro e ricettori, è stata prevista l'installazione delle barriere antirumore:

Linea ferroviaria	Lato Linea	Pk inizio	Pk fine	L (m)
Linea AV	Nord	3+000	3+100	100
Linea AV	Nord	3+130	3+200	70
Linea AV	Sud	1+810	2+000	190
Linea AV	Sud	2+160	2+320	160
Linea AV	Sud	2+400	2+900	500
Linea AV	Sud	3+160	3+300	140
Linea AV	Sud	3+510	3+600	90
Linea AV	Nord	4+230	4+330	100
Linea AV	Nord	5+650	5+900	250
Linea AV	Nord	6+300	6+450	150
Linea AV	Nord	6+550	6+700	150
Linea AV	Sud	4+230	4+350	120
Linea AV	Sud	4+370	4+500	130
Linea AV	Sud	5+800	5+930	130
Linea AV	Sud	6+250	6+380	130
Linea AV	Nord	6+800	6+870	70
Linea AV	Nord	7+070	7+250	180
Linea AV	Sud	7+200	7+270	70
Rilocazione Linea storica Udine Trieste	Sud	8+000	10+400	2400
Rilocazione Linea storica Udine Trieste	Sud	0+000	0+250	250
Interconnessione Aurisina	Nord	23+750	23+900	150
Interconnessione Aurisina	Sud	23+650	23+750	100

L'ubicazione delle barriere antirumore di cantiere è illustrata anche nelle tavole "*Mitigazioni e ripristino delle aree di cantiere*" (elaborati L344 00 R22 P5 SA000G 019÷027 A).

12.3.3 Caratteristiche delle barriere antirumore

Le barriere antirumore previste come intervento di mitigazione sia per i cantieri fissi che per le aree di lavoro, saranno montate su apposito basamento in cls tipo New Jersey e realizzate con pannelli monolitici costituiti da una parte strutturale portante centrale in cemento con rivestimento in materiale fonoassorbente. Le barriere avranno un'altezza complessiva massima pari a 5 m.

Sulla base delle analisi di dettaglio da eseguire nelle successive fasi di progettazione potranno essere individuate anche altezze differenti.

Un tipologico di barriera antirumore è illustrato in allegato al Quadro di Riferimento Progettuale.

12.3.4 Richiesta di deroga

Le analisi effettuate consentono di stimare che durante le attività di costruzione della nuova linea si potranno, in alcuni periodi, riscontrare livelli di rumore superiori ai limiti di normativa su alcuni edifici più prossimi alle aree di cantiere e di lavoro.

Si evidenzia come i valori definiti dalle analisi costituiscano dei valori rappresentativi del massimo impatto potenziale di ciascuna tipologia di cantieri. Nella maggior parte dei casi le sorgenti di rumore non risultano, però, fisse davanti a ciascun ricettore, e lo scenario di cantiere si evolve nel tempo.

In fase di costruzione, dopo avere messo in atto tutti i provvedimenti possibili, costituiti dalle barriere e dagli altri accorgimenti illustrati nel Quadro di Riferimento Progettuale, qualora non risulti possibile ridurre il livello di rumore al di sotto della soglia prevista, verrà richiesta al Comune una deroga ai valore limite dettati dal DPCM 14 dicembre 1997 "Determinazione dei valori limite delle sorgenti sonore".

Il valore del livello di rumore da definire nella richiesta di deroga dovrà essere stabilito dall'appaltatore, sulla base delle analisi presentate nelle successive fasi di approfondimento progettuale, in funzione delle caratteristiche dei propri macchinari, delle modalità di lavoro e dell'effettiva organizzazione interna dei cantieri.

12.4 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte sono costituite da tutti i residenti nell'area circostante i cantieri e le aree di lavoro, oltre che dagli enti preposti alla tutela dell'ambiente e della salute pubblica.

Il tema dell'inquinamento acustico costituisce uno degli elementi di maggiore criticità per qualunque area di cantiere, per cui ci si attende che esso dia senz'altro luogo a manifestazione di interesse.

13 VEGETAZIONE, FLORA E FAUNA, ECOSISTEMI

13.1 Riferimenti legislativi

Per i riferimenti legislativi relativi alla componente in esame, si rimanda al capitolo 5.1.

13.2 Stato di fatto della componente

Per l'illustrazione di dettaglio della componente ambientale in esame si rimanda al capitolo 5.2.

13.3 Valutazione delle interferenze e degli interventi di mitigazione

13.3.1 Componente vegetazione

Di seguito viene effettuata l'analisi puntuale dei cantieri presenti lungo la tratta ferroviaria in progetto, descrivendo le interazioni con le componenti vegetazionali che si evidenziano all'interno di ambiti di territorio omogenei per le caratteristiche ambientali.

Tratto iniziale (km 1+600 – km 7+500)

Nel presente tratto le aree di cantiere sono posizionate in aree antropizzate (seminativi, colture di tipo intensivo, ecc.) in cui gli elementi di naturalità risultano fortemente ridotti e prevalentemente localizzati nelle zone limitrofe alla fascia golenale del fiume Isonzo.

Non si riscontra la presenza di elementi di tipo naturale interferiti dalle zone di cantiere previste. Non si rilevano pertanto significative interferenze con le componenti naturali.

Anche per quanto concerne le piste di cantiere, in questo tratto parallele alla linea ferroviaria in progetto, se ne constata l'inserimento in un contesto fortemente urbanizzato e privo di elementi naturali significativi. Per questi motivi, l'impatto del sistema di cantierizzazione può essere considerato poco significativo.

Tratto tra km 7+500 e km 13+095

Lungo il presente tratto alcune aree di cantiere andranno ad interessare aree a vegetazione naturale. Le aree più problematiche dal punto di vista dell'impatto sulla vegetazione naturale sono le seguenti:

- Cantiere Base CB02-F1-F2 – interferisce con un'area prativa in parte colonizzata da vegetazione;
- Cantiere Imbocco Galleria CG01-F1 – interferisce con un'area di landa carsica, con vegetazione naturale;
- Cantiere Imbocco Galleria CG02-F1 – interferisce con un'area di bosco di ricolonizzazione collocato in area originariamente prativa;
- Cantiere Imbocco Galleria CG03-F2 – interferisce con un bosco di pino nero;
- Cantiere Imbocco Galleria CG05-F2 – è quasi interamente collocato in ambito boschivo, ed interferisce con un'area a boscaglia di salice bianco;
- Area Tecnica AT03-F2 - interferisce con un'area boscata con prevalenza di querceto;

- Cantiere Operativo CO03-F2 – è collocato all'interno di un'area boscata, con presenza sia di impianti di pino nero che di querceto;
- Cantiere Base CB03-F2 - interferisce con un'area prativa di valore naturalistico e con i lembi di un bosco (querceto);
- Cantiere Imbocco Galleria CG06-F2 – interferisce con un'area a querceto;
- Cantiere Imbocco Galleria CG07-F2 – interferisce con un'area a querceto.

Gli altri cantieri previsti lungo questa tratta sono situati su suolo antropizzato, caratterizzato dalla presenza di centri urbanizzati e di rimboschimenti di conifere indigene.

Per quanto concerne le piste di cantiere, in questo tratto è da segnalare che per lo più si sviluppano in corrispondenza di strade forestali esistenti, interessando quindi uin maniera marginale la vegetazione naturale (saranno comunque previsti degli abbattimenti al fine di allargare la dimensione delle piste rispetto a quella delle strade attuali).

Da segnalare anche le piste di cantiere che si sviluppano lungo tutte le tratte in trincea e galleria artificiale, attraversando territori di landa carsica. Le piste si sviluppano in maniera continua in ambito boscato dalla pk 7+521 alla pk 9+765 e poi ancora dalla pk 10+898 alla pk 12+722.

Per quanto concerne le piste su viabilità da adeguare, si tratta di strade già esistenti che devono essere rese idonee al passaggio dei mezzi di cantiere; questi interventi prevedono la risistemazione ed eventualmente l'allargamento di viabilità già presente. Per questo, il loro impatto viene considerato minore, anche se dovrà essere senz'altro abbattuta della vegetazione arborea.

Va evidenziato che alcuni dei cantieri sopra segnalati interessano zone che conservano ancora elementi naturali significativi (praterie termofile, querceti, cespuglieti, zone umide); per quanto concerne le altre cenosi presenti, in relazione alla vicinanza a formazioni vegetali di natura artificiale (rimboschimento e seminativi), all'infrastruttura ferroviaria Gorizia-Trieste e all'autostrada Venezia-Trieste, occorre dire che presentano già allo stato attuale evidenti alterazioni sia di composizione in specie, sia a livello strutturale. Tuttavia, rivestono un certo pregio ambientale in quanto espressioni delle locali potenzialità vegetazionali e pertanto, in fase di costruzione dell'opera, occorrerà limitare per quanto possibile gli abbattimenti degli elementi arborei ed arbustivi.

In base a queste considerazioni si ritiene che le interazioni con l'assetto naturale dei luoghi risultino significative, ancorché ridotte in senso spaziale e comunque mitigabili mediante opportuni interventi di ripristino.

Tratto compreso tra km 13+095 e fine tracciato

In questo tratto alcuni dei cantieri previsti interferiscono con la vegetazione naturale presente; nel dettaglio:

- Area Tecnica AT04-F2: è collocata all'interno di un bosco naturale;
- Area Tecnica AT05-F2: interferisce con la ricca vegetazione di contorno di una dolina;
- Cantiere operativo CO04-F2: interferisce con una serie di radure immerse in un querceto;
- Area di Stoccaggio AS04-F3: nell'ambito della ex-cava è in corso una ricolonizzazione che sta portando la vegetazione ad evolversi verso situazioni tipiche della landa carsica;
- Area di Stoccaggio AS05-F3: nell'ambito della ex-cava è in corso una ricolonizzazione che sta portando la vegetazione ad evolversi verso situazioni tipiche della landa carsica;

- Cantiere Imbocco Galleria CG07-F2: è posto all'interno di un ambito boschivo con prevalenza di querceto;
- Cantiere Imbocco Galleria CG08-F2: è posto all'interno di un ambito di landa carsica con radi cespuglieti;
- Cantiere Imbocco Galleria CG09-F3 – è posto all'interno di un ambito di landa carsica, con cespuglieti e querceti;
- Cantiere Imbocco Galleria CG10-F3 – interferisce con vegetazione di limitato valore, trovandosi in un ambito periurbano.

Gli altri cantieri posti lungo questa tratta sono situati su suolo antropizzato, caratterizzato dalla presenza di centri urbanizzati, di colture di tipo estensivo e di rimboschimenti di conifere indigene.

Per quanto concerne le piste su viabilità da adeguare, si tratta di strade già esistenti che devono essere rese idonee al passaggio dei mezzi di cantiere; questi interventi prevedono la risistemazione ed eventualmente l'allargamento di viabilità già presente. Per questo, il loro impatto viene considerato minore, anche se dovrà essere senz'altro abbattuta della vegetazione arborea.

13.3.2 Componente Fauna

Gli effetti determinati dalle azioni correlate alla linea ferroviaria sono schematizzabili in:

- sottrazione diretta di formazioni vegetali e, conseguentemente, della fauna che esse ospitano;
- disturbo alla fauna per inquinamento acustico e di polveri.

Durante la fase di costruzione, il disturbo dovuto alla presenza antropica e alla movimentazione dei mezzi determinerà l'allontanamento delle specie più sensibili e vagili. Le maggiori interferenze si riscontrano per le popolazioni di anfibi, che risultano nel complesso poco mobili e legate a specifici microhabitat.

I popolamenti faunistici presenti nell'area e legati al particolare tipo di habitat dell'altopiano carsico sono rappresentati in generale da specie dotate di una certa mobilità e, quindi, in grado di spostarsi in altre aree con analoghe caratteristiche degli habitat. Esse faranno ritorno nella zona a seguito della fase di costruzione in tempi relativamente brevi.

In relazione all'interruzione della continuità degli habitat naturali e dei corridoi ecologici si rileva che le aree di cantiere non determinano modifiche significative rispetto allo stato attuale.

L'elemento di maggiore criticità, per la mancanza di conoscenze attuale, è legato alla fauna presente in eventuali cavità carsiche e grotte intercettate dal tracciato: non sono da escludere per l'ambiente ipogeo disturbi dovuti al propagarsi delle vibrazioni e del rumore durante la fase di costruzione dell'opera.

Di seguito viene proposta una disamina delle zone di cantiere presenti nei diversi tratti del tracciato ferroviario.

Tratto iniziale (km 1+600 – km 7+500)

In questo tratto le aree di cantiere sono posizionate in aree antropizzate (seminativi, colture di tipo intensivo, ecc.) in cui gli elementi faunistici di rilievo risultano fortemente ridotti e prevalentemente localizzati nelle zone limitrofe alla fascia golenale del fiume Isonzo.

Non si riscontra pertanto la presenza di elementi di tipo naturale interferiti dalle zone di cantiere previste, che si sviluppano sempre in affiancamento all'infrastruttura ferroviaria esistente. Non si rilevano pertanto significative interferenze con la fauna.

Anche per quanto concerne le piste di cantiere, in questo tratto sempre parallele alla linea ferroviaria in progetto, se ne constata l'inserimento in un contesto fortemente urbanizzato e privo di elementi faunistici significativi. Per questi motivi, l'impatto delle piste di cantiere viene considerato trascurabile.

Tratto km 7+500 – km 13+095

La componente faunistica legata agli ambienti attraversati in questo tratto è prevalentemente caratterizzata da specie ornitiche (anatidi e passeriformi) e da anfibi (rane verdi, raganelle). Il disturbo dovuto al rumore e alle vibrazioni prodotte in fase di cantiere potrebbe determinare l'allontanamento delle specie più sensibili e vagili. Le maggiori interferenze si riscontrano per le popolazioni di anfibi, che risultano nel complesso poco mobili e legate a specifici microhabitat.

La realizzazione delle zone di cantiere comporterà la sottrazione di porzioni comunque limitate, rispetto alla loro estensione locale, degli habitat di interesse per le specie presenti. La loro presenza, inoltre, avrà carattere temporaneo e limitato nel tempo, per cui gli eventuali impatti saranno limitati al periodo di lavoro.

In relazione alla sottrazione dell'habitat del pascolo termofilo si sottolinea che si tratta, comunque, di superfici limitate rispetto alla loro estensione nella zona e quindi non tali da causare perturbazioni significative nelle popolazioni animali legate a questo tipo di formazioni erbacee.

Gli eventuali effetti sulla fauna imputabili alla fase di cantiere sono da collegarsi, indirettamente, all'entità delle emissioni di rumore (dovute sia ai macchinari che al traffico indotto), alle opere di taglio e rimozione della vegetazione esistente sull'area di intervento e alle fasi di cantiere che determinano in genere impatto acustico e alterazioni del territorio. Occorre comunque sottolineare che l'impatto è circoscritto all'area di realizzazione del cantiere.

Tratto compreso il km 13+095 e la linea di Cintura di Trieste

I disturbi più significativi in fase di cantiere per l'area in esame, caratterizzata dalla realizzazione di opere in galleria, con cantieri concentrati in poche aree, possono essere solo di tipo indiretto, legati alla produzione di rumore, di vibrazioni e di polveri; questi disturbi rimangono, comunque, di entità limitata anche in senso temporale: si inseriscono, infatti, in un'area già antropizzata e in cui, quindi, le specie presenti sono già "abituate" alla presenza dell'uomo.

Non si riscontrano, in particolare, interferenze significative con le specie della mammalofauna che saranno in grado di spostarsi in aree limitrofe a quelle di cantiere, che presentano analoghe caratteristiche degli habitat.

13.3.3 Componente Ecosistemi

In relazione alla componente, relativamente alla costruzione della nuova linea ferroviaria vengono valutati i seguenti rischi di impatto:

- sottrazione di habitat naturali, con impoverimento della qualità ecologica del territorio;
- frammentazione del territorio, con difficoltà di scambio tra individui animali e vegetali appartenenti a popolazioni diverse distribuite in luoghi diversi;
- destrutturazione di habitat, con rarefazione delle specie vegetali ed animali ed accorciamento delle catene trofiche tradizionali;
- possibilità di incidenti con ricadute ambientali a carico dell'ecosistema (es. sversamenti accidentali, aree di deposito a ridosso della vegetazione, deviazione o momentanea sospensione dei flussi idrici);

- copertura e alterazione del manto vegetale provocata dalla sospensione di polveri sollevate dalle diverse fasi di attività del cantiere.
- prelievi di acqua, smaltimento dei reflui di lavorazione, rilascio delle acque di scarico, con possibili effetti significativi a carico degli equilibri idrici.

Tratto iniziale (km 1+600 – km 7+500)

In questo tratto le aree di cantiere sono posizionate in aree antropizzate (seminativi, colture di tipo intensivo, ecc.) in cui gli habitat naturali risultano fortemente ridotti e prevalentemente localizzati nelle zone limitrofe alla fascia golenale del fiume Isonzo.

Non si riscontra pertanto la presenza di elementi di tipo naturale interferiti dalle zone di cantiere previste.

Anche per quanto concerne le piste di cantiere, in questo tratto sempre parallele alla linea ferroviaria in progetto, se ne constata l'inserimento in un contesto fortemente urbanizzato e privo di elementi naturalistici significativi.

L'impatto del sistema di cantierizzazione sugli ecosistemi può di conseguenza essere considerato trascurabile.

Tratto km 7+500 – km 13+095

La realizzazione delle zone di cantiere comporterà la sottrazione di habitat naturali limitati rispetto alla loro estensione locale; in relazione alla sottrazione dell'habitat del pascolo termofilo si sottolinea che si tratta di superfici contenute rispetto alla loro estensione nella zona e quindi non tali da causare perturbazioni significative alle catene trofiche che vi sono legate.

Tuttavia, tali ecosistemi rivestono un sicuro interesse ambientale in quanto espressioni delle locali potenzialità vegetazionali e pertanto, in fase di costruzione dell'opera, occorrerà limitare per quanto possibile gli abbattimenti degli elementi arborei ed arbustivi.

In base a queste considerazioni si ritiene che le interazioni con l'assetto naturale dei luoghi risultino limitate, ridotte in senso spaziale e comunque mitigabili mediante opportuni interventi di ripristino.

Tratto compreso il km 13+095 e la linea di Cintura di Trieste

In relazione alla componente ecosistemica legata agli habitat presenti in questo tratto si rileva che vi sono legate comunità faunistiche complesse, con specie rapaci poste ai vertici della catena alimentare.

I cantieri posti lungo questa tratta sono situati sia su suolo forestale che su suoli antropizzati, con presenza di centri urbanizzati, di colture di tipo estensivo e di rimboschimenti di conifere indigene; i disturbi più significativi sugli ecosistemi sono legati alla sottrazione di porzioni di ecosistemi.

In generale l'impatto che ne deriva è di limitata estensione spaziale e temporale: le aree interessate dagli interventi non sono in generale caratterizzate da ecosistemi maturi, in quanto fino ad alcuni decenni or sono erano per lo più interessati da pascoli: si ritiene di conseguenza che gli interventi di ripristino previsti possano ripristinare in breve l'equilibrio in tutte le aree sottratte per i cantieri.

13.3.4 Analisi di incidenza dei cantieri sulla Rete Natura 2000

Per quanto concerne le interferenze in fase di cantiere, le aree maggiormente sensibili ai potenziali impatti sono le stesse valutate con riferimento alla fase di esercizio.

Si rimanda, quindi, a quanto descritto e definito nell'Allegato 7 del presente Studio di Impatto Ambientale per la caratterizzazione degli ecosistemi presenti nelle aree appartenenti alla Rete Natura 2000. Le aree identificate come

zone che possono subire interferenze dirette o indirette (ID e II) sono ritenute significative anche per gli impatti in fase di cantiere, in quanto i maggiori impatti in fase di costruzione si potranno verificare nelle aree indicate.

Alla luce di quanto esposto, nelle tabelle di valutazione degli impatti riportate in Allegato 7 sono stati considerati e valutati congiuntamente gli impatti in fase di cantiere e in fase di esercizio.

La realizzazione dei cantieri e le relative attività determineranno, in sintesi, una sottrazione, comunque poco significativa e temporanea delle formazioni vegetali naturali presenti.

È ragionevole supporre che durante la fase di cantiere le specie presenti nell'intorno delle aree di cantiere si allontaneranno temporaneamente nelle zone limitrofe, che presentano analoghe caratteristiche degli habitat. Al termine dei lavori è presumibile poi che esse colonizzeranno nuovamente l'area, che verrà opportunamente ripristinata e ricondotta allo stato precedente i lavori.

13.3.5 Interventi di mitigazione

Per la mitigazione delle componenti di interesse naturalistico non sono previste opere specifiche; sono previste invece procedure operative di buona gestione del cantiere, finalizzate a minimizzare ogni potenziale interferenza con vegetazione, fauna ed ecosistemi.

Tali procedure comprendono:

- la bagnatura delle piste di cantiere e dei cumuli di inerti mantenuti all'interno delle aree di cantiere, finalizzata a prevenire il sollevamento di polveri;
- cautele operative per tutte quelle attività che potrebbero causare incidenti con ricadute ambientali a carico dell'ecosistema;
- la rimozione immediata dalle aree di ogni tipo di rifiuto o scarto di lavorazione che possa arrecare danno alla fauna per contatto o per ingestione;
- la proibizione del traffico di mezzi pesanti sulle piste collocate nell'ambito delle aree SIC e ZPS nelle fasi serale e notturna, allo scopo di diminuire il rischio di investimento nei confronti della microfauna;
- la proibizione del deposito di materiali di qualunque tipo in prossimità del letto dei corsi d'acqua.

All'atto della dismissione dei cantieri è infine previsto il recupero delle aree da questi occupate (ove non destinate ad opere specifiche nell'ambito del progetto) e la ricucitura della vegetazione forestale. La ricostituzione delle formazioni vegetali eliminate in fase di costruzione con la conseguente ricreazione degli habitat sottratti o modificati potrà produrre un utile effetto mitigativo sia nei confronti della vegetazione che della fauna.

13.4 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte negli aspetti ambientali in esame sono costituite dagli enti pubblici preposti alla tutela dell'ambiente, dalle associazioni ambientaliste di livello locale, dai cittadini residenti in prossimità delle opere in progetto, il cui rapporto con gli elementi naturali potrà essere modificato a seguito dell'inserimento dell'opera.

Dato l'elevato livello di qualità ambientale di alcune delle aree interessate dal tracciato (in particolare quelle in area carsica, poste all'interno di aree SIC e ZPS), si ritiene che la componente in oggetto sarà di estremo interesse per tutte le parti esterne sopra indicate.

14 VIBRAZIONI

14.1 Riferimenti legislativi

Si riporta di seguito l'elenco delle Norme Tecniche in vigore per la valutazione di impatto della componente vibrazioni:

- ISO 2631, Mechanical vibration and shock evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements, 1997.
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 2: Continuos and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz), 2003.
- ISO 2631, Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 3: Evaluation of exposure to whole-body vibration in the frequency range 0.1 to 0.63 Hz, 1985.
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, 1990.
- ISO 4866, Mechanical vibration and shock – Vibration of buildings – Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings, Amendment 1, Predicting natural frequencies and damping of buildings.
- ISO 1683, Acoustics – Preferred reference quantities for acoustic levels, 1983.
- UNI 9916, Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici, 2004.
- UNI 9614, Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo, 1990.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 1: Principles, predetermination and measurement of the amplitude of oscillations, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 2: Influence on persons in buildings, 1975.
- DIN 4150, Vibrations in building. Part 3: Influence on constructions, 1975.
- CEI 29-1 Misuratori di livello sonoro (conforme alla pubblicazione IEC 651), 1983.

Al fine di valutare l'impatto vibrazionale all'interno degli edifici in termini di disturbo indotto sulle persone, nel presente studio si farà riferimento alla norma italiana UNI 9614, la quale recepisce le prescrizioni fondamentali della normativa internazionale (ISO2631).

14.2 Valutazione delle interferenze

14.2.1 Metodologia

La valutazione dei livelli vibrazionali indotti ai ricettori dalle attività di cantiere richiede la definizione di:

- Una serie di scenari di cantiere rappresentativi delle lavorazioni più impattanti da un punto di vista vibrazionale e relativo inventario dei macchinari coinvolti;
- Uno spettro di emissione di ciascun macchinario di cantiere rappresentativo della variazione in frequenza dell'accelerazione indotta nel terreno ad una distanza di riferimento (problema sorgente). Le attività di cantiere possono essere definite come sorgenti di vibrazione intermittente. A vantaggio di sicurezza si considerano validi i limiti imposti dalla normativa per le sorgenti di tipo continuo.

- Una funzione di trasferimento che esprima, al variare della frequenza, il rapporto tra l'ampiezza di vibrazione al piede del ricettore in condizioni di campo libero e l'ampiezza dello spettro di accelerazione alla sorgente per ciascun macchinario (problema di propagazione);
- Una legge di combinazione degli spettri di accelerazione indotti al ricettore in condizioni di campo libero dai macchinari presenti nei vari scenari di cantiere ipotizzati.
- Un'ipotesi sulla presa in conto dell'effetto della struttura degli edifici sul campo vibratorio determinato in condizioni di campo libero. Più precisamente, nel presente studio, considerate le incertezze derivanti anche dalla scelta della legge di combinazione SRSS degli spettri di accelerazione indotti dai vari macchinari, è stata adottata, come per la fase di esercizio, l'ipotesi di trascurare nel calcolo del campo vibratorio al ricettore, gli effetti indotti dalla risposta dinamica strutturale. Tali effetti infatti, sono stati stimati essere dello stesso ordine di grandezza delle incertezze relative alla legge di combinazione degli spettri.

La figura seguente illustra schematicamente in forma di diagramma di flusso gli elementi che compongono la catena vibratoria dalla sorgente al ricettore. L'impatto prodotto su quest'ultimo è valutato sulla base delle indicazioni fornite dalle normative/raccomandazioni di riferimento.

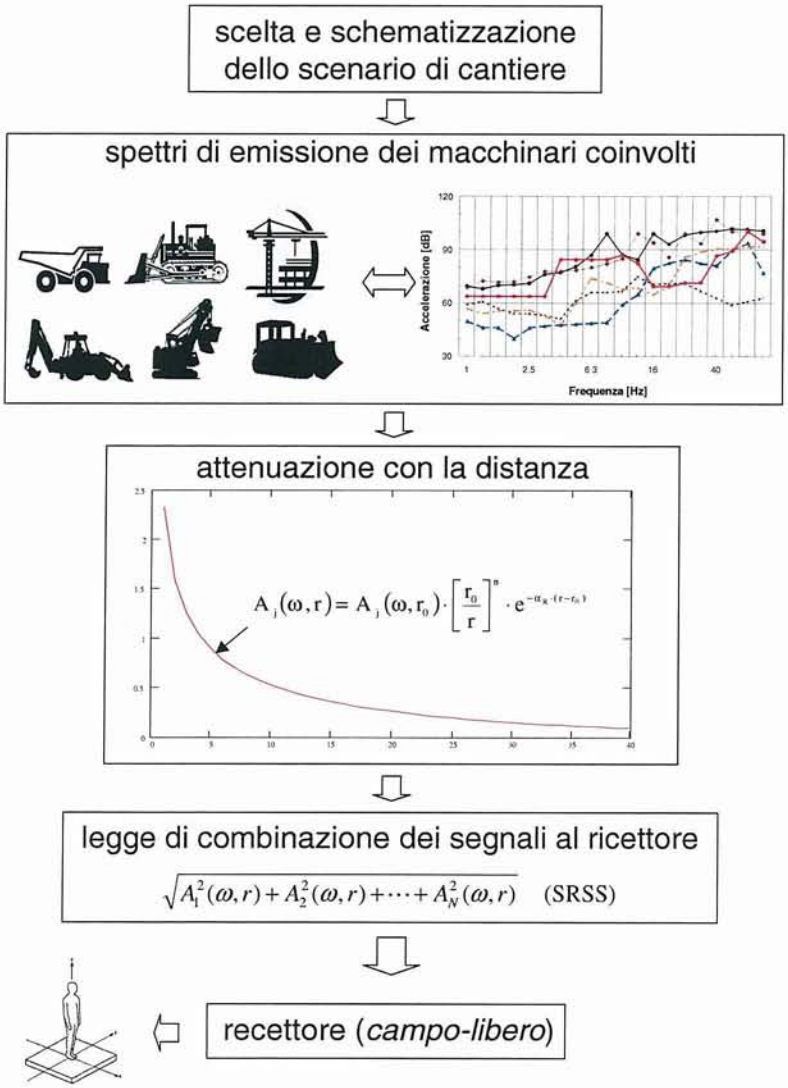


Fig. 14.1 -Schema metodologico per la valutazione dell'impatto vibrazionale nella fase di costruzione della tratta

14.2.2 Scenari di cantiere

Definire uno scenario di cantiere significa, per i fini del presente studio, identificare quali (e quanti) macchinari sono presenti contemporaneamente all'interno dell'area di cantiere, oltre a definire la loro posizione di massima durante l'esecuzione delle lavorazioni.

In relazione alla tipologia di lavorazioni previste per la realizzazione della tratta AV/AC Ronchi-Trieste, sono stati individuati 6 scenari di cantiere significativi. Tali scenari, descritti in Tab. 14.1, sono stati definiti in funzione delle diverse tipologie di lavorazione, facendo riferimento ad ipotesi sulle principali attività espletate e opere realizzate (rilevati, gallerie, viadotti, ecc.):

- rilevato tradizionale realizzato attraverso il trasporto del materiale, la sua stesa e successiva compattazione;
- trincea in materiale sciolto ed in materiale litoide;
- viadotto con realizzazione delle pile su pali;
- scavo galleria con metodo tradizionale (martellone idraulico);
- scavo galleria meccanizzato mediante fresa.

Sulla base delle tipologie suddette, come detto, sono stati individuati gli scenari di cantiere più impattanti dal punto di vista vibrazionale, relativi alle singole attività. Tale descrizione andrà integrata nelle successive fasi di progettazione con la prevista durata temporale dei lavori, con lo scopo di definire la durata del potenziale impatto, od eventualmente modificata sulla base di dettagli più approfonditi circa tipologia e numero dei macchinari impiegati per ciascuna lavorazione.

Scenario A: realizzazione di paratia di pali (schema di Fig. 14.2)

La realizzazione della paratia di pali trivellati è parte delle lavorazioni di realizzazione di gallerie artificiali e fondazioni di pile da ponte. I macchinari di cantiere previsti per questo tipo di lavorazione sono:

- N. 1 palificatrice;
- N. 1 autocarro;
- N. 1 escavatore.

Scenario B: realizzazione del rilevato (schema di Fig. 14.3).

Tale scenario comprende riporto, stesa e compattazione del materiale. I macchinari di cantiere previsti per questo tipo di lavorazione sono:

- N. 1 rullo vibrante.
- N. 2 autocarri.
- N.1 dozer.

Scenario C: scavo all'aperto/trincea con movimento terra tramite bulldozer (schema di Fig. 14.4).

Le lavorazioni di scavo si suppone vengano realizzate attraverso l'impiego di:

- N. 1 autocarro per il trasporto del materiale di scavo;

- N. 1 escavatore per la realizzazione dello scavo;
- N. 1 bulldozer per la movimentazione terra.

Scenario D: scavo/demolizione con martellone idraulico nei tratti all'aperto (schema di Fig. 14.5).

Le lavorazioni previste per questo scenario di cantiere, riguardano lo scavo/demolizione di fronti compatti/litoidi (eventualmente in supporto allo scavo con benna) attraverso l'impiego di un martellone idraulico montato su escavatore. Questo scenario viene assegnato anche allo scavo degli imbocchi delle gallerie. Si prevede nello scenario la presenza del solo martellone idraulico quale sorgente, in quanto di molto prevalente rispetto ai mezzi eventuali di supporto (benna e autocarro).

Scenario E: scavo in tradizionale con martellone idraulico delle gallerie (schema di Fig. 14.5)

Le lavorazioni previste per questo scenario di cantiere riguardano lo scavo in tradizionale delle gallerie, attraverso l'impiego di un martellone idraulico montato su escavatore. Si prevede la presenza del solo martellone idraulico quale sorgente, in quanto di molto prevalente rispetto ai mezzi eventuali di supporto (pala meccanica e autocarro). Lo scenario tiene in considerazione l'influenza dell'approfondimento dello scavo.

Scenario F: scavo meccanizzato delle gallerie naturali.

Rimandando al par. 0, si osserva fin d'ora come lo scavo meccanizzato delle gallerie con TBM risulti il metodo di realizzazione di tali opere di sicuro meno impattante dal punto di vista vibrazionale, e quindi preferibile in ambito urbano.

I sei scenari analizzati A-F interessano estensioni diverse del tracciato, in funzione della tipologia di lavorazione prevista per la realizzazione della linea ferroviaria AV/AC. Nelle Tabelle dalla 14.1 alla 14.8 è indicata la distribuzione delle lavorazioni e dei diversi scenari di cantiere lungo le diverse tratte di progetto, con indicazione della stratigrafia di riferimento da zonazione geodinamica, di cui al paragrafo 6.3.2.2.

Come è osservabile dagli schemi citati, per ogni scenario analizzato è stata individuata un'area di distribuzione delle attività ed una relativa configurazione planimetrica dei macchinari (illustrate da Fig. 14.2 a Fig. 14.5). Tali configurazioni sono state utilizzate come base di partenza per la messa a punto della procedura previsionale del livello vibratorio, descritta nei paragrafi successivi.

Gli scenari di cantiere sopra descritti sono stati definiti in base ad ipotesi cautelative sulle modalità di svolgimento delle lavorazioni, intervenendo in particolare sul numero di macchinari contemporaneamente in azione e sugli spazi operativi dei medesimi. Inoltre, nella realtà lavorativa, durante lo svolgimento di uno scenario non tutte le macchine sono in movimento o eseguono contemporaneamente attività impattanti (ad esempio, l'autocarro non si muove fino alla fine dell'attività di carico). Di tale non contemporaneità si terrà conto in sede di combinazione dei segnali vibratori al ricettore, attraverso una legge di combinazione statisticamente fondata.

Lo scenario F (scavo meccanizzato della galleria mediante fresa), date le sue peculiarità ed il diverso metodo di determinazione degli impatti conseguenti, basato su una formulazione semi-empirica di letteratura per la valutazione dell'attenuazione del segnale vibratorio con la distanza/profondità di scavo, verrà trattato separatamente nel paragrafo 14.2.7.

Scenario	Descrizione	Tipologico lavorazioni	Macchinari	N. macchine
A	Realizzazione paratia di pali	Galleria artificiale Viadotto	Palificatrice fissa Autocarro/Autobetoniera Escavatore	3
B	Realizzazione del rilevato	Rilevato	Bulldozer Autocarro Rullo compattatore	2
C	Scavo all'aperto/trincea con movimento terra mediante bulldozer	Galleria artificiale	Escavatore Bulldozer Autocarro	3
D	Scavo/demolizione con martellone nei tratti all'aperto	Imbocco gallerie,	Martellone idraulico	1
E	Scavo in tradizionale con martellone	Gallerie	Martellone idraulico	1
F	Scavo meccanizzato	Gallerie	TBM	1

Tab. 14.1 -Scenari di cantiere

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
1+600	7+600	Rilevato		X					X				
7+600	7+825	Rilevato		X						X			
7+825	8+378	Galleria artificiale	X				X			X			
8+378	9+315	Rilevato		X						X			
9+315	9+475	Galleria artificiale	X				X			X			
9+475	9+700	Rilevato		X						X			
9+700	9+765	Galleria artificiale di imbocco	X			X				X			
9+765	10+850	Galleria naturale					X			X			
10+850	10+877	Galleria artificiale di imbocco	X			X				X			
10+877	10+898	Rilevato		X						X			

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
10+898	11+173	Viadotto	X							X			
11+173	11+384	Rilevato		X						X			
11+384	11+744	Galleria artificiale	X			X	X			X			
11+744	11+998	Rilevato		X						X			
11+998	12+384	Viadotto	X							X			
12+384	12+500	Rilevato		X						X			
12+500	12+600	Viadotto	X							X			
12+600	12+722	Rilevato		X						X			
12+722	12+775	Galleria artificiale di imbocco	X			X				X			
12+775	12+880	Galleria naturale					X			X			
12+880	12+926	Galleria artificiale di imbocco				X				X			
12+926	13+095	Rilevato		X						X			
13+065	13+150	Galleria artificiale di imbocco	X			X				X			
13+150	17+675	Galleria naturale					X			X			
17+675	17+950	Galleria artificiale di collegamento	X			X				X			
17+950	22+685	Galleria naturale					X			X			
22+685	22+800	Galleria artificiale di collegamento	X			X					X		
22+800	23+992	Rilevato		X							X		
23+992	24+034	Viadotto ponte	X								X		
24+034	24+477	Rilevato		X							X		
24+477	25+052	Camerone di interconnessione	X			X					X		
25+052	25+452	Galleria naturale					X				X		
25+452	25+662	Camerone di interconnessione	X			X					X		
25+662	25+823	Galleria naturale - Scavo tradizionale					X				X		

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
25+823	27+258	Galleria naturale - Scavo tradizionale					X					X	
27+258	27+877	Galleria naturale - Scavo tradizionale					X						X
27+877	27+927	Camerone di lancio TBM	X			X		X					X
27+927	36+506	Galleria naturale – Scavo meccanizzato						X					X
36+506	36+634	Camerone	X			X							X

Tab. 14.2 - Distribuzione delle lavorazioni tipo, degli scenari di cantiere e dei profili geodinamici tipo lungo il tracciato della tratta AV/AC Ronchi - Trieste

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
0+000	0+640	Rilevato		X					X				
0+640	1+290	Galleria artificiale	X			X	X			X			
1+290	3+078	Rilevato		X						X			

Tab. 14.3 - Distribuzione delle lavorazioni tipo, degli scenari di cantiere e dei profili geodinamici di riferimento lungo il tracciato della linea Udine - Trieste (binario pari)

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
1+600	7+611	Rilevato		X					X				
7+611	8+075	Galleria artificiale di imbocco	X			X				X			
8+075	8+800	Galleria naturale					X			X			
8+800	8+871	Galleria artificiale di imbocco	X			X				X			
8+871	10+317	Rilevato		X						X			

Tab. 14.4 - Distribuzione delle lavorazioni tipo, degli scenari di cantiere e dei profili geodinamici di riferimento lungo il tracciato della linea storica Venezia - Trieste (variante binario dispari)

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
1+600	1+904	Rilevato		X					X				

Tab. 14.5 - Distribuzione delle lavorazioni tipo, degli scenari di cantiere e dei profili geodinamici di riferimento lungo il tracciato della linea storica Venezia - Trieste (variante binario pari)

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
0+000	0+175	Camerone di interconnessione	X			X				X			
0+175	1+482	Galleria naturale					X			X	X		
1+482	1+557	Galleria artificiale di imbocco e	X			X					X		
1+557	1+988	Rilevato		X							X		

Tab. 14.6 - Distribuzione delle lavorazioni tipo, degli scenari di cantiere e dei profili geodinamici di riferimento lungo il tracciato della linea di interconnessione B.D. AV

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
0+000	0+190	Camerone di interconnessione	X			X				X			
0+190	0+700	Galleria naturale					X			X	X		
0+700	0+800	Galleria artificiale di imbocco e	X			X					X		
0+800	1+224	Rilevato		X							X		

Tab. 14.7 - Distribuzione delle lavorazioni tipo, degli scenari di cantiere e dei profili geodinamici di riferimento lungo il tracciato della linea di interconnessione B.P. AV

Da prog	a prog.	Tipologia di tracciato	Scenario						Profilo				
			A	B	C	D	E	F	S1	S2	S3	S4	S5
0+000	1+675	Rilevato		X							X		
1+675	2+325	Viadotto	X								X		
2+325	2+992	Rilevato		X							X		

Tab. 14.8 - Distribuzione delle lavorazioni tipo, degli scenari di cantiere e dei profili geodinamici di riferimento lungo il tracciato della linea di interconnessione LS. TS C.LE – Villa Opicina B.P.

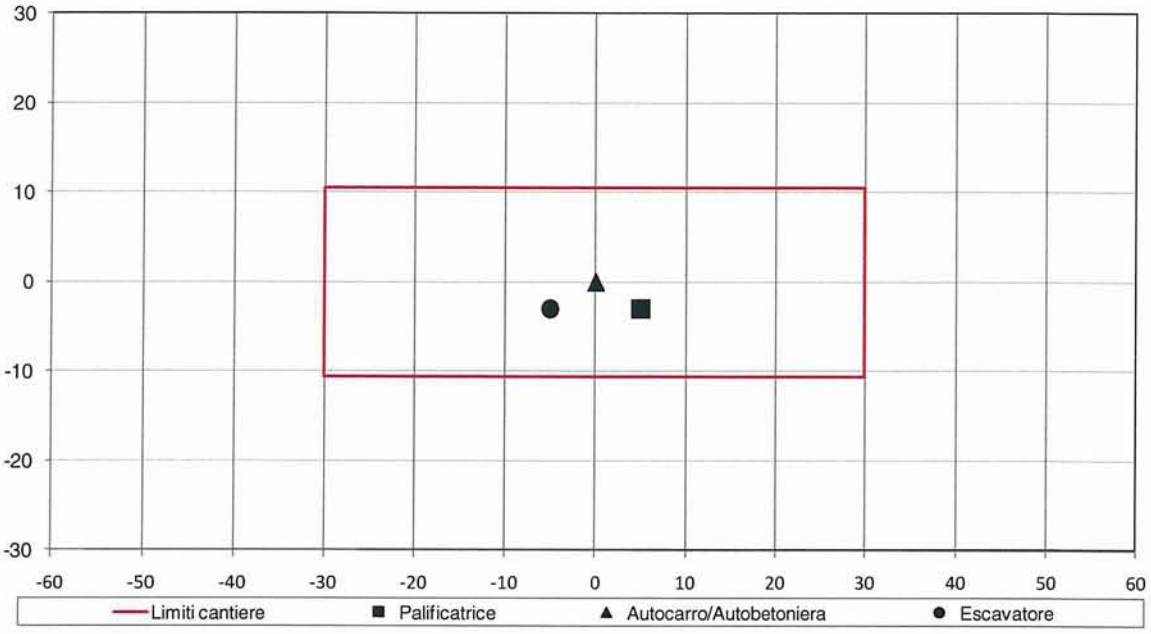


Fig. 14.2 - Scenario A. Configurazione planimetrica dei macchinari prevista nella fase di realizzazione di paratia di pali o pali di fondazione

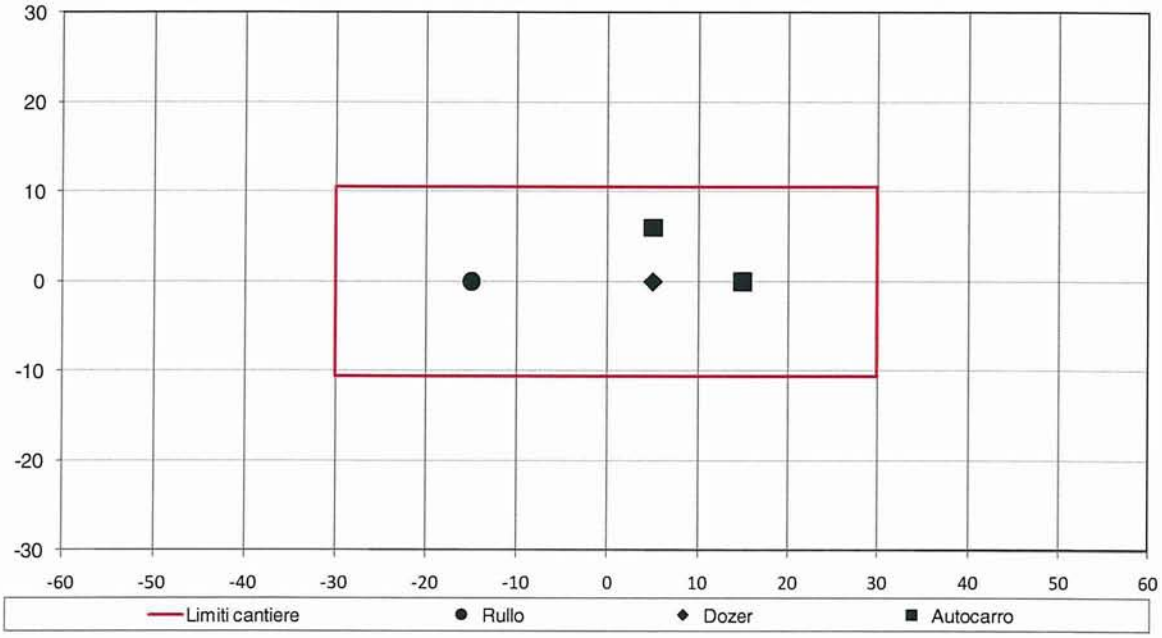


Fig. 14.3 - Scenario B. Configurazione planimetrica dei macchinari prevista nella fase di realizzazione del rilevato

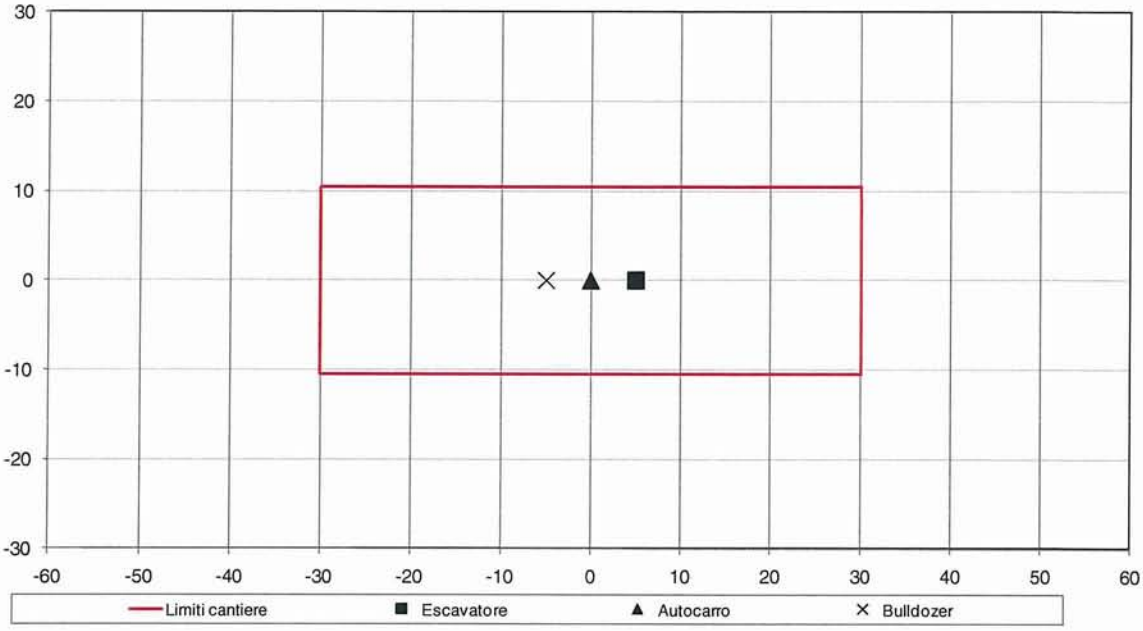


Fig. 14.4 - Scenario C. Configurazione planimetrica dei macchinari prevista nella fase di scavo all'aperto/trincea con movimento di terra mediante bulldozer

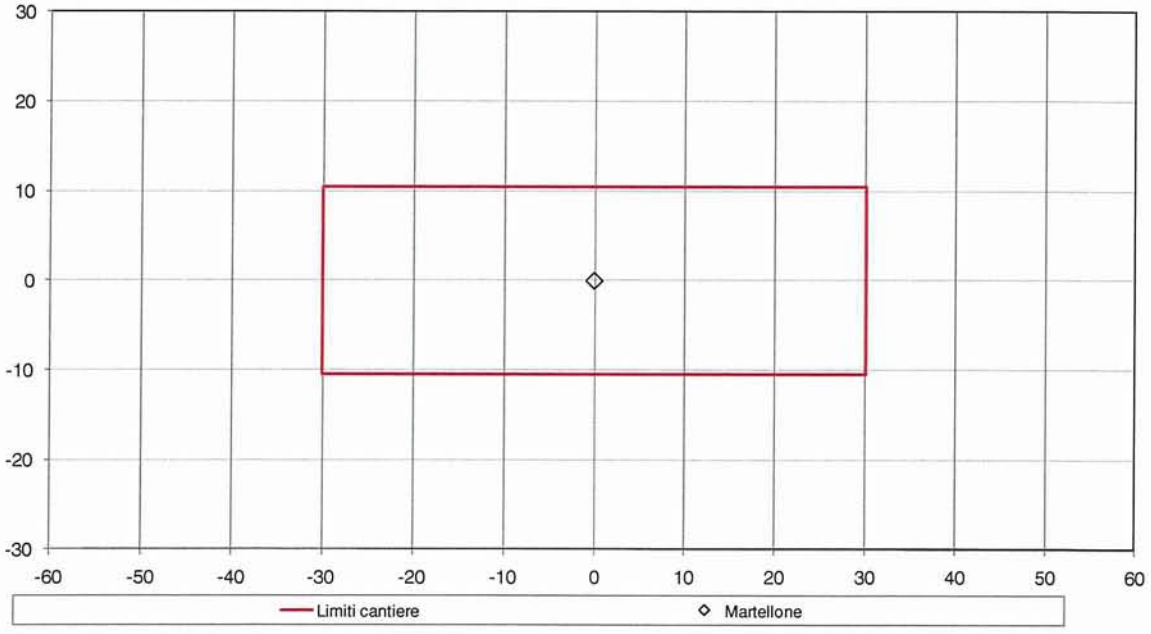


Fig. 14.5 - Scenari D/E: Configurazione planimetrica dei macchinari previsti nelle fasi di scavo/demolizione con martellone idraulico nei tratti all'aperto e di scavo in tradizionale delle gallerie naturali

14.2.2.1 Casi analizzati

La previsione dei livelli vibrazionali emessi in fase di realizzazione delle opere di sede è stata effettuata per ognuno dei 6 scenari di cantiere A-F sopra definiti, tenendo conto della loro localizzazione lungo il tracciato (e lungo la

sezione trasversale), in funzione del profilo tipo riconosciuto nel tratto considerato. In particolare, sono stati analizzati i tipologici di scenario (20 casi) come schematizzato dalla matrice degli scenari della tabella seguente.

		Scenari di cantiere					
		A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**
Profili geodinamici tipo	**S1**		X	X			
	S2	X	X	X	X	X	
	S3	X	X	X	X	X	
	S4	X		X		X	
	S5	X		X	X	X	X

Tab. 14.9 - Matrice degli scenari analizzati: sovrapposizione tra i profili stratigrafici e scenari di cantiere individuati lungo di essi

14.2.2.2 Spettri di emissione dei singoli macchinari

La valutazione dei livelli vibrazionali indotti ai ricettori dai macchinari presenti nelle configurazioni di cantiere previste è stata condotta a partire dalla conoscenza degli spettri di emissione dei macchinari di cantiere, rilevati sperimentalmente in studi analoghi. Tali spettri, misurati ad una distanza di 5m dalla sorgente vibratoria, sono riportati in Fig. 14.6.

Essi sono riferiti alla componente verticale di vibrazione emessa dai seguenti macchinari:

- martello idraulico: Hitachi H50 (FH450LCH.3);
- escavatore cingolato: Fiat/Hitachi – Mod. FH 300 (in fase di scavo e carico autocarro);
- autocarro: Mercedes Benz 2629;
- bulldozer: Fiat/Hitachi – Mod. FD 175;
- rullo: Dynapac – FD 25;
- idrofresa: Rodio Hydromill.

Dalla Fig. 14.6 risulta evidente che il macchinario maggiormente impattante dal punto di vista vibrazionale risulta essere il martellone idraulico, per il quale il livello di accelerazione emessa si mantiene a 5m al di sopra dei 100 dB per una parte considerevole dello spettro. E' tuttavia da segnalare che il valore in assoluto più alto di emissione compete al rullo compattatore per il quale il livello di vibrazione alla frequenza di 40 Hz risulta essere pari a circa 107 dB.

L'idrofresa (assimilata alla palificatrice rispetto al livello di vibrazione emesso ed al contenuto in frequenza relativo) mostra un livello di vibrazione sostenuto ad ogni frequenza, ma non particolarmente impattante se

paragonato agli altri macchinari. Inoltre, va considerato che per le modalità stesse di scavo, l'idrofresa produce un livello continuo di vibrazione di intensità pressoché costante, senza evidenziare picchi temporali improvvisi.

Poiché la disponibilità degli spettri di emissione dei macchinari da cantiere è relativa solo ad una parte delle macchine previste dagli scenari di cantiere, per le informazioni non disponibili si è proceduto assimilando, secondo un criterio cautelativo e di omogeneità, gli spettri mancanti a quelli disponibili. Le assunzioni fatte sono schematizzate in Tab. 14.10.

La definizione del segnale sorgente relativo alla TBM verrà discussa al Par. 0.

Mezzi da cantiere	Dati disponibili	Assimilazioni
Escavatore	X	
Autocarro	X	
Martello idraulico	X	
Rullo compattatore	X	
Idrofresa	X	
Finitrice		Dozer
Palificatrice		Idrofesa

Tab. 14.10 - Dati disponibili sui macchinari da cantiere

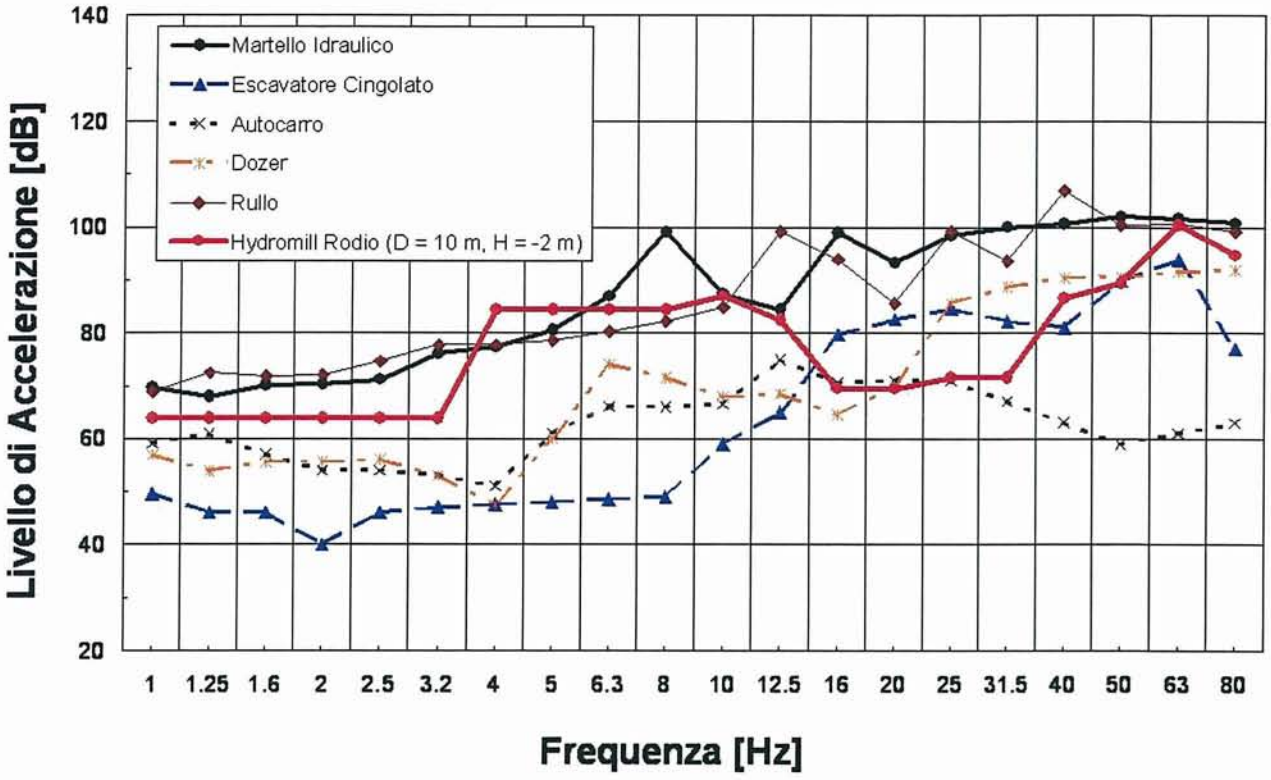


Fig. 14.6 - Spettri di sorgente sperimentali dei macchinari da cantiere, misurati a 5 m di distanza dalla sorgente

14.2.3 Attenuazione nel terreno e livelli di vibrazione ai ricettori

14.2.3.1 Scenari in superficie

In prossimità del piano campagna, l'attenuazione di un campo vibrazionale con la distanza dalla sorgente è principalmente funzione dell'effetto combinato dei seguenti due fenomeni:

- *l'attenuazione geometrica*, legata al fenomeno di propagazione dell'energia vibratoria entro volumi di terreno crescenti con la distanza dalla sorgente. In un mezzo omogeneo essa è legata sia alla geometria della sorgente (puntuale, lineare, etc.), sia alle caratteristiche del dominio sede dei fenomeni propagatori (presenza di frontiere, discontinuità, etc.). L'attenuazione geometrica dipende poi dal particolare tipo di campo vibratorio studiato e si manifesta per esempio in modo diverso per le onde di volume rispetto alle onde di superficie o di interfaccia.

- *l'attenuazione materiale del mezzo*, legata alle caratteristiche dissipative del mezzo all'interno del quale avviene la propagazione di energia vibratoria, in questo caso il deposito di terreno. L'attenuazione materiale del mezzo è un fenomeno complesso risultante dalla interazione di diversi meccanismi, tra cui, quelli ritenuti più importanti, sono le perdite di energia di natura viscosa per attrito tra le particelle di terreno e le dissipazioni dovute al movimento relativo tra fase solida e fase fluida del terreno.

Per modellare i complessi fenomeni associati all'attenuazione di un campo vibratorio con la distanza dalla sorgente esistono, tre possibili approcci:

1. i metodi empirici, mediante i quali la previsione del livello vibrazionale al variare della distanza dalla sorgente viene ottenuta mediante l'impiego di relazioni di attenuazione convalidate dalle osservazioni sperimentali. Nella maggior parte dei casi l'espressione analitica delle relazioni di attenuazione è motivata soprattutto dalla necessità di approssimare al meglio le misure sperimentali e non ha una giustificazione teorica rigorosa.

2. il metodo rigoroso associato alle equazioni della dinamica dei mezzi elastici o viscoelastici, mediante le quali si perviene alla risoluzione del problema di propagazione in un mezzo eterogeneo, ad esempio un deposito di terreno stratificato. Tale metodo si fonda sull'uso del formalismo legato alle funzioni di influenza dinamiche e, pur essendo lo strumento più rigoroso per risolvere il problema della propagazione delle vibrazioni nei terreni, è alquanto oneroso dal punto di vista computazionale.

3. un approccio teorico semplificato che, partendo da alcune ipotesi semplificative del problema, costruisce un modello di attenuazione capace di prevedere in modo accurato (entro i limiti di validità delle assunzioni fatte), la variazione dei livelli vibrazionali con la distanza dalla sorgente.

In questo documento la modellazione del fenomeno di attenuazione del campo vibratorio con la distanza è stata compiuta utilizzando l'approccio teorico semplificato, secondo la procedura seguente.

Gli spettri delle macchine da cantiere, rilevati per la componente verticale a ca. 5 m di distanza, e illustrati in Figura 14.6, sono stati assunti come spettri di sorgente. Tali spettri sono stati propagati con la distanza impiegando una legge di attenuazione definita sulla base delle seguenti assunzioni:

- le macchine da cantiere sono identificate come sorgenti puntuali;
- l'attenuazione dissipativa del mezzo è stata calcolata secondo un approccio teorico semplificato basato sull'ipotesi di mezzo debolmente dissipativo e campo vibratorio costituito in prevalenza da onde di superficie del tipo di Rayleigh;
- l'attenuazione geometrica pertinente alla sorgente puntuale nel campo vicino è stata assunta proporzionale a r^{-1}, mentre nel campo lontano si è considerata una prevalenza di onde di Rayleigh con una legge di attenuazione proporzionale a $r^{-0.5}$.

Pertanto, l'attenuazione delle ordinate spettrali (verticali) associata a ciascuna macchina da cantiere è stata calcolata in condizioni di campo libero mediante la seguente espressione

$$A(r_2,\omega) = A(r_1,\omega)\cdot\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^n \cdot e^{-\alpha(r_2-r_1)} \qquad (1)$$

dove $A(r,\omega)$ è l'ordinata spettrale di accelerazione verticale relativa alla frequenza angolare ω e alla distanza r dalla sorgente, r_1 è la distanza dalla sorgente a cui è stato misurato lo spettro (r_1 = 5 m nel presente caso), r_2 è la distanza dalla sorgente del ricettore. Per l'esponente n sono stati assunti i seguenti valori:

- n = 1.0 per condizioni di campo vicino (near-field)
- n = 0.5 per condizioni di campo lontano (far-field).

Il coefficiente di attenuazione delle onde α varia in funzione delle condizioni di campo vicino (near field) o lontano (far field). In particolare, in condizioni di campo vicino la propagazione delle onde di vibrazione vede una prevalenza delle onde P ed S rispetto alle onde di Rayleigh, per cui il coefficiente di attenuazione α da considerare è α_{PS} (coefficiente di attenuazione delle onde P ed S), valutato come segue (2):

$$\alpha_{PS}(\omega) = 2\pi D f_{centr} / V_S \qquad (2)$$

essendo:

- f_{centr} la frequenza dominante del segnale propagato;
- V_S la velocità media di propagazione delle onde di taglio;
- D coefficiente di attenuazione espresso in valore percentuale.

A partire da una certa distanza dalla sorgente, ovvero quando si raggiungono le condizioni di campo lontano, il coefficiente di attenuazione α da inserire nell'espressione (1) è quello di attenuazione delle onde di Rayleigh α_R (3).

Per il calcolo del fattore di attenuazione delle onde di Rayleigh α_R si applica l'espressione seguente (3):

$$\alpha_R = \frac{\omega}{V_R{}^2} \cdot \left\{ \sum_i^N V_{P_i} \cdot \left(\frac{\partial V_R}{\partial V_P} \right)_i \cdot D_{P_i} + \sum_i^N V_{S_i} \cdot \left(\frac{\partial V_R}{\partial V_S} \right)_i \cdot D_{S_i} \right\} \qquad (3)$$

dove:

- V_R è la velocità di fase delle onde di Rayleigh;
- V_P e V_S sono rispettivamente la velocità di fase delle onde di compressione e di taglio di ciascuno degli N strati che costituiscono il deposito di terreno;
- D_P e D_S sono rispettivamente il coefficiente di smorzamento intrinseco longitudinale e trasversale di ciascuno degli N strati che costituiscono il deposito di terreno;
- $\partial V_R / \partial V_P$ e $\partial V_R / \partial V_S$ sono le derivate parziali della velocità di fase delle onde di Rayleigh rispetto alla velocità di fase delle onde di volume di ciascuno degli N strati che costituiscono il deposito di terreno;
- ω è la frequenza angolare in rad/s della componente vibratoria considerata.

Uno degli aspetti importanti della derivazione dell'equazione precedente, è che il parametro α_R, dipende unicamente dalle caratteristiche geodinamiche degli strati costituenti il deposito di terreno ed in particolare dalla loro rigidezza e dal fattore di smorzamento. La soluzione della (3) viene condotta per via numerica adottando il metodo suggerito in Lai et al., 1998 e Lai et al., 2002 tenendo conto che, nel calcolo di α_R, si è ipotizzato di poter applicare tale relazione per tutte e tre le componenti vibratorie e cioè quella verticale, longitudinale (orientata lungo la direzione cantiere - ricettore) e trasversale (perpendicolare alla precedente, a formare un sistema di riferimento destrorso). Poiché gli spettri di sorgente sono noti solamente per quel che concerne la componente verticale, la componente orizzontale del campo di vibrazione è stata stimata assumendola, ad ogni frequenza, pari a circa 2/3 la componente verticale.

In Figura 14.7 sono riportate le curve di attenuazione risultanti dalla simulazione condotta per i 5 profili tipo individuati (S1, S2, S3, S4 e S5).

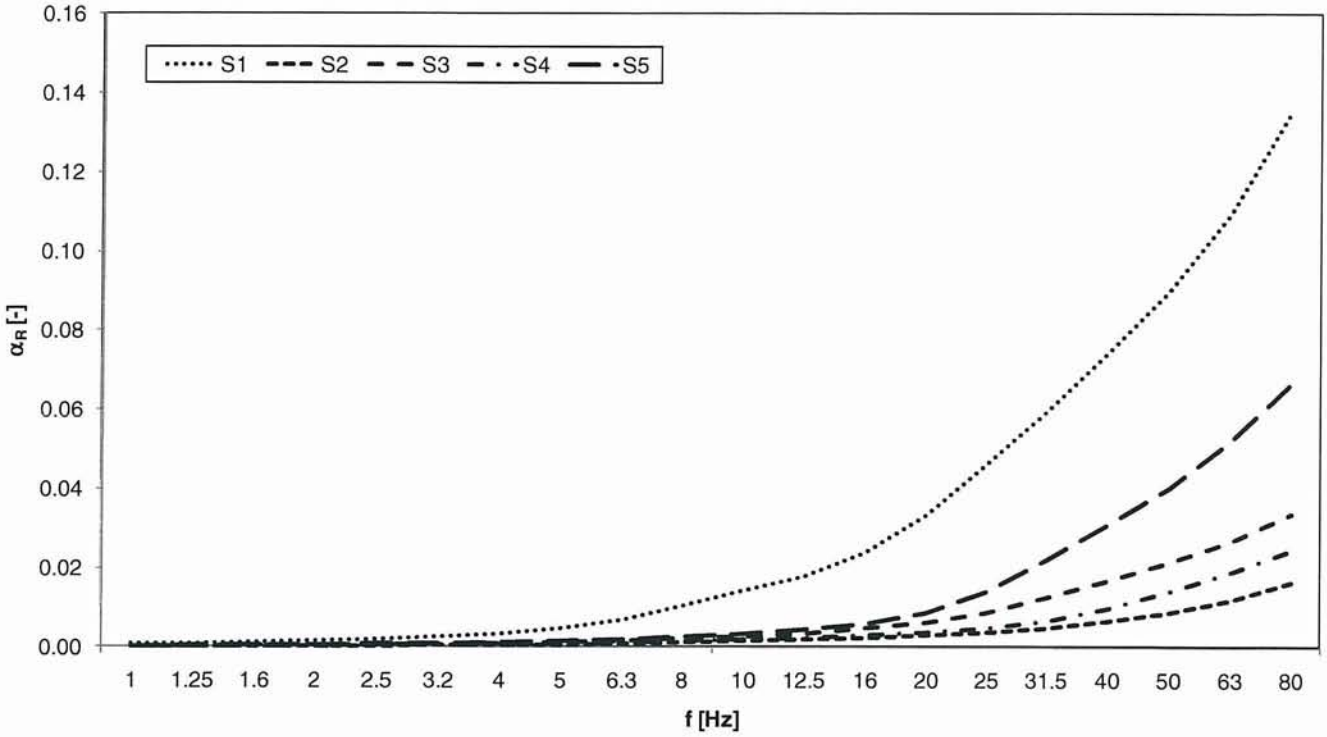


Fig. 14.7 - Curve di attenuazione delle onde di superficie di Rayleigh calcolate sulla base del modello teorico per i 5 Profili S1, S2, S3, S4,S5 individuati

14.2.3.2 Scenario di scavo con martellone idraulico in galleria

Rispetto al calcolo eseguito per la stima dei livelli vibrazionali indotti dalle attività di cantiere schematizzate negli scenari da A - D all'aperto, nel caso dello scenario E di scavo in tradizionale con martellone idraulico dei tratti in galleria la differenza sostanziale è rappresentata dalla presa in conto nel modello di attenuazione dell'approfondimento dello scavo, che si traduce in un minore impatto vibrazionale del macchinario atteso mano a mano che la profondità aumenta.

L'equazione alla base del modello di attenuazione è la (1) adottata per lo scavo con martellone all'aperto, con l'ipotesi ulteriore che entro una certa area di influenza, il cui limite è stimabile in letteratura come pari a 5 volte la profondità della sorgente (Massarsch, 1992), la propagazione delle vibrazioni veda una prevalenza delle onde P ed S rispetto alle onde di Rayleigh. L'influenza della profondità della sorgente (in funzione del profilo altimetrico dell'opera) viene considerata introducendo nella (1) il seguente criterio:

- $D(j) \leq 5d(j)$: n = 1.0 per condizioni di campo vicino (near-field); $\alpha = \alpha_{PS}$;
- $D(j) > 5d(j)$: n = 0.5 per condizioni di campo lontano (far-field); $\alpha = \alpha_R$.

dove D è la distanza dalla sorgente, d rappresenta la profondità, j identifica la progressiva del tratto in analisi e α_{PS} e α_R sono rispettivamente i coefficienti di attenuazione delle onde P – S e delle onde di Rayleigh.

Tale criterio viene applicato nei casi in cui la sorgente si trovi a profondità superiori a 10m dalla quota del terreno.

Il modello di attenuazione di scavo con martellone idraulico a diverse profondità della sorgente (sia all'aperto che in galleria) sopra descritto ed utilizzato nelle analisi è stato validato sulla base di misure sperimentali condotte in

altri progetti e correlazioni di letteratura pubblicate dal Transport Research Laboratory (TRL) inglese (vedi Doc. Rif. [13]), sintetizzate in Fig.14.8.

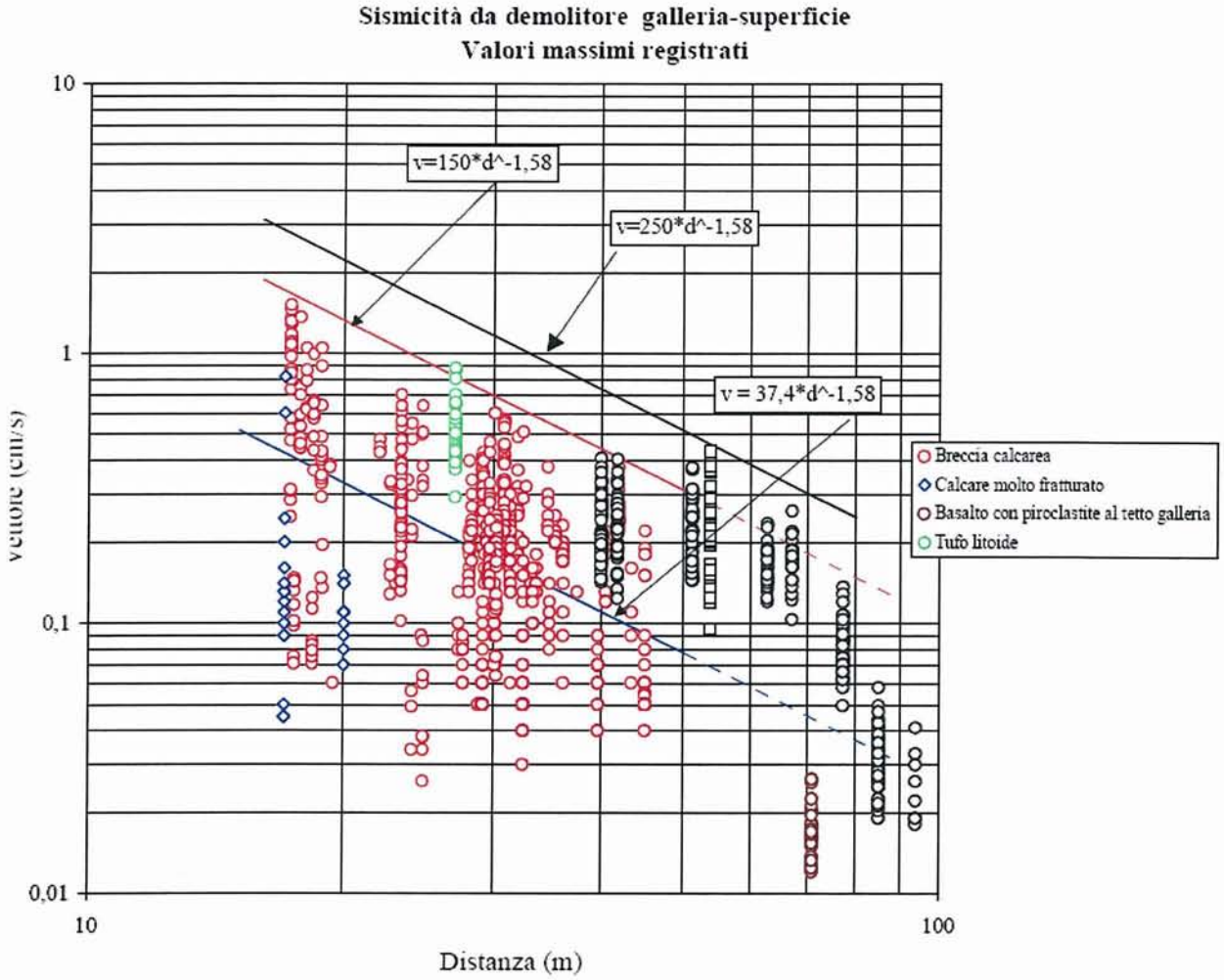


Fig. 14.8 - Velocità delle particelle in funzione della distanza nel caso di scavi in sotterraneo e misure in superficie. I valori diagrammati sono stati ottenuti in campagne di misura relative a diverse formazioni rocciose (Doc. Rif. [2])

14.2.4 Propagazione negli edifici

La valutazione dell'attenuazione/amplificazione del livello di vibrazione nel passaggio entro un edificio può essere condotta individuando i seguenti passaggi:

- dall'esterno dell'edificio al piano terra, o al piano interrato se presente (effetto dell'accoppiamento terreno-fondazioni); l'accoppiamento tra terreno e fondazioni, come emerso da misurazioni effettuate nell'ambito di studi precedenti e confermato da indicazioni di bibliografia (Saurenman et. al, 1982), produce un'attenuazione del livello di vibrazione compresa tra 5 e 10 dB, al variare della tipologia fondazionale, su larga parte dello spettro di interesse;

- dal piano interrato o dal piano terra ad un piano abitato sul perimetro degli orizzontamenti (effetto della risposta della struttura verticale dell'edificio);

- dal perimetro degli orizzontamenti al centro degli stessi (effetto dei solai o piastre di piano).

Gli ultimi due fenomeni comportano due effetti generalmente contrari: il primo di attenuazione ed il secondo di amplificazione, su intervalli di frequenza talvolta diversi.

In accordo con l'assunzione fatta in sede di valutazione di impatto vibrazionale durante la fase di esercizio, nel presente studio è stato considerato quale spettro al ricettore (persona o edificio) da verificare quello calcolato in campo libero non tenendo conto dell'effetto indotto dalle strutture di fondazione, verticali e di piano sul livello di vibrazione all'interno degli edifici.

14.2.5 Composizione dello scenario di cantiere

La stima dei livelli vibrazionali a distanze crescenti dalla sorgente, corrispondenti agli scenari analizzati, è fornita dalla combinazione, frequenza per frequenza, degli spettri di vibrazione relativi alle singole macchine di cantiere. Quale legge di combinazione degli spettri è stata adottata la regola SRSS (Square-Root-of-the-Sum-of-the-Squares) che consiste nell'eseguire la radice quadrata della somma dei quadrati delle ordinate spettrali $A_i(\omega, r)$ relative alle singole macchine (con *N* numero dei macchinari previsti nello scenario di cantiere analizzato):

$\sqrt{A_1(\omega,r)^2 + A_2(\omega,r)^2 + ... + A_N(\omega,r)^2}$ (SRSS).

La suddetta regola, ampiamente utilizzata in analisi strutturale, fornisce una valutazione media, statisticamente fondata, del segnale complessivo generato dallo scenario delle lavorazioni, tenendo conto implicitamente della non contemporaneità delle lavorazioni e della differenza di fase (oltre che del contenuto armonico complesso) dei segnali generati dalle singole macchine.

14.2.6 Risultati delle simulazioni in fase di realizzazione dell'opera: valutazione degli impatti vibrazionali per gli scenari A-B-C-D-E

I risultati delle simulazioni numeriche sono rappresentati attraverso grafici bidimensionali, con le curve di pari livello di vibrazione atteso nell'intorno delle aree sede di lavorazioni. Le figure sono specifiche per ogni scenario di cantiere analizzato: viene rappresentato il caso più critico in termini di livelli vibrazionali indotti al variare della stratigrafia tipo.

Il livello di vibrazione previsto è rappresentato sia in termini di livello globale di accelerazione L_w in campo libero, definito in unità dB secondo la normativa UNI 9614 - per un confronto con i limiti di disturbo alle persone - sia in termini di velocità di picco (determinata a partire dai valori spettrali attraverso un fattore di cresta), per un confronto con i limiti di danno agli edifici. L'area indicata con "Cantiere" al centro delle figure (campita in rosso) rappresenta l'estensione dell'insieme delle attività previste per ogni scenario. Tale area non coincide necessariamente con l'estensione dell'area di cantiere, ma deve essere vista come area effettivamente occupata dai macchinari durante l'esecuzione delle lavorazioni.

Per ciascuno dei 5 scenari di cantierizzazione analizzati (escluso quindi lo scenario di scavo meccanizzato, trattato a parte nel par. 0) i risultati delle simulazioni sono riassunti in forma tabellare al variare della stratigrafia tipo nelle Tabelle dalla 14.11 alla 14.15, mentre, come detto, per il caso più critico (coincidente per tutti gli scenari con le stratigrafie tipo S2 o S3) vengono altresì rappresentati i grafici del livello di vibrazione atteso in termini di accelerazione e velocità di picco (Figure dalla 14.9 alla 14.16).

Limiti vibrazionali (dB) - UNI 9614 -	S1	S2	S3	S4	S5
89	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0
77	20	23	23	23	20
74	33	36	35	35	32
71	51	53	52	52	49

Tab. 14.11 - Scenario A. Realizzazione di pali. Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per le stratigrafie tipo incontrate lungo il tracciato

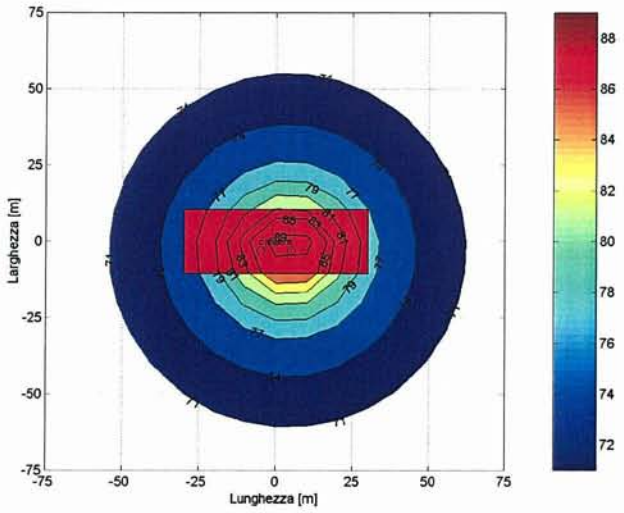


Fig. 14.9 - Scenario A. Realizzazione di pali. Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per la stratigrafia tipo S2 (area di cantiere, in rosso)

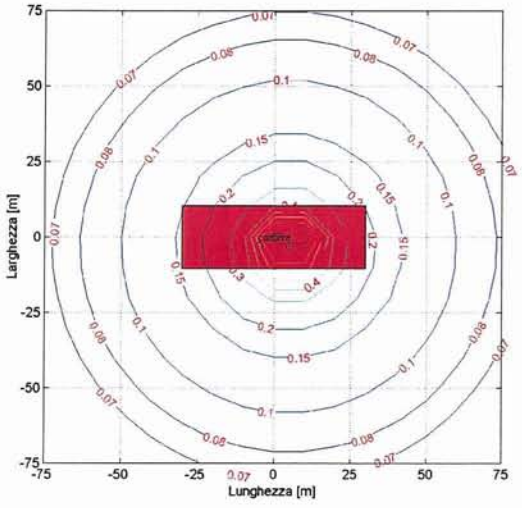


Fig. 14.10 - Scenario A. Realizzazione di pali. Valori di picco di velocità (in mm/s) (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per la stratigrafia tipo S2 (area di cantiere, in rosso)

Limiti vibrazionali (dB) - UNI 9614 -	S1	S2	S3	S4	S5
89	15	14	15	14	15
83	28	29	32	30	29
77	47	65	66	66	59
74	60	97	92	95	83
71	74	140	126	134	116

Tab. 14.12 - Scenario B. Realizzazione del rilevato. Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per le stratigrafie tipo incontrate lungo il tracciato

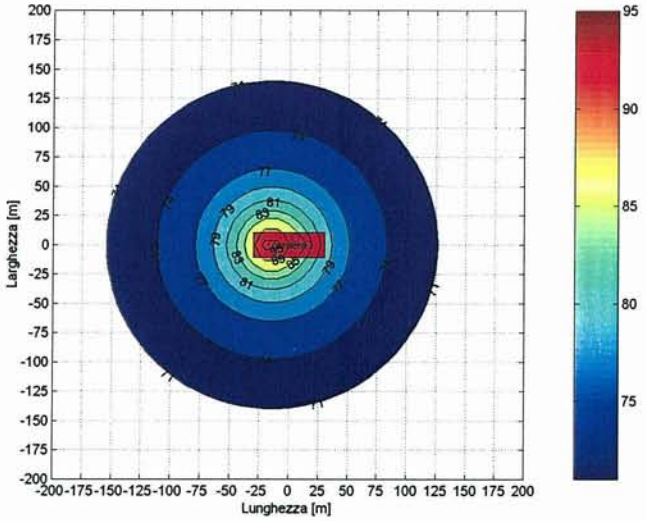


Fig. 14.11 - Scenario B. Realizzazione del rilevato. Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per la stratigrafia tipo S2 (area di cantiere, in rosso)

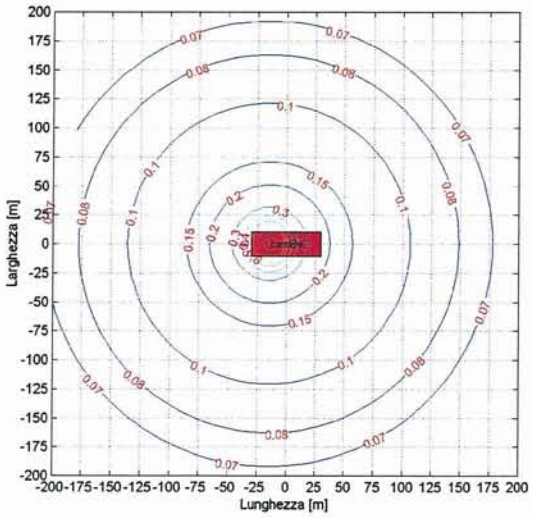


Fig. 14.12 - Scenario B. Realizzazione del rilevato. Valori di picco di velocità (in mm/s) (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per la stratigrafia tipo S2 (area di cantiere, in rosso)

Limiti vibrazionali (dB) - UNI 9614 -	S1	S2	S3	S4	S5
89	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0
77	12	0	13	11	12
74	16	17	20	18	18
71	21	27	30	28	26

Tab. 14.13 - Scenario C. Scavo all'aperto. Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per le stratigrafie tipo incontrate lungo il tracciato

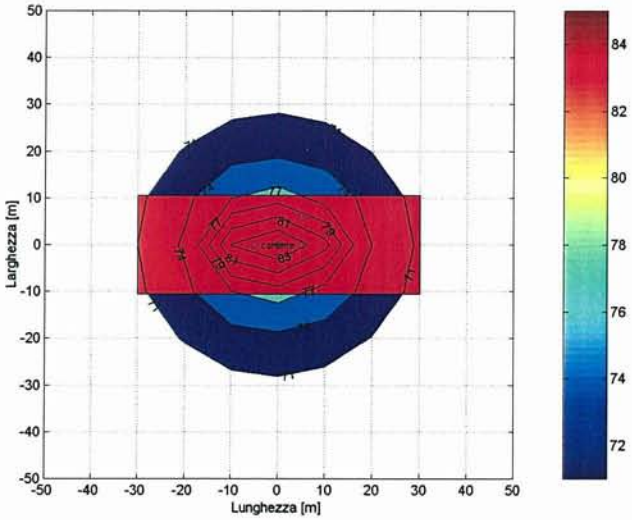


Fig. 14.13 - Scenario C. Scavo all'aperto. Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per la stratigrafia tipo S2 (area di cantiere, in rosso)

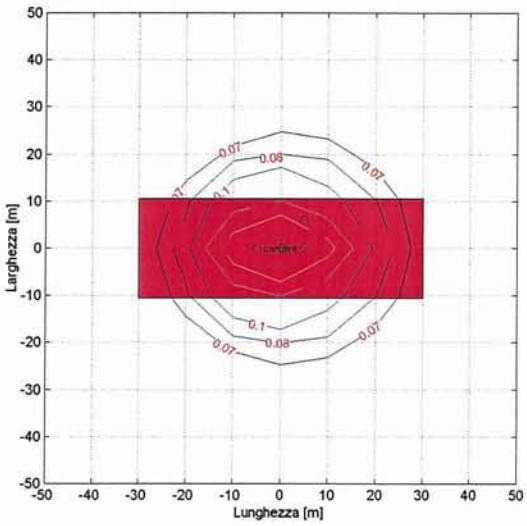


Fig. 14.14 - Scenario C. Scavo all'aperto. Valori di picco di velocità (in mm/s) a distanze crescenti dalla sorgente per la stratigrafia tipo S2 (area di cantiere, in rosso)

Limiti vibrazionali (dB) - UNI 9614 -	S1	S2	S3	S4	S5
89	16	16	16	16	16
83	36	36	38	36	36
77	67	77	85	79	82
74	87	117	125	121	122
71	109	177	179	179	173

Tab. 14.14 - Scenario D. Scavo con martellone idraulico all'aperto. Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per le stratigrafie tipo incontrate lungo il tracciato

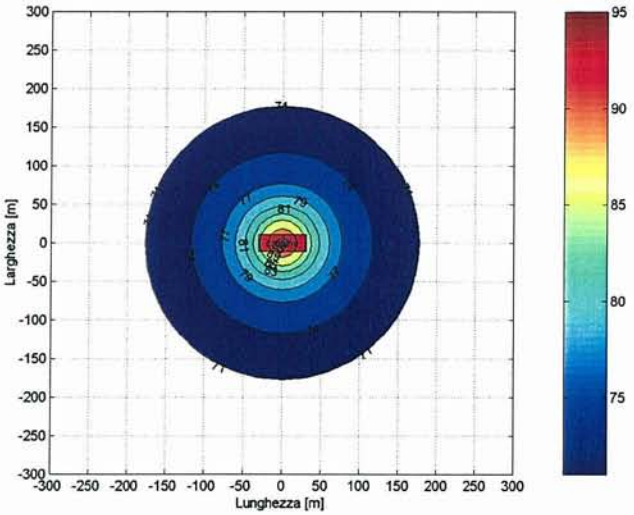


Fig. 14.15 - Scenario D. Scavo con martellone idraulico all'aperto. Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per la stratigrafia tipo S2 (area di cantiere, in rosso)

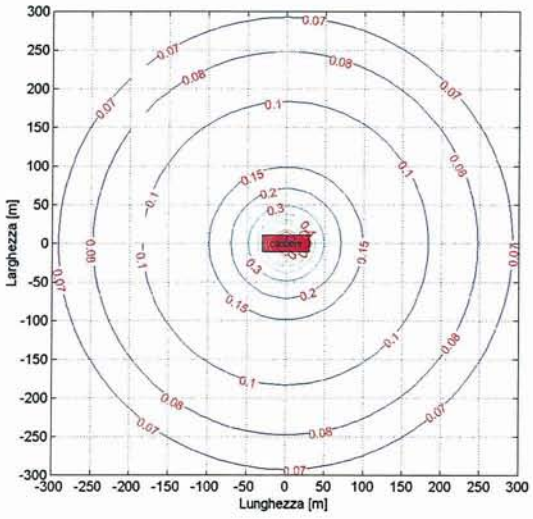


Fig. 14.16 - Scenario D. Scavo con martellone idraulico all'aperto. Valori di picco di velocità (in mm/s) (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per la stratigrafia tipo S2 (area di cantiere, in rosso)

	Limiti vibrazionali (dB) - UNI 9614 -	S1	S2	S3	S4	S5
h = 10m	89	19	18	19	19	19
	83	37	37	38	37	37
	77	68	76	85	78	82
	74	87	115	125	120	121
	71	109	175	179	178	173
h = 20m	89	0	0	0	0	0
	83	20	28	26	27	25
	77	39	61	56	59	54
	74	50	85	76	82	73
	71	64	129	104	120	97
h = 30m	89	0	0	0	0	0
	83	11	18	16	17	15
	77	35	58	52	56	49
	74	47	82	73	79	70
	71	61	114	100	109	95
h = 50m	89	0	0	0	0	0
	83	0	0	0	0	0
	77	21	44	38	42	35
	74	38	74	64	70	61
	71	54	108	93	103	88
h = 80m	89	0	0	0	0	0
	83	0	0	0	0	0
	77	0	0	0	0	0
	74	17	48	38	44	34
	71	38	92	77	87	71
h = 100m	89	0	0	0	0	0
	83	0	0	0	0	0
	77	0	0	0	0	0
	74	0	11	0	0	0
	71	25	76	60	70	54

Tab. 14.15 - Scenario E. Scavo con martellone idraulico in galleria (approfondimenti crescenti). Livelli vibrazionali in dB (UNI9614) a distanze crescenti dalla sorgente per le diverse stratigrafie tipo

14.2.7 Valutazione degli impatti per le attività di scavo della galleria naturale con TBM (scenario F)

Per la realizzazione della galleria naturale GN15 tra le pk 28+527e 36+506 mediante scavo meccanizzato si prevede l'impiego di un macchinario TBM (Tunnel Boring Machine), convenzionalmente denominato fresa. Lo scavo con TBM, impiegato in questo caso per l'attraversamento di roccia competente, è generalmente ritenuto la soluzione ottimale per la riduzione degli impatti dello scavo sull'ambiente circostante, in particolare dal punto di vista della vibrazioni.

Il macchinario TBM è costituito da un fronte anteriore scudato, sul quale è posizionata la testa di scavo rotante, e da una parte posteriore (denominata *backup*), lunga diverse decine metri, destinata a contenere tutti i servizi di supporto al funzionamento della macchina stessa (trasporto dello smarino, dei conci, transito del personale ecc.); per una descrizione di dettaglio si rimanda al Quadro di Riferimento Progettuale.

In un quadro complessivo di emissione continua di vibrazioni, i picchi maggiori si riscontrano essenzialmente durante la fase di scavo (o di spinta) della macchina, in particolar modo durante l'avvio della stessa con tendenza a ridursi non appena la macchina raggiunge il regime quasi stazionario (spinta costante). Le fasi di montaggio dei conci di galleria non generano un impatto vibrazionale significativo, pertanto, la sorgente di vibrazione "fresa" potrebbe essere catalogata ai fini normativi come intermittente (pur applicando qui, nelle verifiche, i limiti più restrittivi assegnati alle sorgenti continue, peraltro gli unici definiti con chiarezza nella UNI9614).

Nello specifico le caratteristiche geometriche del macchinario previsto si ritengono, in via preliminare, le seguenti:

- Diametro esterno dello scudo frontale: 12m
- Potenza installata: 10 ÷ 12 MW
- Massima spinta in avanzamento: ca. 350 ÷ 400 MN
- Lunghezza di backup: 80÷100m.

Per la valutazione dell'attenuazione del segnale vibratorio con la distanza si è adottato un approccio semiempirico per sottolineare, in un modello di propagazione avente basi teoriche, la presenza di parametri derivati da misure.

14.2.7.1 Approcci di letteratura per la valutazione di impatto

La letteratura sul tema specifico della valutazione di impatto vibrazionale durante lo scavo con TBM è piuttosto limitata. Nonostante lo scavo di gallerie in ambito urbano (non a cielo aperto) avvenga generalmente con fresa (lasciando a esplosivo e scavo in tradizionale con martellone quote percentuali residuali), i dati pubblicati di misure vibrazionali condotte in corrispondenza di TBM in funzione sono pochi e generalmente male descritti, tanto da essere sostanzialmente inutilizzabili ai fini progettuali.

Tuttavia, all'interno di tale panorama, sono state reperiti ai fini del presente studio alcuni riferimenti bibliografici di sicuro interesse. Una tra le pubblicazioni più interessanti per la definizione di un metodo progettuale per la stima delle vibrazioni emesse in corrispondenza di lavorazioni di cantiere è il Doc. Rif.[13], pubblicato dal Transport Research Laboratory inglese, dove vengono messi a confronto diversi metodi di scavo in termini di livelli di vibrazione (e di rumore solido) indotto in corrispondenza delle aree circostanti. In particolare, in Fig. 14.17 tratta da Hiller, 2000 vengono rappresentate correlazioni di dati sperimentali ottenuti in diversi siti (caratterizzati da geologie differenti) espresse in termini di variazione della velocità di picco (legata alla verifica rispetto al danneggiamento strutturale) con la distanza dalla sorgente. Si osserva come la tecnica che induce vibrazioni di intensità più elevata sia sicuramente lo scavo con esplosivo: esso manifesta elevati picchi di vibrazione a distanze brevi dalla sorgente (in base all'esperienza specifica degli scriventi da 30-50 mm/s a 25m, fino a 4-10 mm/s anche a 200m di distanza dalla volata), anche se per un periodo estremamente più ridotto (fino a qualche secondo a distanze elevate, in funzione della dimensione della porzione di materiale brillato, del numero di linee di blasting

ecc.). Lo scavo in tradizionale con martellone idraulico induce livelli di vibrazione inferiori rispetto all'esplosivo, ma comunque elevati, sicuramente superiori a quanto indotto dallo scavo con TBM, tecnologia di gran lunga meno impattante (fino al 50% in meno rispetto al martellone, con produzioni superiori e, quindi, con durata di impatto minore).

I suddetti confronti sono svolti sulla base di esperienze di scavi in materiali rocciosi molto competenti (dove è comunque competitivo il metodo di scavo con esplosivo), paragonabili al caso in esame. Per materiali meno rigidi, quali i terreni, le velocità di picco indotte a parità di distanza dallo scavo con TBM decrescono molto velocemente, arrivando a non costituire un problema sia rispetto al danneggiamento, sia con riferimento al disturbo atteso, neanche a breve distanza dallo scavo.

Sempre in Doc. Rif. [13]viene riportata la seguente legge empirica (ricavata da Godio et al, 1992), che fornisce la velocità di picco puntuale V_I (in mm/s) attesa in funzione della distanza r (in m) dal fronte di scavo della TBM (vedi la definizione di r illustrata in Fig.14.18):

$$V_I \leq 180\, r^{-1.3} \qquad (4)$$

La suddetta formulazione risulta molto generica (non viene fatta ad esempio distinzione rispetto alla tipologia di terreni), e quindi impiegabile unicamente per distanze ridotte ($r \leq 100m$) per una determinazione di larga massima dell'area potenzialmente impattata.

La società di costruzioni giapponese Nishimatsu Construction Co. (NCC) ha sviluppato, sulla base di dati di rilievi di vibrazione condotti nel corso di esperienze pregresse, una formulazione empirica sostanzialmente equivalente alla precedente, caratterizzandola però rispetto al diametro del tunnel scavato, oltre che in termini di spinta offerta dalla macchina. Per condizioni geologiche simili a quelle di progetto, il modello NCC fornisce i valori di limite superiore ed inferiore della velocità di picco V_I attesa ad una distanza r, come segue:

$$V_{I,up} \leq 176\, r^{-1.18} \text{ (upper bound)} \qquad (5)$$

$$V_{I,low} \leq 7.4\, r^{-1.07} \text{ (lower bound)} \qquad (6)$$

É immediato osservare dalle relazioni precedenti l'ampio intervallo di valori stimati (in asse al tracciato, il rapporto tra massima e minima velocità risulta pari circa a 20), indice di una grande variabilità di impatto in funzione delle condizioni locali (e quindi di una base di dati impiegata per la caratterizzazione della legge empirica poco "raffinata").

Per ovviare ai problemi connessi all'impiego di una relazione di impatto vibrazionale puramente empirica (per sua natura legata alla base dati di calibrazione), in Rahman, 2007 e Rahman & Orr, 2008 viene proposto un modello di valutazione del segnale vibrazionale da scavo con TBM di tipo semi-empirico nel quale:

a) Il parametro empirico è costituito dalla misura di vibrazione eseguita a breve distanza dalla sorgente di vibrazioni, da valutarsi se possibile attraverso misure sperimentali dirette;

b) L'attenuazione del segnale vibratorio geometrica e intrinseca di natura viscosa è valutata in linea con la teoria della propagazione di onde in mezzi mezzi viscoelastici.

In sostanza, secondo il metodo di Rahman & Orr, il valore V_I (in mm/s) della velocità di picco risultante ad una distanza r (in m) dalla sorgente (definita come sopra), è dato da:

$$V_1 = V_0 \left[\frac{r_0}{r_1}\right]^{\beta} e^{-\alpha(r_1 - r_0)} \qquad (7)$$

dove:

- V_0 è la velocità di picco attesa alla sorgente, valutata entro una distanza dalla stessa per cui sia ragionevole assumere che il segnale vibratorio subisca ridotte modifiche in ampiezza e contenuti in frequenza nell'attraversamento dell'ammasso (campo vicino). È altresì ragionevole considerare tale distanza pari almeno al diametro della fresa: eventuali considerazioni aggiuntive possono essere fatte sulla base di informazioni disponibil sul contenuto in fequenza della sorgente provenienti da misure dirette.

- b esponente della legge di attenuazione geometrica che, per sorgenti puntuali, vale 1 per propagazione delle onde di volume nel mezzo, 0.5 per onde di Rayleigh in superficie;

- a fattore di attenuazione materiale del mezzo, valutato per la propagazione della frequenza dominante del segnale di sorgente attraverso la relazione:

$$\alpha = \frac{2\pi D f_{centr}}{V_S} \qquad (8)$$

essendo:

- f_{centr} la frequenza dominante del segnale propagato;
- V_S la velocità media di propagazione delle onde di taglio;
- D coefficiente di attenuazione.

In Fig. 14.19 (tratta da Rahman, 2007) si riporta in un grafico il confronto in termini di stima delle velocità di picco effettuata attraverso le diverse relazioni prima introdotte, i risultati di rilievi sperimentali condotti durante le fasi di scavo della "Port Tunnel" in Dublino, la simulazione mediante analisi 3D FEM del fenomeno. Si osserva nel lavoro di Rahaman & Orr, 2008 come, grazie anche ad una caratterizzazione di dettaglio della sorgente (svolta effettuando apposite misure nelle vicinanze del fronte di scavo per la definizione del parametro A_0), la relazione empirica proposta ottenga i risultati migliori nella previsione delle velocità di picco. Infatti la relazione empirica di NCC sovrastima o sottostima nettamente i risultati sperimentali, a seconda che si consideri della stessa l'upper o il lower bound, mentre la formulazione di Godio et al., 1992 generalmente sovrastima le velocità di picco misurate.

14.2.7.2 Quantificazione degli impatti: parametri adottati

Sulla base di quanto esposto nel paragrafo precedente, nel presente studio si è adottata la formulazione semi-empirica (7) di Rahman & Orr, 2008 per la stima dei livelli vibrazionali a distanze crescenti dalla galleria in fase di realizzazione.

I valori adottati per i parametri sono i seguenti:

- f_{centr} = 31.5 Hz, definito sulla base delle misure sperimentali effettuate da Di Nicola (2008) durante lo scavo della metropolitana di Torino, e riassunte in Fig. 14.20 dove viene confrontato lo spettro in ottave del segnale vibrazionale, misurato a TBM in funzione e spenta. Si osserva come il macchinario, quando in funzione, propaghi in superficie frequenze generalmente superiori a 10-12.5 Hz; per frequenze inferiori, il segnale vibrazionale della fresa si confonde con il rumore vibrazionale di fondo dovuto alle normali attività antropiche. In via cautelativa, tenuto conto che i terreni attraversati dalla TBM durante lo scavo saranno mediamente più competenti rispetto alla situazione torinese in cui si sono svolte le suddette misure, si adotta una frequenza centrale del segnale propagato mediamente elevata (anche sulla base di quanto indicato da Rahman, 2007, che usa, peraltro senza giustificarlo, un valore della frequenza fondamentale pari a 15 Hz) e pari, come detto, a 31.5 Hz.

- VS media, definita sulla base delle caratteristiche delle formazioni incontrate lungo il tratto interessato dallo scavo con TBM, e assunta pari a VS = 800 m/s
- D = 0.03 (cautelativamente assunta, per entrambi i tratti);
- V_0 = 30 mm/s, assunto sulla base delle misure condotte sempre da Rahman & Orr durante lo scavo con TBM del "Dublin Port Tunnel". Ivi, il diametro della fresa è pari a ca. 10m contro i 12m qui previsti. Tuttavia, considerando anche che il macchinario a Dublino scava in materiale più competente di quanto riscontrato per il tratto S5 (Rahman assume un valore medio di V_S dell'ammasso pari a 1560 m/s), si è qui ritenuto di mantenere il valore di A_0 consigliato dagli estensori del metodo.
- b = 1, considerando prevalente il meccanismo di propagazione per onde di volume del segnale vibratorio all'interno dell'ammasso circostante lo scavo.

Impiegando i suddetti parametri, ed usando la relazione (7) sono stati stimati i valori di velocità di picco A_1 attesi a distanze crescenti dalla traccia in superficie della galleria (parametro *y*) e per ricoprimenti altrettanto crescenti (parametro *d*), con lo scopo di individuare l'area di potenziale impatto vibrazionale.

I risultati sono riportati in termini di velocità di picco in Tabella 14.16, oltre che rappresentati mediante un grafico a superficie in Figura 14.21, per un confronto rispetto ai limiti di Norma UNI9916, relativa al danneggiamento di edifici. In Tabella 14.17 e Figura 14.22 si riportano gli stessi risultati espressi questa volta in termini di livello di accelerazione ponderato per la verifica rispetto al disturbo indotto (UNI9614) ottenuti, a partire dai valori di velocità di picco, come segue:

a) moltiplicando la velocità di picco V_1 per un fattore di cresta pari a 0.71 (UNI9614) per ottenere una stima del valore efficace $V_{1,rms}$;

b) convertendo la velocità in accelerazione spettrale $A_{1,rms}$ ipotizzando il valore di picco/efficace come raggiunto alla frequenza fondamentale di propagazione f_{centr} sopra definita (pari a 31.5 Hz), attraverso la relazione

$$A_{1,rms} = 2\,p\,f_{centr}\,V_{1,rms}$$

c) Esprimendo il valore di accelerazione così calcolato in termini di livello di vibrazione in dB, ponderato per postura non nota o variabile attraverso il corrispondente filtro di Norma UNI9614 (-15dB).

Il livello di accelerazione così determinato, anche se non calcolato a rigore valutando l'intero spettro ma solo considerando l'ordinata spettrale maggiormente impattante, può essere ragionevolmente impiegato per le verifiche rispetto ai limiti di Norma UNI9614.

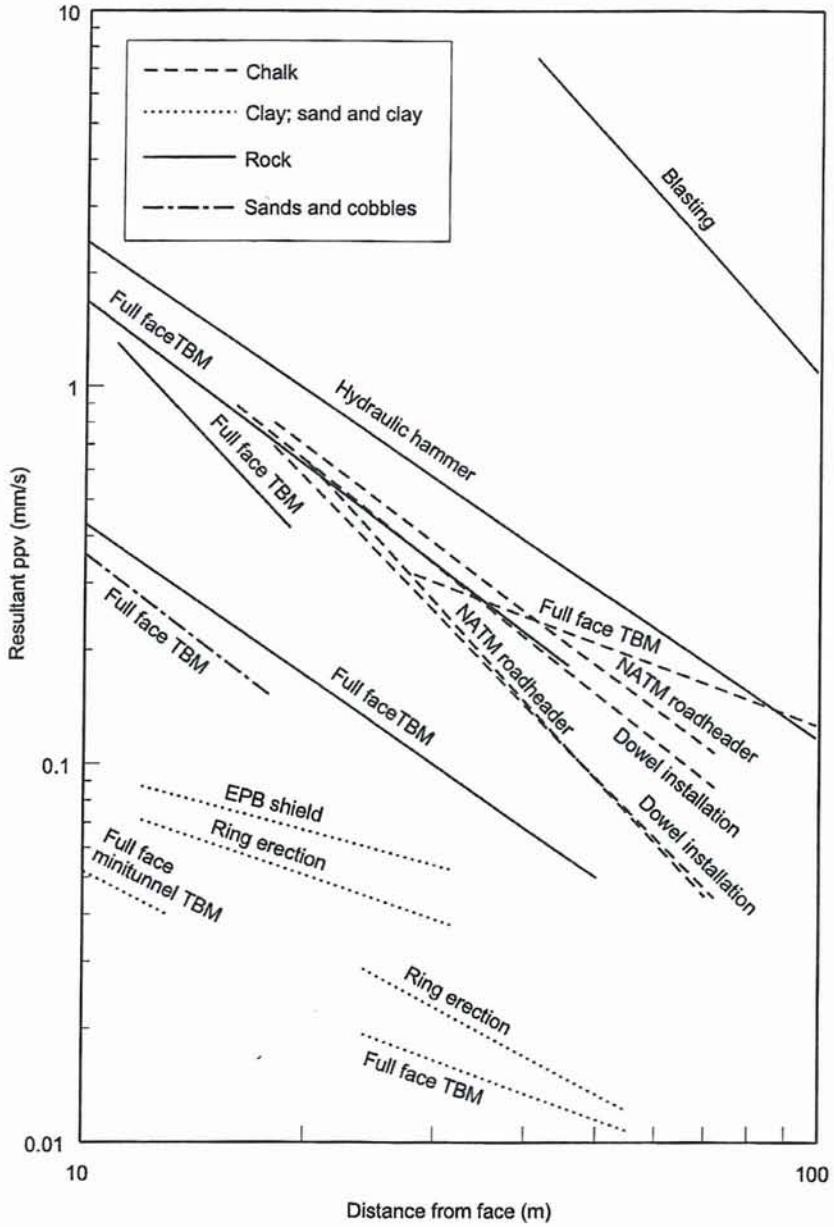


Fig. 14.17 - Scavi di gallerie. Velocità di picco attese a distanze crescenti dalla sorgente per diversi metodi di scavo e caratteristiche dei terreni incontrati (da [13])

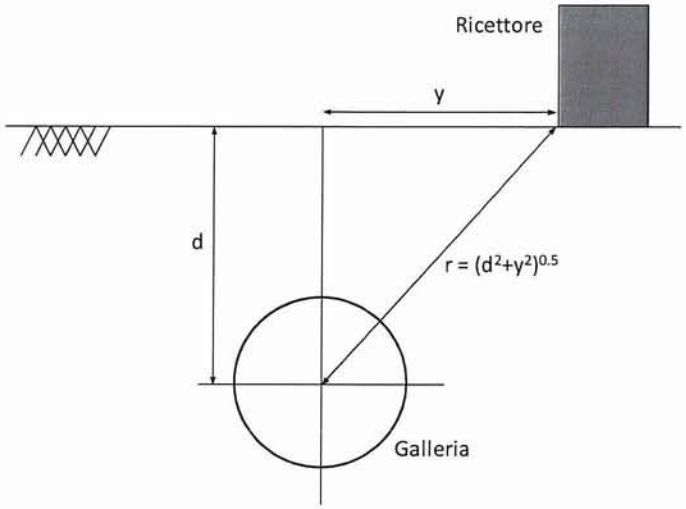


Fig. 14.18 - Scavo di galleria con metodo meccanizzato. Simbologia

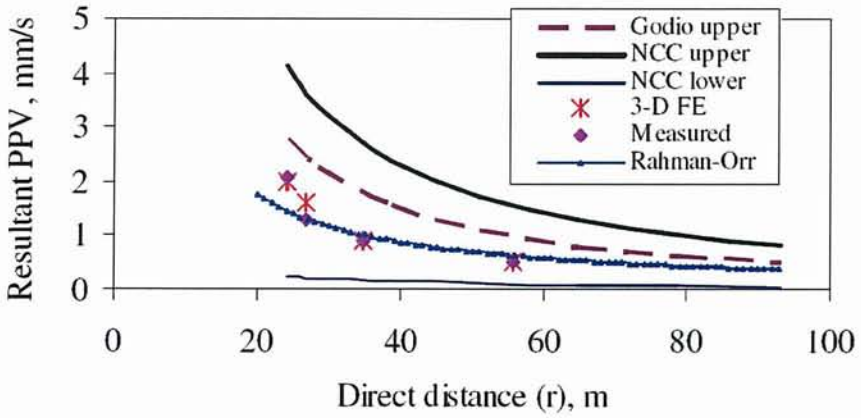


Fig. 14.19 - Metropolitana di Dublino (IR). Confronto tra risultati di rilievi sperimentali (measured) e previsione attraverso relazioni empiriche e semi-empiriche (da Rahman, 2007)

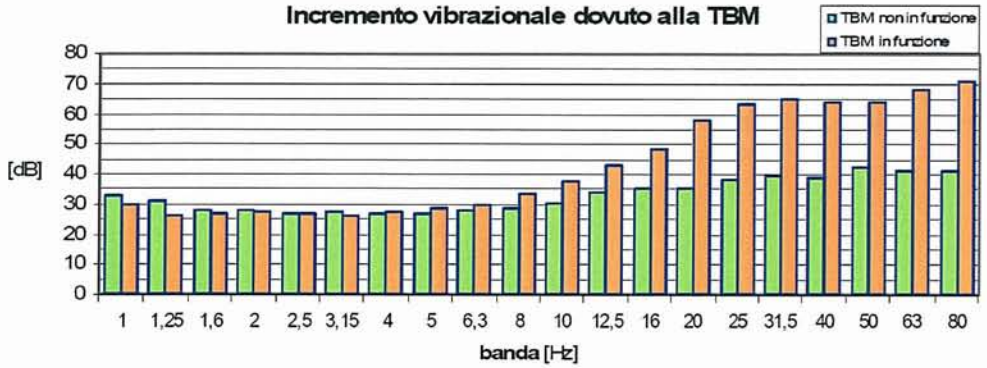


Fig. 14.20 - Scavo meccanizzato. Analisi spettrale del segnale vibrazionale misurato durante lo scavo, a confronto con il rumore di fondo (da Di Nicola, 2008)

	Distanza planimetrica y, m								
Profondità dell'asse TBM d, m	**0**	**10**	**20**	**30**	**50**	**75**	**100**	**150**	**200**
15	1.79	1.46	1.00	0.70	0.39	0.22	0.14	0.07	0.03
20	1.29	1.14	0.86	0.64	0.37	0.22	0.14	0.06	0.03
25	1.00	0.91	0.74	0.57	0.35	0.21	0.14	0.06	0.03
30	0.80	0.75	0.64	0.52	0.33	0.20	0.13	0.06	0.03
35	0.66	0.63	0.55	0.46	0.31	0.20	0.13	0.06	0.03
50	0.41	0.40	0.37	0.33	0.25	0.17	0.12	0.06	0.03
80	0.21	0.20	0.20	0.19	0.16	0.12	0.09	0.05	0.03
100	0.14	0.14	0.14	0.13	0.12	0.09	0.07	0.04	0.03
150	0.07	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.02
200	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.01

Tab. 14.16 - Scavo Galleria GN15 con TBM (Tratto S5). Velocità di picco attese (in mm/s) valutate a distanze e profondità crescenti dall'asse di testa macchina

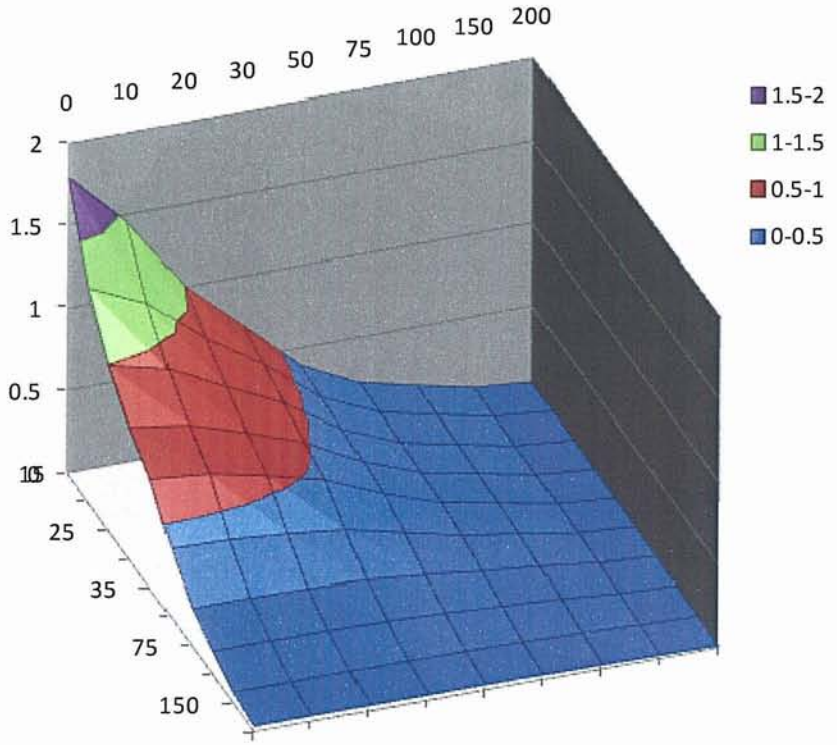


Fig. 14.21 - Scavo Galleria GN15 con TBM (Tratto S5). Grafico delle velocità di picco attese (in mm/s) valutate a distanze e profondità crescenti dall'asse di testa macchina

	Distanza planimetrica y, m								
Profondità dell'asse TBM d, m	**0**	**10**	**20**	**30**	**50**	**75**	**100**	**150**	**200**
15	93	91	88	85	80	75	71	64	59
20	90	89	87	84	79	75	71	64	58
25	88	87	85	83	79	74	71	64	58
30	86	85	84	82	78	74	70	64	58
35	84	84	83	81	78	74	70	64	58
50	80	80	79	78	76	73	69	63	58
80	74	74	74	73	72	70	67	62	57
100	71	71	71	70	69	68	65	61	56
150	64	64	64	64	63	62	61	57	53
200	59	59	58	58	58	57	56	53	50

Tab. 14.17 - Scavo Galleria GN15 con TBM (Tratto S5). Livelli di accelerazione attesi (in dB, pesati per postura non nota o variabile) valutati a distanze e profondità crescenti dall'asse di testa macchina (vedi simbologia di Fig. 14.18). In grassetto, i valori di interesse per la definizione delle aree di impatto

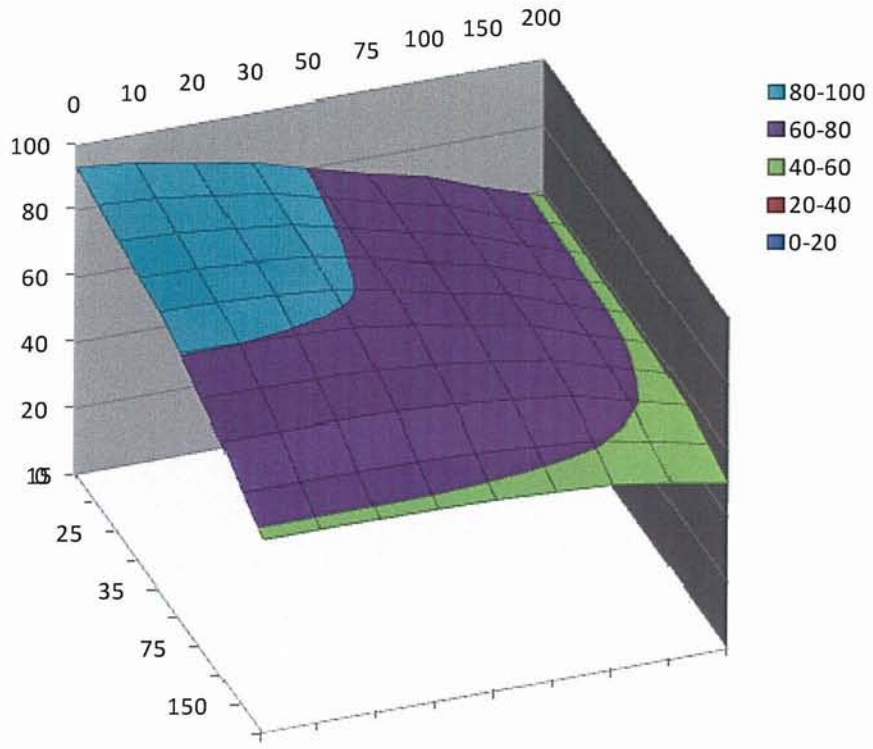


Fig. 14.22 - Scavo Galleria GN15 con TBM (Tratto S5). Grafico dei livelli di accelerazione attesi (in dB, pesati per postura non nota o variabile) valutati a distanze e profondità crescenti dall'asse di testa macchina

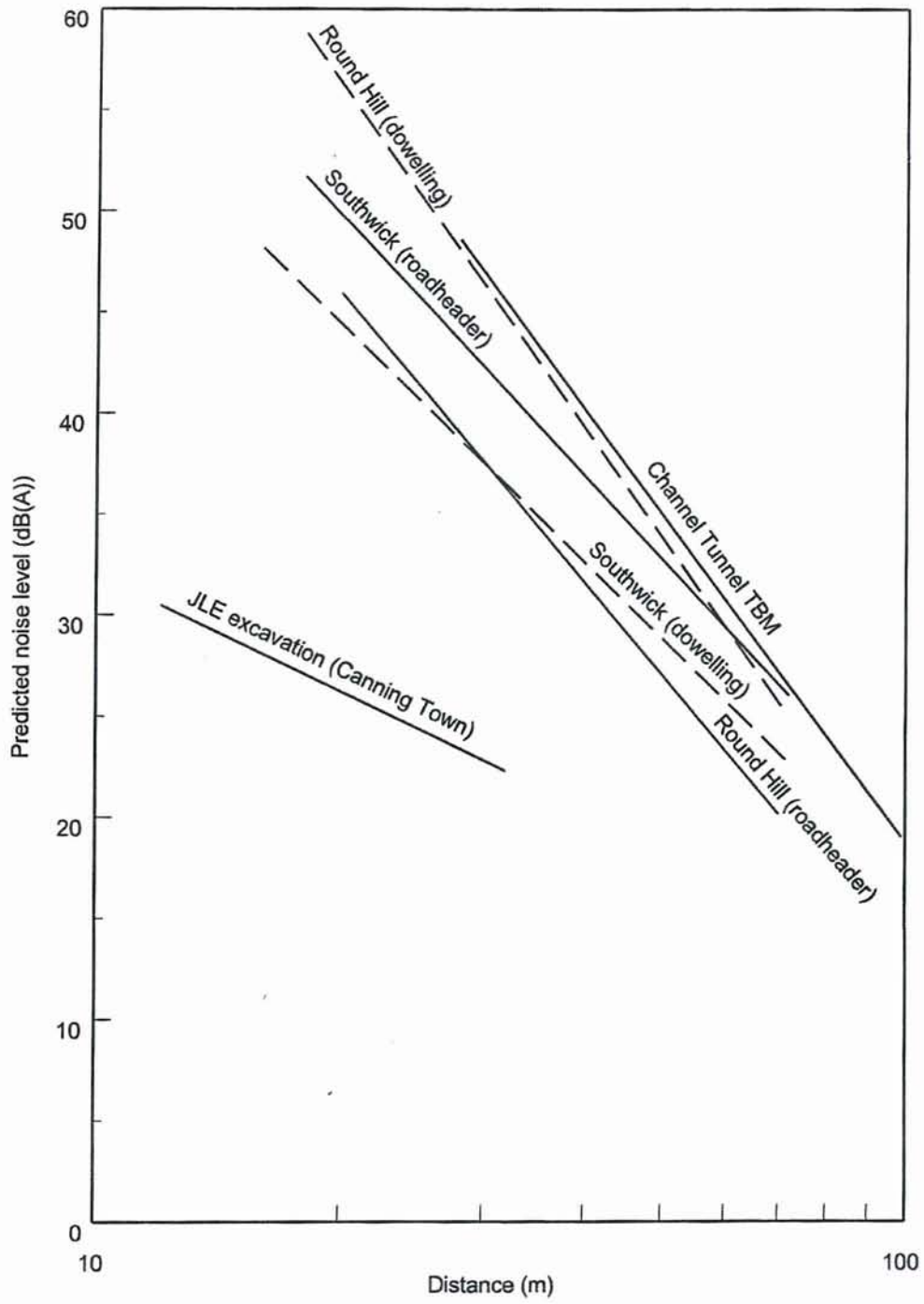


Fig. 14.23 - Scavi di gallerie. Limite superiore del livello di pressione sonora in dB(A) atteso a distanze crescenti dalla sorgente per diversi metodi di scavo e caratteristiche dei terreni (da [13])

14.2.7.3 Scavo con TBM: analisi dei risultati

Sulla base di quanto discusso nei paragrafi precedenti relativamente al livello di vibrazione emesso dallo scavo con fresa, è possibile concludere quanto segue:

- Le velocità di picco di vibrazione attese per il tratto interessato dallo scavo della fresa anche a distanze ridotte ($y < 20$m) e per bassi ricoprimenti ($d \leq 15$m) sono inferiori al limite più restrittivo per il danneggiamento ad edifici di interesse storico-monumentale (UNI9916), pari a 3mm/s per strutture particolarmente sensibili o di grande valore intrinseco (monumenti, edifici storici ecc.). A distanze crescenti il valore di picco scende rapidamente al di sotto di 1 mm/s fino a raggiungere valori sempre più residuali per distanze e profondità più elevate di scavo. Sulla base dei risultati ottenuti, e tenendo conto delle distanze relativamente elevate degli edifici circostanti dal tracciato sembra ragionevole poter escludere che le vibrazioni indotte dallo scavo della galleria con TBM possano produrre effetti di danneggiamento. Quale ulteriore conferma dei risultati ottenuti, si segnala che la stima di una velocità di picco pari a ca. 1 mm/s attesa per una distanza r pari a 20m è in linea con quanto previsto in letteratura (cfr. grafico di Fig. 14.17 per "Full Face TBM") in materiali rocciosi.

- In termini di disturbo indotto alle attività umane, i livelli di vibrazione eccedono i limiti di norma per civili abitazioni durante il periodo notturno in condizioni di ridotto ricoprimento ($d \leq 100$m) e fino a 50m di distanza planimetrica dal tracciato. Tuttavia, si segnala come l'elevata produzione garantita dalla TBM, macchinario destinato a funzionare 24 ore su 24, con avanzamenti in rocce coerenti dell'ordine di grandezza della decina di metri consente una sostanziale riduzione della durata di impatto rispetto a metodi di scavo tradizionali.

- Vale la pena di sottolineare che, non disponendo di informazioni di dettaglio sulla sorgente vibrazionale, la valutazione dei livelli vibrazionali attesi è stata condotta a partire da valori di letteratura del parametro di velocità di picco, individuando la frequenza di vibrazione maggiormente impattante. È lecito attendersi che una analisi più raffinata, svolta propagando non solo il valore di picco, ma tutto lo spettro di vibrazione indotto dalla TBM possa condurre ad una rivalutazione in diminuzione dei livelli di impatto attesi. Pertanto la stima svolta è da considerarsi ragionevolmente cautelativa.

In conclusione, si segnala che il modello semi-empirico impiegato risulta tanto meno affidabile quanto più ci si avvicina alla sorgente dove, in particolare, è importante una definizione accurata (e fondata su criteri statistici di media e scarto, in un' ottica di valutazione di confidenza della simulazione) del parametro V_I di ampiezza del segnale vibrazionale, qui assunto sulla base di esperienze condotte in altri siti. Inoltre, nel campo vicino, la valutazione della propagazione del segnale vibratorio assume caratteristiche di incertezza tali da rendere inapplicabili formulazioni comunque derivate dalla teoria di propagazione delle onde in un mezzo elastico viscoso. Pertanto, se nelle fasi successive di progettazione dovesse essere evidenziata la presenza di nuovi ricettori, localizzati in aree caratterizzate da ricoprimenti inferiori ai 20-30m e posti in prossimità dell'asse al tracciato, sarà opportuno per essi attivare un monitoraggio in continuo delle vibrazioni durante il transito della TBM (da prevedere comunque per la componente di rumore solido). In ogni caso, sarà possibile svolgere misure apposite di sorgente e propagazione del segnale vibrazionale nelle fasi iniziali dello scavo, attraverso l'allestimento di un campo prova presso cantieri in funzione, per la verifica delle considerazioni qui svolte.

14.2.8 Sintesi delle interferenze previste in fase di realizzazione dell'opera

La realizzazione delle opere previste per la nuova tratta AV/AC Ronchi – Trieste, induce potenzialmente un impatto dal punto di vista vibrazionale sull'abitato circostante, con particolare riferimento alle lavorazioni condotte durante il periodo notturno (ad es. lo scavo meccanizzato con TBM delle gallerie), comunque variabile in intensità in funzione del tipo di lavorazione prevista.

Per quanto riguarda i livelli di riferimento di norma da considerare per valutare l'impatto vibrazionale per le attività di cantiere, si considera il limite UNI 9614 dei 74 dB per le lavorazioni notturne (nel caso di scavo in tradizionale e meccanizzato delle gallerie naturali), mentre per tutte le altre lavorazioni, il livello di vibrazione di riferimento rispetto al quale valutare l'impatto è quello dei 77 dB (limite diurno).

Come descritto nei paragrafi precedenti, lo scenario più impattante tra quelli analizzati è quello relativo allo scavo di gallerie ed imbocchi mediante l'impiego di martellone idraulico, soprattutto in corrispondenza dei profili stratigrafici più rigidi S2 e S3 caratterizzati da spessori omogenei di calcari da bassa a media carsificabilità.

Per quanto riguarda i tratti in rilevato, le attività di cantiere in fase di realizzazione dell'opera inducono, nel caso peggiore (profilo stratigrafico S2), livelli vibrazionali superiori alla soglia di disturbo alle persone in orario diurno (77 dB) fino ad una distanza di 65m circa dall'area di lavoro. I tratti con presenza di ricettori entro tale fascia risulteranno pertanto impattati, comunque per un periodo limitato all'esecuzione delle lavorazioni stesse.

Le attività di cantiere previste per la realizzazione delle gallerie artificiali in corrispondenza degli imbocchi inducono un impatto in termini di disturbo alle persone fino ad una distanza di 120m circa (caso peggiore, profilo S2). Al crescere dell'approfondimento della linea, l'impatto vibrazionale si riduce della metà a circa 50 m di profondità.

In corrispondenza dei viadotti, le attività di cantiere presenti sono tali da indurre un impatto vibrazionale contenuto rispetto agli altri scenari.

Per quanto riguarda lo scavo con TBM si rimanda al paragrafo precedente mentre, a riguardo di un eventuale scavo con esplosivo, qui non trattato in fase previsionale, si segnala fin d'ora che esso è tale da indurre livelli di vibrazione sicuramente percepibili, e tali da richiedere un sistema di avvisi alla popolazione che eviti ingiustificati timori in occasione delle volate. Tuttavia, la durata estremamente limitata dell'evento esplosivo riduce di molto l'effetto di disturbo indotto alle attività umane. In ogni caso, andrà previsto in fase preliminare all'esecuzione dello scavo con esplosivo una analisi di rischio per evidenziare strutture e infrastrutture potenzialmente impattate, seguita da volate di prova per la definizione del corretto livello di carica in funzione dei livelli di vibrazione desiderati ai ricettori (soprattutto con riferimento al danneggiamento strutturale).

Localizzando sulla planimetria di progetto gli scenari di cantiere individuati in funzione delle tipologie di lavorazioni previste, è possibile valutare in via preliminare, sulla base della distribuzione dei ricettori, le seguenti tratte impattate in fase di cantierizzazione (vedi Tab. 14.18). I ricettori che risultano impattati lungo il tracciato di progetto sono evidenziati nelle Tavole allegate in Allegato 6.

Come atteso, il tratto che presenta il maggior numero di criticità è localizzato tra le progressive 1+290 – 3+078 dell'interconnessione Udine – Trieste (b.p. e b.d.) e tra le pk. 8+000 e 10+317 della L.S. Venezia – Trieste (B.D.), in corrispondenza dell'attraversamento dell'abitato di Monfalcone. Si evidenzia in particolare la presenza di ricettori impattati non inseriti nel censimento localizzati in prossimità dei tratti in galleria naturale (scavo in tradizionale) tra le pk 14+500 – 14+600 e 18+800 -19+250 ed in corrispondenza dei tratti in galleria naturale scavata mediante fresa tra le pk 32+200- 33+200 (vedi Tabella 14.18 e Tavole in Allegato 6).

Pk di inizio e fine	Scenario	Profilo
1+600-3+500 AV B.P e B.D	Scenario B (rilevato)	S1
4+100-4+500 AV B.P e B.D	Scenario B (rilevato)	S1
5+700-7+200 AV B.P e B.D	Scenario B (rilevato)	S1
12+330-12+725 AV B.P e B.D	Scenario B (rilevato)	S2
14+500-14+600 AV B.P e B.D	Scenari D ed E (galleria naturale)	S2
18+800-19+250 AV B.P e B.D	Scenari D ed E (galleria naturale)	S2
23+000-24+000 AV B.P e B.D	Scenario B (rilevato)	S3
32+200 – 33+200 AV.B.P e B.D.	Scenario F (galleria naturale scavata con TBM)	S5
1+060-1+290 Interconnessione Udine -Trieste	Scenari D ed E (Galleria artificiale)	S2
1+290-3+078 Interconnessione Udine - Trieste.	Scenario B (rilevato)	S2
8+000 – 10+317 L.S. Venezia - Trieste (b.d.)	Scenario D ed E (galleria naturale ed artificiale)	S2

Tab. 14.18 - Tratte impattate in fase di cantierizzazzione. Progressive di riferimento, scenario più impattante e profilo stratigrafico di riferimento

14.3 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte sono costituite sia dai residenti nell'area circostante la linea ferroviaria, sia da attività produttive sensibili alle vibrazioni quali laboratori di precisione o simili.

In generale, come illustrato nel paragrafo precedente, i residenti degli edifici più prossimi alle aree di lavoro potranno risentire dell'impatto vibrazionale generato dall'azione dei macchinari di cantiere. La velocità di avanzamento delle lavorazioni risulta però generalmente elevata (fino a valori dell'ordine di grandezza delle decine di metri alla settimana per lo scavo con TBM), cosicché le ricadute di ciascuna di esse sul singolo edificio dureranno pochi giorni: di conseguenza il livello di interesse della popolazione sarà ridotto.

In caso di lavorazioni particolarmente vicine ad edifici residenziali sarà comunque di fondamentale importanza informare gli abitanti che anche in presenza di risentimento di vibrazioni i livelli di energia a queste associati non sono tali da determinare la possibilità di compromissioni alla struttura dell'edificio e quindi di rischi di qualsivoglia genere.

15 SUOLO E SOTTOSUOLO

15.1 Riferimenti legislativi

Per i riferimenti legislativi relativi alla componente ambientale in esame si rimanda a quanto illustrato nel capitolo 3.

15.2 Descrizione dello stato attuale della componente

Per la descrizione dello stato attuale della componente in esame si rimanda a quanto illustrato nel capitolo 3.

15.3 Valutazione delle interferenze e degli interventi di mitigazione

15.3.1 Potenziali impatti sulla componente

I principali problemi sulla matrice connessi alla costruzione dell'opera possono derivare da degradazione per eventi accidentati dei suoli in corrispondenza delle aree di cantiere e da modifiche delle caratteristiche del terreno vegetale proveniente dallo scotico delle aree di cantiere ed accantonato per il ripristino delle stesse aree.

Per quanto riguarda le variazioni delle caratteristiche pedologiche dei suoli, ivi compresi quelli accantonati per la riambientalizzazione delle aree di cantiere, è inoltre evidenziabile il fenomeno della compattazione generata dai macchinari di cantiere

Le problematiche maggiori in termini di impatto riguardano le terre da scavo; come specificato più ampiamente nell'ambito del Quadro di Riferimento Progettuale:

- le terre da scavo che a causa delle lavorazioni di costruzione saranno miscelate con materiali estranei (bentonite, PVC, vetroresina, ecc.) verranno trattate come rifiuti e quindi conferite a smaltimento;
- le restanti terre da scavo, ove non provenienti da aree contaminate ed ove non riutilizzabili nell'ambito del progetto stesso (come aggregati per il confezionamento di conglomerati o per rilevati) verranno impiegate a fini di riambientalizzazione di aree di ex-cava.

I terreni che fuoriescono dallo scavo con fresa usciranno dalla galleria tramite nastri in corrispondenza del cantiere operativo nell'area di Aurisina: essi si presenteranno con una consistenza fangosa e con contenuto di agenti schiumogeni biodegradabili. Il materiale, dato il contenuto di acqua, dovrà essere steso in idonea area all'aperto per uno spessore variabile da mezzo metro a un metro e mezzo per favorire:

1. il drenaggio dell'acqua di imbibizione;
2. l'evaporazione;
3. la biodegradazione dell'agente tensioattivo.

La stesura del materiale potrà essere effettuata nell'ambito delle aree di stoccaggio smarino previste. I materiali verranno stesi in apposite "piazzole" dedicate e la stesa avrà una durata alcune settimane fino al raggiungimento dell'adeguato grado di umidità. Le piazzole saranno impermeabilizzate con teli in HDPE; le acque drenate verranno collettate in una vasca di raccolta e poi trattate in apposito impianto per l'abbattimento dei solidi sospesi e di eventuali residui di tensioattivi e polimeri.

La procedura di gestione delle terre verrà accompagnata da sistematici test di caratterizzazione dei terreni, finalizzati a verificare la completezza dei processi di biodegradazione e l'assenza di contaminazioni dei terreni che verranno trasportati dal cantiere ai siti di riambientalizzazione.

Oltre agli aspetti prima citati, nel contesto territoriale in cui si situa il tracciato in progetto assumono particolare rilievo, anche nella fase di cantiere, gli aspetti di carattere geomorfologico. Alcune aree di cantiere, infatti, si inseriscono in contesti carsici di particolare valenza, rappresentando, insieme alle piste realizzate per collegarle con la viabilità principale, una potenziale interferenza per determinati elementi del paesaggio morfologico quali le cavità (doline) o i karren.

In particolare:

- L'area tecnica AT04-F2 si inserisce in un contesto caratterizzato dalla presenza di cavità carsiche (numero di catasto: 459, 1378, 3577, 5359, 460, 5360 e 1365);
- Il cantiere di armamento CA04-F2-F6 è posto in prossimità di alcune cavità carsiche (numero di catasto: 1214, 526 e 1597);
- Il cantiere operativo CO03-F2 è posto in corrispondenza di un solco di ruscellamento carsico;
- Il cantiere operativo CO05-F2-F6 si imposta in prossimità della cavità carsica n. 1369;
- Il cantiere di Imbocco Galleria CG07-F2 intercetta un solco di ruscellamento carsico;
- Il cantiere di Imbocco Galleria CG08-F2-F6 si imposta in un'area di Karren;
- Il cantiere di Imbocco Galleria CG09-F6 intercetta alcune cavità carsiche (numero di catasto: 4399 e 1364);
- Il cantiere di Imbocco Galleria CG10-F6 si imposta nelle vicinanze di un'area di Karren.

Ancora più rievante che per le aree di cantiere, per l'avanzamento degli scavi in galleria negli ammassi rocciosi di natura carsica sussistono rischi di intercettazione di strutture verticali complesse (pozzi e gallerie), con conseguenti impatti diretti sul sistema sotterraneo e possibilità di generare crolli.

15.3.2 Interventi di mitigazione

Come evidenziato nei paragrafi precedenti, gli impatti sulla componente suolo non costituiscono impatti "certi" e di dimensione valutabile in maniera precisa a priori, ma piuttosto impatti potenziali.

Una riduzione del rischio di impatti significativi in fase di costruzione dell'opera può essere ottenuta applicando adeguate procedure operative nelle attività di cantiere. Per quanto riguarda la possibile contaminazione dei suoli, in generale tutte le fonti di inquinamento considerate per le acque sotterranee possono contribuire al rilascio di inquinanti anche nel suolo. Di conseguenza le precauzioni che si andranno ad adottare per l'inquinamento delle acque verranno a costituire una mitigazione anche per quanto riguarda l'inquinamento del suolo.

15.3.2.1 Gestione dei terreni di scotico

In tutte le aree di cantiere ad occupazione temporanea o permanente si deve prevedere lo scotico e l'accantonamento del terreno agrario per il suo riporto nelle aree destinate al riuso agricolo o a interventi di rinaturazione.

Le modalità di scotico e di ricostituzione del terreno agrario dovranno comunque attenersi a precise indicazioni al fine di garantire il livello di fertilità preesistente, intesa non solo come dotazione di elementi nutritivi del suolo, ma in generale come "l'attitudine del suolo a produrre", ossia quell'insieme di caratteristiche fisiche, chimiche e

biologiche favorevoli alla vita delle piante. L'accantonamento del terreno dovrà essere eseguito in modo appropriato in quanto è proprio durante tale fase che possono verificarsi fenomeni erosivi, peggioramento della struttura, dilavamento di elementi minerali.

Di seguito si elencano una serie di prescrizioni a carattere generale finalizzate a garantire la corretta conservazione del terreno.

- L'intervento di scotico dovrà riguardare il solo strato attivo di terreno; durante questa fase dovranno essere prese tutte le precauzioni per tenere separati eventuali strati di suolo con caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche diverse. Inoltre, dovrà essere evitata la contaminazione del terreno con materiali estranei.

- Le operazioni di movimentazione dovranno essere eseguite con mezzi e modalità tali da evitare eccessivi compattamenti.

- Per quanto riguarda lo stoccaggio, si dovrà accantonare il terreno di strati diversi in cumuli separati; questi non dovranno comunque superare i 2 m di altezza per 3 m di larghezza di base. I cumuli dovranno essere protetti, tramite semina di idonei miscugli erbacei, dall'insediamento di vegetazione estranea e dall'erosione idrica.

- La permanenza dei terreni in cumuli dovrà essere ridotta al massimo. Il terreno posto a lungo in cumuli, infatti, tende a perdere nel tempo parte della sua fertilità e subisce processi che portano ad un peggioramento della sua struttura, cioè del tipo di aggregazione delle particelle; a ciò si unisce una riduzione della presenza della componente biotica (microrganismi).

Gli interventi di ripristino delle aree di cantiere prevedono la messa in opera di una serie di misure atte a ristabilire la fertilità del suolo e a riportare le aree alle condizioni originarie.

Il terreno derivante dalle attività di cantiere si presenta spesso compattato, privo dell'originario orizzonte organico superficiale e, se non adeguatamente e prontamente trattato, spesso invaso da specie infestanti. Il terreno limitrofo all'infrastruttura, scoticato e compattato dal passaggio di mezzi pesanti, dovrà essere trattato come segue.

Per quanto riguarda il substrato scoticato, esso, prima di poter accogliere la vegetazione d'impianto, verrà pulito da materiali di risulta dei cantieri. Si provvederà, inoltre, all'estirpazione delle piante infestanti e ruderali insediatesi. Il ripristino del suolo prevederà innanzitutto un'aratura profonda fino a 60-80 cm di profondità, al fine di frantumare lo strato superficiale fortemente compattato, nel quale le radici non riuscirebbero a penetrare e l'acqua avrebbe difficoltà di infiltrazione. Sui terreni oggetto di scotico verrà apportata terra di coltivo a costituire uno strato dello spessore di 35 cm circa. A tal fine verrà utilizzato il citato terreno di scotico precedentemente accantonato. La piena ripresa delle capacità produttive di questo terreno avrà luogo grazie alla posa degli strati di suolo preesistenti in condizioni di tempera del terreno, secondo l'originaria successione, utilizzando attrezzature cingolate leggere o con ruote a sezione larga, avendo cura di frantumare le zolle per evitare la formazione di sacche di aria eccessive e di non creare suole di lavorazione e differenti gradi di compattazione che potrebbero in seguito provocare avvallamenti localizzati. Per la fertilizzazione dello scotico si utilizzeranno o concimi organo-minerali o letame maturo (500 q/ha). Allo scopo di interrare il concime o il letame si provvederà a una leggera lavorazione superficiale. Ad integrazione del terreno scoticato potrà venire utilizzato terricciato ottenuto per decomposizione aerobica controllata di materiali vegetali e/o animali e/o torba.

15.3.2.2 Intersezione di strutture carsiche

Di seguito si illustrano le misure che si prenderanno durante lo scavo al fine di verificare l'eventuale presenza di cavità carsiche, e gli interventi progettuali previsti per "inserire" l'opera in galleria laddove siano presenti tali cavità.

Lo scavo nella porzione di tracciato che ricade nei calcari avverrà con sistema tradizionale (esplosivo o martellone demolitore). Il sistema di scavo prevederà un continuo monitoraggio dell'ammasso, sia diretto che indiretto, in corrispondenza di zone caratterizzate dalla presenza di cavità note, mediante:

- sondaggi sub orizzontali in avanzamento, a distruzione di nucleo, della lunghezza di 50 metri;
- per le gallerie a singolo binario a doppia canna ulteriori eventuali sondaggi radiali eseguiti dalla canna che precede la seconda, per indagare in anticipo sulle possibili interferenze con le cavità carsiche presenti sul tracciato della seconda galleria;
- indagine geolettriche eseguite sia in avanzamento, con campo di rilievo variabile da 2 a 5 diametri, sia trasversalmente per un raggio di 20 metri.
- Eventuali sondaggi verticali da superficie, a distruzione di nucleo, da eseguirsi in funzione della localizzazione accertata delle cavità di cui però non è noto del tutto o in parte né l'estensione in orizzontale né lo sviluppo in profondità.

Tale campagna di monitoraggio ha lo scopo di individuare anticipatamente le possibili interferenze con le cavità carsiche, individuare le tipologie di intervento da adottarsi per il superamento delle medesime e tarare le modalità di avanzamento, in modo da rendere minimo l'impatto sul sistema carsico.

Per il superamento delle cavità carsiche riscontrate lungo il percorso si prevedono in questa fase progettuale alcune modalità di intervento intese come indicative e non esaustive di alcuni casi che si potrebbero verificare, che dovranno comunque essere tarate a valle di ulteriori verifiche da effettuarsi nelle succesive fasi progettuali.

La messa in opera di tutti questi sistemi di intervento richiederà la definizione preventiva, tramite campi prova, di procedure operative che consentano di evitare la dispersione di miscela cementizia nelle cavità carsiche. Durante la realizzazione delle opere si prevederà a questo scopo uno specifico sistema di monitoraggio.

Di seguito le modalità di intervento individuate.

1. Cavità vuota, di modeste dimensioni, interessante la zona di piedritto ed una porzione di arco-rovescio: la cavità tende a restringersi verso il basso.

   Modalità di intervento: riempimento con materiale grossolano di pezzatura variabile e completamento con magrone di calcestruzzo (fig. 15.1). Superamento con posa di centine e spritzt-beton.

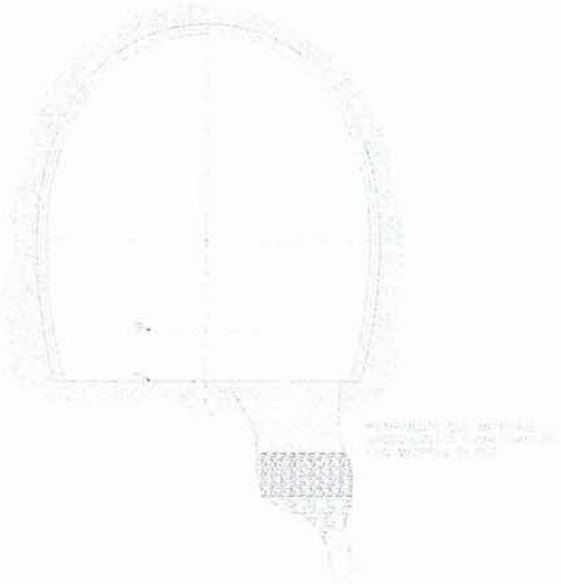


Fig. 15.1 - Schema d'intervento 1

2. Cavità assimilabile a pozzo, vuota, stabile, che si sviluppa sino a profondità non nota, che da una parte si sviluppa orizzontalmente sino a intercettare la galleria su un paramento.

   Modalità di intervento: posa di una cassaforma nel ramo orizzontale della cavità a circa 1-2 m dietro l'estradosso della galleria e successivo riempimento con magrone di calcestruzzo o spritz-beton (Fig. 15.2).



Fig. 15.2 - Schema d'intervento 2

3. Cavità assimilabile a pozzo, vuota, con pareti alterate, di grande diametro che si sviluppa dalla superficie e in fondo tende a restringersi, e che intercetta parzialmente la galleria da un lato.

   Modalità di intervento: posa di spritz-beton sulle pareti verticali del pozzo sin dove possibile. Eventuale consolidamento delle pareti del pozzo con chiodature radiali. Chiusura del fondo con un tappo formato da grossi blocchi e successivo getto di uno strato di magrone di calcestruzzo. Posa di profilati verticali poggiati sul magrone, che raggiungono una quota di 1-2 metri superiore a quella dell'estradosso di calotta, per consentire la chiusura del vano con tavole di legno o lamiere. Riempimento del vano con malta cementizia o malte espansive sino all'estradosso del prerivestimento (Fig. 15.3).

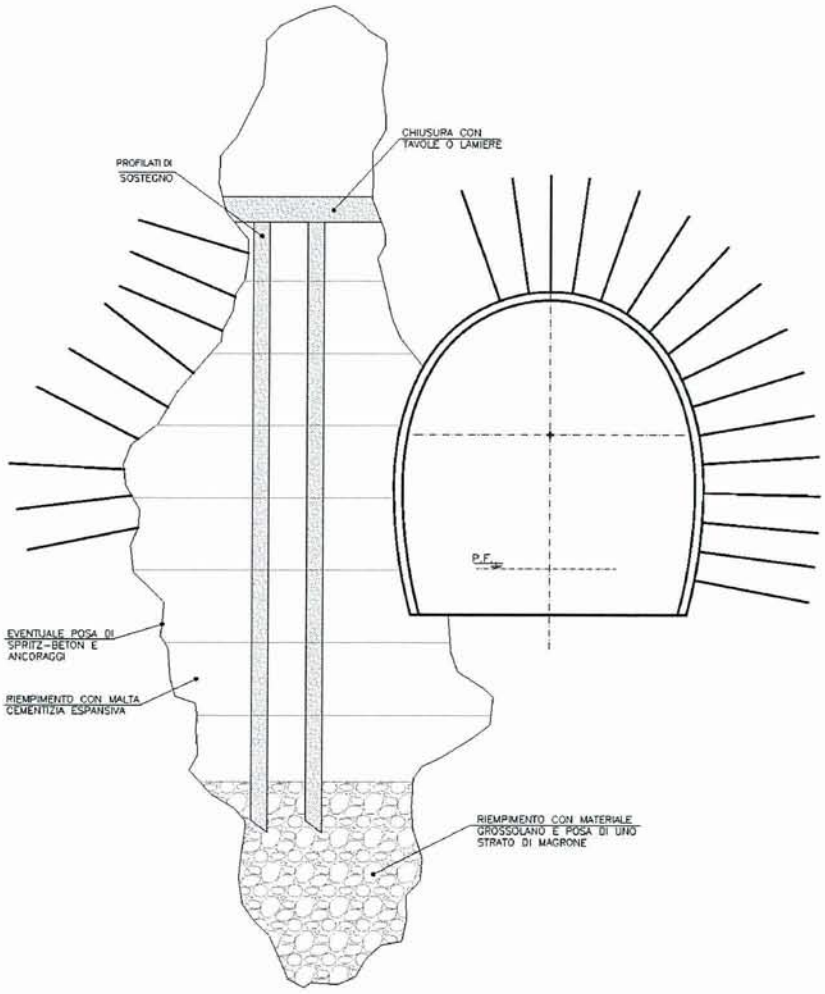


Fig. 15.3 - Schema d'intervento 3

4. Cavità a pozzo, di lunghezza max. 1.00 m in senso longitudinale e profondità non nota che intercetta la galleria in asse (Fig. 15.4).

   Modalità di intervento: posa di putrelle e lamiere al di sotto dell'estradosso dell'arco-rovescio, attraversamento con centine e spritz-beton, successivo riempimento della cavità.

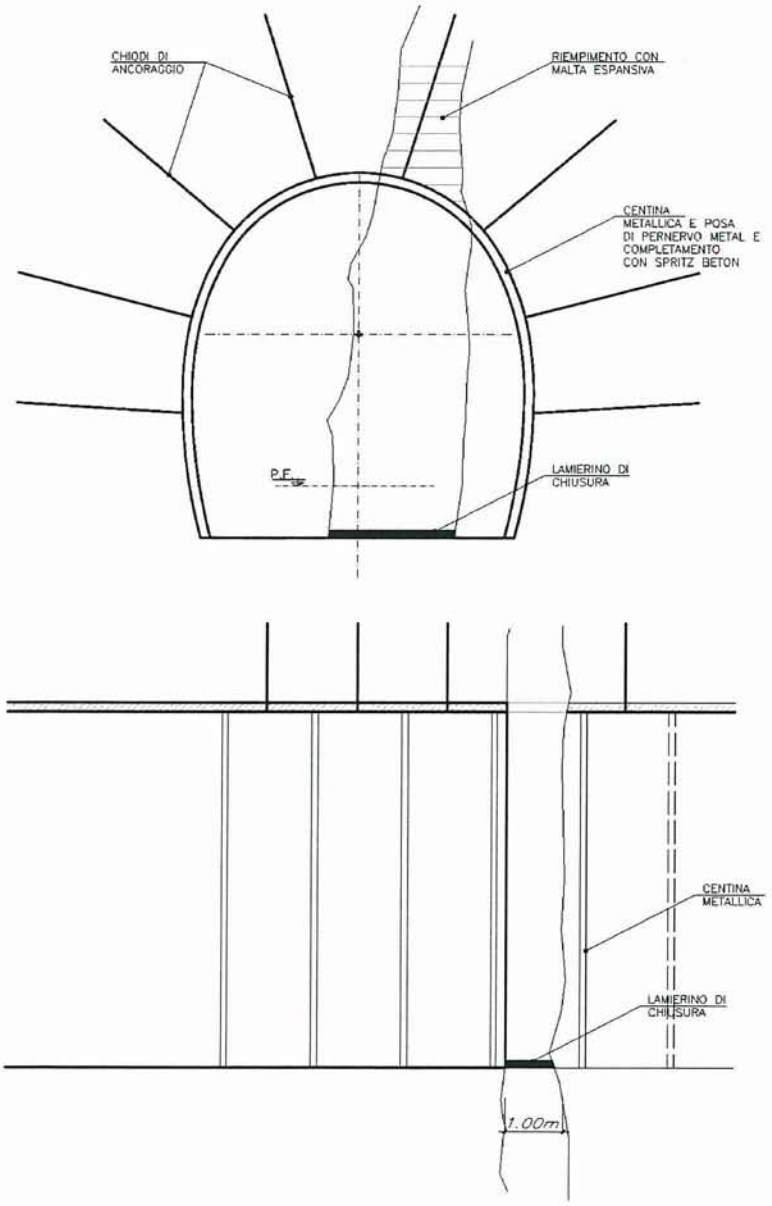


Fig. 15.4 - Schema d'intervento 4

5. Cavità assimilabile a pozzo che intercetta la galleria in asse, di grandi dimensioni con base che si ferma all'altezza dell'arco rovescio, parzialmente riempita sino al piano dei centri della galleria con materiale detritico di grossa pezzatura misto a materiale sciolto (Fig.15.5).

Modalità di intervento: realizzazione di un muro tampone in calcestruzzo, riempimento del vuoto sopra il materiale detritico con malta cementizia iniettata attraverso fori eseguiti nel tampone. Eventuali iniezioni di consolidamento del materiale sciolto attraverso canne valvolate.

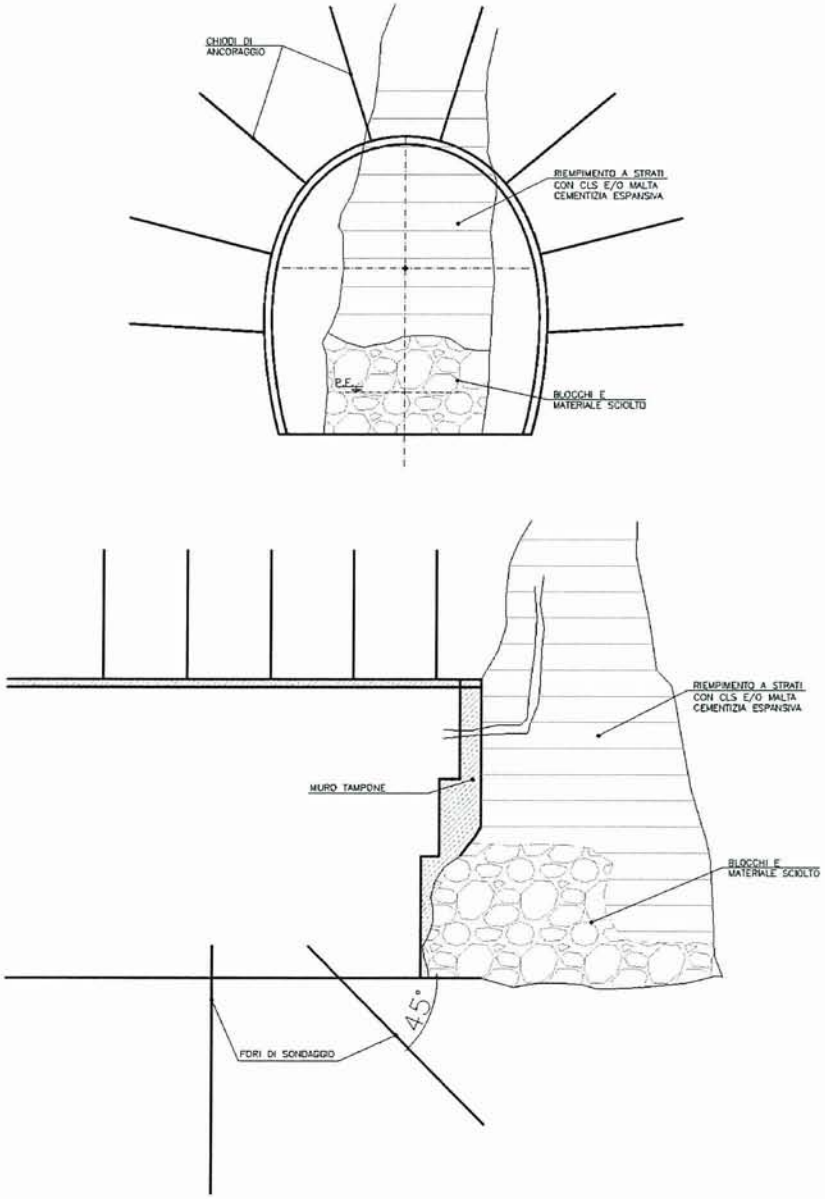


Fig. 15.5 - Schema d'intervento 5

6. Cavità di grandi dimensioni riempita con materiale detritico (blocchi di grosso diametro e materiale fino) che intercetta la galleria in asse (Fig. 15.6)

   Modalità di intervento: Posa al fronte di un tampone in spritzt-beton, esecuzione di iniezioni cementizie di riempimento al fronte tramite canne valvolate. Superamento mediante applicazione di sezione rinforzata con infilaggi metallici in calotta.

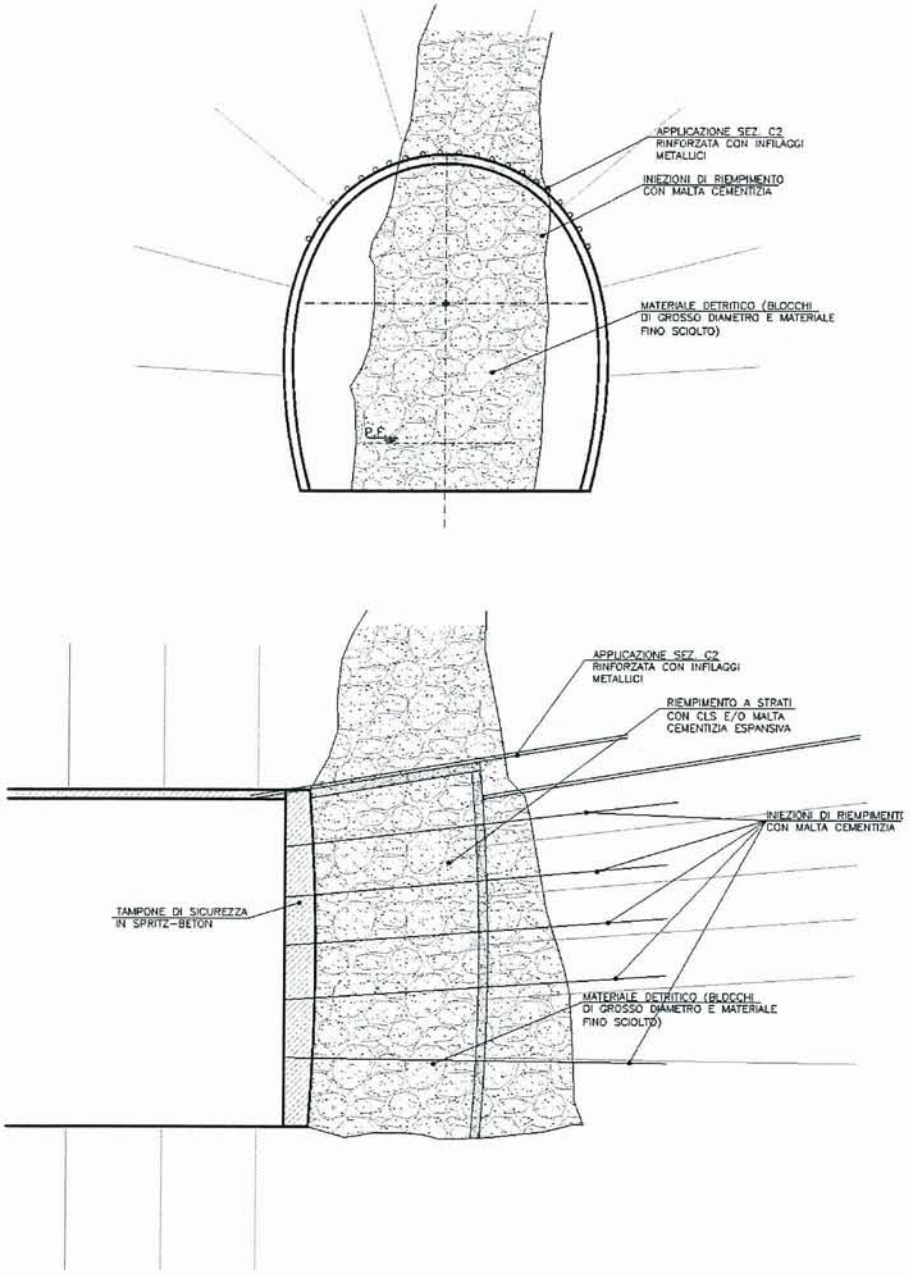


Fig. 15.6 - Schema d'intervento 6

In presenza di forme epigee ed ipogee che interferiscono con le gallerie artificiali policentriche si prevedono le seguenti modalità di intervento:

1. Per forme epigee estese ma comunque di modesta profondità accertata interessanti il fondo scavo, riempiemento con magrone di calcestruzzo direttamente scaricato dalle autobetoniere .
2. Per forme ipogee presenti a pochi metri sotto il piano di fondo scavo, iniezioni di riempimento con malte cementizie attraverso fori verticali armati con tubi valvolati, di profondità da stabilire in relazione ai risultati dei sondaggi superficiali, estese sulla superficie dove ricade l'opera.

15.4 Percezione da parte degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte sono costituite:

- dai proprietari delle aree su cui vengono realizzati i cantieri, che subiranno l'occupazione temporanea delle stesse aree e la successiva restituzione;
- dalle associazioni impegnate nella tutela del territorio e nell'attività speleologica;
- dagli enti pubblici preposti alla difesa del territorio ed in particolare degli elementi caratterizzanti del carsismo.

Con riferimento in particolare a questi ultimi ci si attende che la componente ambientale in questione risulti estremamente significativa.

16 PAESAGGIO, MORFOLOGIA E VISUALITÀ

16.1 Riferimenti legislativi

Per i riferimenti legislativi si rimanda al capitolo 7.

16.2 Descrizione dello stato attuale

Per la descrizione delle aree in cui si inseriscono i cantieri e le aree di lavoro si rimanda al capitolo 7 della presente relazione e al paragrafo 5.2 della relazione nel Quadro di Riferimento Progettuale.

16.3 Valutazione delle interferenze

Le tipologie di impatto riscontrabili in fase di cantierizzazione possono essere sintetizzate in due distinte categorie: quelle strettamente legate alle necessarie operazioni di costruzione e quelle con effetti riscontrabili dai ricettori dell'area.

Tutti gli impatti di natura ambientale (movimenti di terra, polveri, mezzi d'opera in movimento) alterano la morfologia e l'assetto consolidato del contesto paesistico, in maniera tanto maggiore quanto più le interferenze con gli ambiti di naturalità risultano invasive o distruttive e quanto più le misure di mitigazione sono impotenti a coprire la fonte dell'impatto.

Il disturbo prodotto dal cantiere produce la perdita di riferimenti paesistici, tanto da rendere l'impatto della fase di costruzione più forte rispetto a quello in fase di esercizio o a recupero avvenuto; questo è il caso delle opere di cantierizzazione di maggiore dimensione quali i viadotti e le opere di scavalco.

L'impatto che subiscono i diversi ricettori è legato essenzialmente alla percezione dell'entità dei lavori rilevabili lungo i punti di osservazione o di fruizione. I punti panoramici, rialzati rispetto al piano di cantiere, sono, ovviamente, i più sensibili; i percorsi di interesse paesistico o le strade interpoderali in area carsica, oltre ad essere interessate direttamente (a causa di interruzione – sospensione dell'esercizio), subiscono in maniera estesa l'effetto del disturbo e soffrono della perdita di valenza paesistica della fruizione.

16.3.1 Impatti in fase di costruzione

16.3.1.1 <u>Danneggiamento emergenze antropiche</u>

Le uniche emergenze su cui le aree di cantiere provocheranno impatti diretti sono costituite da resti di fortificazioni e trincee della Prima Guerra Mondiale. Si tratta di opere non sempre leggibili nel paesaggio in quanto fortemente alterate, oltre che dall'abbandono, dagli spietramenti effettuati per il recupero dei suoli a fini di pascolo o di rimboschimento dopo la guerra e dalla copertura vegetale esistente.

16.3.1.2 <u>Alterazione elementi naturali biotici/abiotici</u>

Le aree di cantiere interessano, come descritto più dettagliatamente nel capitolo relativo alla componente ecosistemi, alcune aree di valore naturale, all'interno delle quali si pongono come elementi perturbanti rispetto alle caratteristiche del territorio.

16.3.1.3 Alterazione sistemi paesaggistici

L'impatto sul paesaggio generato dalla presenza dei cantieri risulterà evidente, sia pur con un'occupazione circoscritta nel tempo, poiché connoterà l'ambiente dell'area dei lavori in relazione all'ampiezza dei bacini percettivi.

L'operatività dei cantieri influisce sulle condizioni percettive del paesaggio sotto l'aspetto dell'intrusione visiva e dell'alterazione dei sistemi paesaggistici; si tratta tuttavia di impatti limitati nel tempo e, a fine lavori, che potranno indurre la capacità di recupero dello stato originario dei luoghi o di trasformazione degli stessi.

Alcuni siti di cantiere potranno potenzialmente comportare l'insorgere di localizzati effetti positivi sul paesaggio a seguito di vere e proprie operazioni di ripristino dei luoghi inserite in un organico e coerente progetto di recupero.

16.3.1.4 Alterazione della percezione paesaggistica

L'attenta gestione delle aree di cantiere permette il controllo dell'alterazione percettiva dell'ambito interessato dalla costruzione del nuovo tracciato. Tale attenzione dovrà essere prioritaria soprattutto nei tratti di maggiore intervisibilità e percezione dove, attraverso la predisposizione di barriere di mascheramento, anche con l'impiego di valli di terra adeguatamente inerbiti, sarà possibile mitigare la prevedibile interferenza percettiva dei siti di cantiere sul paesaggio circostante.

La presenza delle strutture di cantierizzazione, infatti, comporterà una connotazione del paesaggio in relazione alle diverse tipologie di aree di cantiere e per la presenza delle zone di stretta pertinenza, della viabilità di servizio e delle opere di installazione degli impianti, che richiedono spianamenti, sbancamenti, reti infrastrutturali ecc. concepite *ad hoc*.

Dal punto di vista dei caratteri del paesaggio, sono state distinte 4 tratte omogenee, in funzione degli ambiti paesistici interessati:

- l'area della bassa pianura isontina
- l'area del Carso isontino
- l'area del Carso triestino
- l'area urbanizzata di Trieste

Di seguito si illustrano gli impatti sul paesaggio indotti dalle diverse aree di cantiere; si rimanda al Quadro di Riferimento Progettuale per la visione della documentazione fotografica relativa alle singole aree di cantiere, che consente una più immediata interpretazione di quanto di seguito esposto.

16.3.2 Cantieri ubicati nell'area della bassa pianura isontina

Da inizio progetto (lato Turriaco e San Canzian d'Isonzo) **alla progressiva km 7+500 circa** il tracciato ferroviario di progetto si sviluppa in affiancamento all'esistente linea storica, prevalentemente a monte della stessa, e si colloca nell'ambito paesaggistico della bassa pianura isontina caratterizzato da visuali frammentate; il tracciato ferroviario corre in un territorio pianeggiante dove i campi coltivati si alternano a centri abitati di piccola dimensione, perlopiù caratterizzati da un edificato basso.

Sono previsti in quest'area numerosi cantieri:

- il cantiere base CB01-F2 ed il cantiere operativo CO01-F2 costituiscono i due cantieri di maggior rilievo nell'ambito; sono collocati in un'area incolta antistante l'aeroporto di Ronchi dei Legionari (area

che sarà destinata, poi, alla realizzazione di un polo intermodale), e non costituiscono, a fronte dello scarso valore paesistico del contesto e della futura destinazione d'uso, elementi di impatto significativo;

- l'area tecnica AT01-F2 è una piccola area a fianco della viabilità esistente (via Aquileia), destinata alla realizzazione di un nuovo sottovia. L'interferenza deriva dalla vicinanza con un cimitero: per via del contesto, caratterizzato da un filare di cipressi, l'area di cantiere si configura inevitabilmente come elemento detrattore della qualità dei luoghi;
- i cantieri di armamento CA01-F2 e CA02-F2 non determinano variazioni del paesaggio in quanto localizzati in ambito ferroviario, con ripristino della destinazione d'uso originaria di aree in abbandono;
- l'area tecnica AT02-F2 si sviluppa a fianco di un'infrastruttura stradale esistente; per l'inserimento del cantiere sarà necessario rimuovere la vegetazione presente (filari di robinie sulle scarpate del rilevato stradale) che a termine dei lavori verrà ripristinata. Durante la fase di costruzione l'area di cantiere sarà ben visibile in quanto collocata in un ambito aperto, senza ostacoli visuali;
- l'area di stoccaggio AS01-F2 si colloca in un ambito agricolo; d'altra parte essa sarà occupata unicamente da cumuli di terre da scavo, stoccati per essere riutilizzati, senza strutture od impianti di qualsivoglia genere. Si prevede per quest'area la realizzazione di un mascheramento visivo mediante la costruzione di un vallo in terra (realizzato con il terreno di scotico da utilizzare per il ripristino finale, e quindi da mantenere per l'intera durata dei lavori) adeguatamente inerbito;
- le tre aree poste a nord dell'abitato di Monfalcone, ai piedi dell'altopiano carsico (AS02-F2, CO02-F1-F2, CB02-F1-F2) sono ubicate in un ambito paesaggistico agricolo di margine urbano, parzialmente in abbandono e compromesso da interventi recenti con conseguente realizzazione di grandi volumi edilizi e di ampie aree di parcheggio (compresi in particolare, oltre a capannoni sede di attività produttive, l'area commerciale Emisfero e l'Ospedale S.Polo) oltre che dalla presenza delle infrastrutture ferroviarie, ormai storicizzate. Di conseguenza, l'inserimento dei cantieri in tali aree non determina particolari problemi. Il numero di ricettori visivi è abbastanza elevato, poiché si prevede che le aree di cantiere saranno visibili sia dai piani alti dell'ospedale che da alcuni quartieri a carattere residenziale; il cantiere operativo sarà mascherato (ma non nei riguardi dei punti di vista più elevati) da una barriera antirumore, di altezza prevista pari a 5 metri; per l'area di stoccaggio si prevede un vallo in terra inerbito, sul lato esposto ai ricettori residenziali;
- l'area potenziale di stoccaggio AS03-F2 non determina problematiche evidenti, con riferimento alla componente in esame, essendo inserita in un ambito prettamente industriale.

16.3.3 Cantieri ubicati nell'area del Carso isontino

Tra il km 7+500 e il km 13+100 circa la nuova linea attraversa l'ambito paesaggistico dell'altopiano goriziano. La morfologia è caratterizzata da un sensibile innalzamento di quota rispetto alla pianura, con alternanza di alture e pianori, e il terreno appare coperto da vegetazione arboreo-arbustiva, con presenza a tratti di radure ma anche di impianti di rimboschimento di conifere. L'area risulta significativamente segnata dalle infrastrutture stradali (autostrada A4 e casello del Lisert).

Rientrano in quest'area importanti ambiti di naturalità, con l'attraversamento di aree a pregio paesaggistico nei pressi del lago carsico di Pietrarossa e della palude di Sablici. I fenomeni di carsismo con risorgenza delle acque rappresentano un fenomeno eccezionale che si manifesta proprio in questo tratto, per cui i laghetti carsici, inclusi nell'elenco dei corsi d'acqua regionali e le relative fasce di rispetto per la profondità di 300 m, le zone umide e i boschi circostanti sono tutelati ai sensi dell'art. 142 del D.Lgs. 42/2004 (già 431/1985).

Sono previsti in quest'area i seguenti cantieri:

- cantieri di imbocco galleria CG01-F1, CG02-F2, CG03-F2, CG04-F2: si tratta di aree collocate in ambiti di landa carsica o di boscaglia carsica, in generale poco visibili data la presenza di vegetazione e data la lontananza da ricettori e da vie di transito. Va evidenziato che i cantieri e le piste per accedervi interferiscono, invece, con una rete di sentieri impiegati dagli abitanti dell'area prevalentemente a scopo ludico-sportivo, ed inseriti in parte nell'ambito del Parco Tematico della Grande Guerra. La struttura di cantierizzazione genererà inevitabilmente disagi su questa forma di utenza, che risentirà in maniera diretta delle variazioni indotte sul paesaggio;

- cantieri CG05-F2 e AT03-F2: sono collocati in un ambito boscato, con le stesse caratteristiche dei precedenti, ma pure in corrispondenza dell'autostrada A4, già significativo detrattore del paesaggio, ancorché nascosto alla vista di chi percorre a piedi le strade sterrate esistenti dalla fitta vegetazione arbustiva. I cantieri saranno visibili, ovviamente, anche ai fruitori dell'autostrada; la velocità di percorrenza e la posizione ribassata del tracciato viario fanno sì che nei riguardi di questi ultimi soggetti l'impatto possa essere considerato di minore entità;

- cantieri CB03-F2, CO03-F2, CG06-F2, CG07-F2 nell'area di Sablici: i cantieri interferiscono significativamente con la percezione del piccolo centro abitato, posto in posizione sopraelevata e panoramica al di sopra dello svincolo di Monfalcone Est. L'area è già caratterizzata negativamente dalla presenza delle infrastrutture autostradali e della linea ferroviaria storica; i cantieri saranno particolarmente visibili per coloro che percorrono la S.S.55, che costituisce un interessante asse panoramico in quota.

16.3.4 Cantieri ubicati nell'area del Carso triestino

Dal km 13+100 al km 24+500 le opere di cantierizzazione interessano l'ambito paesaggistico del Carso Triestino, in buona parte coperto da boschi. L'area risulta caratterizzata da elevati valori paesistici, determinati dalle strutture tipiche dell'ambiente carsico, campi solcati, doline, grotte, ecc.

In questa zona i cantieri vengono ad interessare quattro aree distinte:

- l'area di Ceroglie dell'Ermada, dove si trova il cantiere operativo CO01-F2. Il cantiere verrà collocato in un ambito di boschi e radure residue, non visibile da ricettori residenziali né da infrastrutture viarie. La zona è caratterizzata da un elevato pregio naturalistico per cui l'insediamento del cantiere, e la necessità di adeguamento delle attuali viabilità forestali per realizzare una pista per il transito dei mezzi di cantiere, determineranno un significativo impatto. La percezione del cantiere sarà però estremamente limitata; esso potrà essere visibile unicamente da qualche parte della frazione di Ceroglie e dai frequentatori dell'area boscata;

- l'area dell'abitato di Visogliano, che verrà interessata dalla realizzazione dell'area di cantiere base CB04-F2: si tratta di un'area ad uso residenziale, che verrà inserita in un ambito residenziale, e che quindi non determinerà un impatto significativo sull'assetto dei luoghi;

- l'area di Aurisina cave, dove si prevede la realizzazione di due aree di stoccaggio terre (AS04-F2-F3 e AS05-F2-F3) nell'ambito di due cave abbandonate. La morfologia dei luoghi, la presenza di cortine arboree e l'uso storico delle stesse cave, oltre che l'assenza sostanziale sia di ricettori che di assi visuali di percorrenza, fanno sì che l'impatto generato dalle attività di cantiere in tali aree possa essere considerato trascurabile;

- l'area della stazione di Aurisina, dove si prevede l'installazione di una serie di importanti cantieri, che fungeranno da supporto per la realizzazione delle opere di maggior impegno della tratta: si tratta dei cantieri CG08-F2, CA04-F2-F3, CO05-F2-F3, CB05-F2-F3, AS06-F3, AT05-F2, CG09-F3. Tali cantieri saranno in buona parte localizzati nell'ambito della sede ferroviaria esistente, ma anche

all'esterno di essa, in aree di valore naturalistico. I cantieri nell'ambito urbanizzato della stazione risulteranno visibili soprattutto ai viaggiatori che transitano in treno, oltre che ai residenti negli edifici immediatamente prospicienti. I cantieri di imbocco galleria e le aree tecniche e di stoccaggio sono invece poste in ambiti di boscaglia carsica, non attraversati da infrastrutture e quindi sostanzialmente non visibili.

16.3.5 Cantieri ubicati nell'area urbanizzata di Trieste

Nell'ambito dell'area di Trieste sono previsti 4 cantieri principali. Tre di essi sono posti in aree ad uso ferroviario od industriale e non determinano alcun tipo di ricaduta su aspetti di carattere percettivo: si tratta dei cantieri CB06-F3, CO06-F3, CA05-F3.

Il cantiere CG10-F3 è invece collocato in posizione dominante sulla cima della collina di Scorcola, in un'area attualmente occupata da verde residuale a monte del Parco Santa Giulia. Data la conformazione morfologica del territorio, il cantiere sarà visibile dalle aree circostanti, ai piedi della collina, oltre che dalle abitazioni lungo la via Marziale. Si tratta comunque di un cantiere di durata limitata, in quanto destinato unicamente alla realizzazione di un pozzo di ventilazione. Già per questioni di carattere acustico sul perimetro del cantiere verranno poste delle barriere antirumore (altezza prevista in questa fase: 5 m), grazie alla quale esso potrà essere mascherato, per cui l'interferenza visiva sarà limitata ai macchinari più alti, inevitabilmente presenti per le lavorazioni implicate.

16.3.6 Interventi di mitigazione previsti

Date le caratteristiche dei cantieri precedentemente illustrate e la loro localizzazione, non sono identificabili interventi di mitigazione specifici: si prevede pertanto la realizzazione di barriere antipolvere ed antirumore che verranno disposte sul perimetro di tutti i cantieri posti in prossimità di aree urbanizzate. Tali barriere contribuiranno anche all'efficace mascheramento degli impianti e dei macchinari (o almeno di quelli di minore altezza) riducendo un poco l'impatto visivo dei cantieri stessi.

In corrispondenza delle aree di stoccaggio terre si prevede invece di realizzare un vallo perimetrale con terre di scotico che, opportunamente inerbito, verrà a formare anch'esso un ostacolo alla percezione dell'area.

16.3.7 Percezione degli stakeholder

Le parti esterne coinvolte dalla componente ambientale in questione sono costituite:

- dalla Soprintendenza per i Beni Architettonici e Paesaggistici per la Provincia di Gorizia e Trieste;
- dagli Enti preposti alla tutela e alla gestione delle aree naturali protette;
- dai residenti nell'area circostante la linea ferroviaria e dagli escursionisti, che risultano i "fruitori visivi" della nuova infrastruttura.

Si ritiene che per tali stakeholder la componente ambientale in esame costituirà oggetto di specifico approfondimento e, nell'ambito del Carso, elemento di criticità.

17 ARCHEOLOGIA

17.1 Riferimenti legislativi

- D.lgs. 42/2004 "Codice dei beni culturali e del paesaggio"
- D.lgs. 163 del 16/04/2006: Art 95 – Verifica preventiva dell'interesse archeologico in sede di progetto preliminare, Art. 96 - Procedura di verifica preventiva dell'interesse archeologico

17.2 Descrizione della componente

Nell'ambito della fase di Progettazione Preliminare della linea ferroviaria è stato eseguito uno specifico studio finalizzato alla verifica preventiva di interesse archeologico ai sensi del D.Lgs. 163/2006. Di seguito si riportano i principali risultati di tale studio, cui si rimanda per ogni dettaglio.

Si evidenzia in particolare che tutti gli elaborati richiamati con codifica nei paragrafi seguenti fanno riferimento a detto studio.

17.2.1 Sintesi storica

Lo studio archeologico funzionale al progetto ferroviario ha permesso di ricostruire l'evoluzione della presenza antropica nel territorio dall'epoca preistorica al Medioevo, con la redazione di una carta delle presenze antiche composte dalle segnalazioni ricavate dalla ricerca bibliografica e d'archivio, e da quelle provenienti dalle ricognizioni di superficie condotte lungo una fascia di 300 m a cavallo della linea progettuale.

17.2.1.1 Età preistorica e protostorica

La storia del territorio interessato dal tracciato di progetto è legata inscindibilmente alle variazioni geomorfologiche succedutesi nel corso dei millenni, che hanno profondamente determinato la storia del popolamento e le modalità insediative, dettandone le principali linee di sviluppo.

La fase iniziale della ricerca ha preso pertanto l'avvio dallo studio di un deposito paleontologico rinvenuto nel 1992 in un'area di laguna fossile presso il Villaggio del Pescatore, in Comune di Duino.

La zona del Villaggio del Pescatore conserva testimonianze di una fase tettonica del Senoniano inferiore che ha radicalmente modificato la sedimentazione di piattaforma carbonatica interna. Si è infatti formato un piccolo bacino con scarse e talora assenti comunicazioni con il mare aperto. Le particolari condizioni ecologiche e sedimentologiche hanno consentito l'accumulo e la preservazione di resti di vertebrati. La cava in cui sono stati rinvenuti i resti doveva corrispondere infatti ad un'antica palude o a uno stagno costiero, con acque ferme e calme, divenuta a più riprese una sorta di "tomba" per diverse specie animali, tra cui dinosauri, coccodrilli, pterosauri, pesci, piante. Gli studiosi hanno attribuito questi dinosauri alla specie degli Adrosauri basali o Iguanodontia derivati. La presenza di grandi animali terrestri come i dinosauri testimonia l'esistenza di vaste zone emerse, ricche di vegetazione e con acqua dolce nell'entroterra.

La natura carsica del territorio ha favorito in epoca preistorica gli insediamenti in grotte, che poi hanno registrato una continuità di frequentazione fino all'epoca romana. Le grotte, formatesi dalla circolazione di acque sotterranee, se possedevano uno sbocco verso l'esterno, rappresentavano infatti il piú naturale rifugio sia per gli animali che per gli uomini.

La Regione Friuli, prima in Italia, ha istituito già dal 1966 il Catasto Regionale delle Grotte in cui ha rilevato e catastato circa 7.500 grotte, numerose delle quali hanno rivelato tracce antropiche fin dall'epoca preistorica.

Le prime presenze umane nella regione del Carso triestino sono collocabili cronologicamente tra i 500.000 e i 300.000 anni e sono testimoniate dalle frequentazioni della dolina di **Visogliano**, nel Comune di Duino-Aursina, dove in un riparo di roccia, alla quota di 110 m, venne scoperto un insediamento del Paleolitico inferiore, importante anche per la ricostruzione delle fasi climatiche del Pleistocene medio. Il deposito ha restituito industrie tayaziane nella parte superiore riferibile a una lunga fase glaciale e industria arcaica su blocchi di calcare, un frammento di mandibola e 5 denti umani nella parte inferiore, riferibile a un periodo interglaciale. I reperti venuti alla luce durante gli scavi sono riconducibili sia all'*Homo heidelbergensis*, sia all'*Homo sapiens arcaico*, sia all'*Homo erectus*. Lo studio delle industrie litiche ha messo in evidenza variazioni tipologiche nei complessi litici dei vari livelli scavati. La dolina di Visogliano rientra nell'esiguo numero di siti europei in cui si sono conservati contemporaneamente resti umani, industrie litiche e faune del Pleistocene medio; gli aspetti naturalistici della successione consentono inoltre sia la ricostruzione dei mutamenti climatici in un periodo di più 150.000 anni, sia l'indagine sugli adattamenti dell'uomo all'ambiente. Gli uomini che sono vissuti a Visogliano praticavano il nomadismo stagionale tra la pianura costiera e l'altopiano carsico. Durante la fase glaciale, testimoniata nell'orizzonte intermedio, le condizioni climatiche sull'altopiano erano molto rigide e le frequentazioni di breve durata avvenivano solo durante il periodo estivo. Durante la fase temperata della parte inferiore del deposito, le migliori condizioni climatiche hanno permesso soggiorni più prolungati, attestati dall'abbondanza della industria litica e dei resti faunistici. Il nomadismo tra i due ambienti ecologicamente e climaticamente ben differenziati – la pianura costiera e il Carso – spiega le differenze riscontrate tra l'associazione della microfauna, nella quale le specie di ambiente aperto sono sempre ben rappresentate, e della macrofauna nella quale i cervidi sono sempre abbondanti.

Risalendo al Pleistocene recente o agli inizi dell'ultima glaciazione, quella di Würm, una documentazione del Paleolitico medio (100.000-35.000 a.c.), è data dalla grotta **Pocala**, esplorata fin dai primi decenni del secolo, che si trova nei pressi dell'abitato di Aurisina e in cui sono state rinvenute industrie musteriane (punte e un alto numero di raschiatoi in selce, ossa con tracce di lavorazione). Sono stati individuati due livelli distinti nella stratigrafia della grotta: uno strato superficiale formato da argille di età olocenica ed uno più profondo di argille e ghiaie di epoca pleistocenica. Nello strato superiore sono stati raccolti materiali fittili e litici attribuibili al periodo neolitico. Da quello inferiore pervengono resti di fauna, ad esempio di *Ursus spelaeus,* l'orso delle caverne, di grossa stazza, uno dei più possenti mammiferi degli ultimi periodi glaciali. Ciò fa pensare che la grotta fosse utilizzata come tana e luogo di letargo. Sono stati ritrovati inoltre resti di altre specie animali, tra cui il leone, il leopardo, la iena, il bisonte e la renna.

La scoperta di attestazioni mesolitiche in area carsico-triestina avvenne attorno agli anni Sessanta, in seguito agli scavi compiuti nella Grotta Azzurra presso Samatorza, dove furono messi in luce due livelli sovrapposti, riconducibili al Sauveteriano e al Castelnoviano, periodi tipici dell'Europa occidentale. Tali evidenze furono identificate in circa una quindicina di grotte del Carso triestino e alcune date al 14C su questi livelli indicano un inquadramento cronologico del Mesolitico fra la metà del X e l'inizio del VII millennio a.C.. In quest'area il passaggio fra Sauveterriano e Castelnoviano è caratterizzato da alcuni rilevanti cambiamenti tecnologici ed economici, i quali riflettono fattori locali, quali il graduale incremento nella raccolta dei molluschi marini collegabile con l'innalzamento del livello marino durante il tardo Mesolitico. Tra i prodotti più caratteristici si ricordano i bulini corti e massicci, diversi tipi di grattatoi di forma molto corta e i coltelli a dorso, con produzione di strumenti di forma geometrica standardizzata, ottenuti mediante la tecnica del microbulino. L'economia vede l'incremento delle varietà di risorse naturali sfruttate dall'uomo per la propria sussistenza. Le attività collegate al sostentamento si diversificano: caccia ad animali di taglia piccola e grande, uccellagione, pesca, raccolta di prodotti vegetali e di molluschi terrestri e marini. Questa fase è solitamente poco documentata e la transizione fra Mesolitico e Neolitico è ancora oggetto di discussione. Nonostante il buon numero di siti segnalati, infatti, le informazioni a disposizione sono ancora piuttosto limitate, poiché in molti casi i livelli con resti del Mesolitico sono stati solo identificati e non scavati, mentre in alcuni casi la mancanza di un criterio rigorosamente scientifico delle indagini archeologiche ha determinato la distruzione dei depositi. Ricadono nell'area interessata dal tracciato ferroviario la Grotta dell'Edera, la Grotta Caterina, la Grotta Gialla, la Grotta Azzurra di Samatorza, la Grotta

presso Bristie, la Grotta della Tartaruga, il Riparo Zaccaria, la Grotta del Pettirosso, la Grotta Spilja, la Grotta Benussi.

La fase successiva, neolitica, ha testimonianze più ampie e corrisponde a un notevole miglioramento del clima.

Il primo Neolitico nel Friuli-Venezia Giulia è documentato in vari insediamenti all'aperto della pianura friuliana e in grotta nel Carso triestino. Le ceramiche sembrano evidenziare influenze adriatico-balcaniche con insistenza di motivi decorativi impressi e incisi che sembrano indicare stretti rapporti con il gruppo del Vhò. La presenza in Carso della cultura della ceramica impressa è tuttavia abbastanza rarefatta: sono stati rinvenuti soltanto una dozzina di questi frammenti ceramici nella Grotta del Pettirosso (Vlaška Jama) ed un singolo frammento nella Grotta Azzurra. Nella maggioranza delle caverne del Carso triestino il Neolitico ha inizio con la comparsa di quegli indicatori archeologici che vanno ad identificare il c.d. gruppo Vlaška o *facies* dei Vasi a coppa, variante locale della Cultura di Danilo emersa nel versante orientale dell'Adriatico, inquadrabile cronologicamente dalla prima metà del VII (Grotta dell'Edera) alla prima metà del VI millennio a.C. (Grotta del Mitreo). Questa cultura, è stata definita per la prima volta da L. Barfield all'inizio degli anni Settanta. Le fogge più caratteristiche sono i recipienti a corpo ovoide su piede a cui si affiancano recipienti carenati e vasi a quattro gambe (o *rhyta*). La decorazione e spesso organizzata in motivi angolari penduli impostati sotto l'orlo.

Significativa è anche la presenza di ceramiche di importazione di tipo Fiorano. Le industrie litiche, pur ricollegandosi alla tradizione padana, sono caratterizzate da una maggiore impronta di tipo mesolitico. Contatti diretti vi sono pure con le culture della costa dalmata (cultura di Danilo[7] e di Lesina[8]).

L'area del Carso, come già evidenziato nel Friuli occidentale e nel Monfalconese, registra inoltre la presenza di alcuni elementi riferibili alla sfera del Vaso Campaniforme. La presenza di scodelle e di frammenti ceramici con decorazione a rotella, a cordicella o a pettine nelle grotte degli Zingari, dell'Edera, dei Ciclami e Caterina (San Pelagio), il rinvenimento di un frammento di vaso campaniforme nella Grotta Cotariova e il recupero nel sito d'altura del Monte S. Michele di una scodella con decorazione a rotella o a pettine, simile a quella degli Zingari, attestano la diffusione degli aspetti campaniformi anche nell'area più orientale della regione.

Appartengono al Neolitico medio e recente varie tipologie di scodelle e alcune ciotole carenate anche di ampie dimensioni, le cui forme sembrano confrontabili con alcuni vasi della cultura tardo neolitica di Hvar in Dalmazia.

Nell'area del Carso triestino sono stati condotti negli ultimi anni una serie di studi di varia natura che hanno messo in luce come le grotte carsiche siano state utilizzate quali ripari per gli erbivori, caprovini per lo più. Nell'analizzare i materiali archeologici rinvenuti all'interno di alcune grotte carsiche, per le quali era già stato ipotizzato un loro sfruttamento a fini pastorali in base a studi sedimentologici e archeozoologici, sono stati notati dei cucchiai ceramici negli strati di neolitico antico-medio. Per queste forme non c'era finora nessuna ipotesi circa la loro funzione. Le osservazioni dirette e i riscontri etnografici sono stati confermati da analisi chimiche che hanno confermato la loro connessione con la lavorazione e la trasformazione del latte e la presenza di proteine di latte di capra sui cucchiai. Questo dato contribuisce all'interpretazione che il Carso fosse particolarmente adatto alla vita dei pastori e delle greggi: qui infatti erano naturalmente disponibili le aree per il pascolo, le grotte per ripararsi, custodire le greggi e lavorare il latte e il sale marino. La costa carsica è rocciosa, e quindi in tale area il sale si cristallizza naturalmente sulle rocce, facilitandone così la raccolta. Il sale deve essere stato un elemento

---

[7] La cultura di Danilo prende il nome da una località ad est di Sebenico, dove sono stati rinvenuti prodotti di ceramica dipinta a motivi lineari o con decorazioni a meandri e a spirale.

[8] La Cultura di Lèsina viene attribuita al neolitico finale e interessa sia l'isola omonima sia altre isole dell'arcipelago dalmato meridionale come Cùrzola e Làgosta, ma con rinvenimenti anche sul continente erzegovese e nel Carso triestino. Nelle caverne di Lèsina (in croato Hvar) è stata individuata una *facies* culturale caratterizzata da ceramica dipinta in rosso, giallo, grigio e bruno con motivi a spirale, ma anche incisa con reticoli, meandri e triangoli.

indispensabile per la vita delle greggi, ma anche assai prezioso nella conservazione dei latticini che era possibile realizzare all'interno delle grotte.

L'allevamento di caprovini, ben attestato sulla base dei dati archeozoologici disponibili testimonia un avvenuto processo di neolitizzazione, sebbene manchino tracce evidenti di agricoltura.

Aspetti culturali e funerari si colgono nelle modalità di deposizione. Una sepoltura in grotticella sepolcrale, certamente eneolitica, è stata rinvenuta nel Riparo Zaccaria (Aurisina), con inumato deposto in posizione rannicchiata, in associazione con alcuni frammenti ceramici di tipo Besentrich.

Questi tipi di sepoltura sono caratterizzati da vani artificiali scavati in rocce tenere quali tufi e calcareniti, oppure nell'argilla; l'accesso al vano sotterraneo avviene attraverso un pozzetto o un corridoio chiuso dopo la sepoltura con una lastra di pietra. Il rito è sempre quello dell'inumazione e spesso accolgono più deposizioni.

Nella prima età del Bronzo il territorio carsico resta in stretto rapporto con le culture eneolitiche e del primo bronzo dell'area danubiano-balcanica.

A partire dall'età del Bronzo medio (XVII sec a. C.) agli insediamenti in grotta si affiancano strutture all'aperto, che occupano le sommità delle alture, dove vengono costruiti dei veri e propri villaggi: i castellieri. Questi abitati sparsi sul territorio carsico presentavano una differente estensione e disposizione dei ripiani interni a seconda della morfologia del terreno. Il fatto che vi siano castellieri di estensione maggiore o minore fa ipotizzare un possibile differente utilizzo di tali strutture. E' probabile che i castellieri di grandi dimensioni siano stati destinati ad un vero e proprio uso abitativo, mentre quelli di dimensioni inferiori siano soltanto stati creati a scopo difensivo del territorio, quali vedette o rifugi temporanei. Essi sottendono alla formazione di società complesse quali sono, rispetto alle precedenti forme di comunità dell'età del rame e del Bronzo antico, quelle della media e tarda età del Bronzo. Il modello insediativo dell'abitato fortificato (castelliere, terramara, sito arginato, sito munito di cinte, insediamento naturalmente fortificato, ecc.) è espressione diretta di modificazioni profonde nell'assetto delle comunità protostoriche in termini economici, sociali, politici e di interrelazioni con l'Egeo, il Mediterraneo orientale e l'Europa continentale, un processo che si conclude, a cavallo fra II e I millennio a.C. in alcune aree italiane, con modelli di organizzazione protourbane e forme embrionali di stato. Con le prime fasi del Bronzo medio, infatti, si assiste al verificarsi di due importanti fenomeni che rappresentano certamente il riflesso di un massiccio e generalizzato incremento demografico e della formazione di comunità di villaggio più popolose: 1) il numero complessivo delle testimonianze di abitati cresce in maniera esponenziale; 2) i singoli insediamenti raggiungono dimensioni maggiori - anzi, spesso enormemente maggiori - rispetto alle fasi precedenti. A questi fenomeni, di per sé già fortemente indicativi, se ne affiancano tuttavia anche degli altri, ugualmente ricchi di significato. Tra questi particolarmente importanti sono la generalizzazione della tendenza dei siti ad avere una vita plurisecolare e soprattutto la rapida affermazione del modello insediativo dell'abitato fortificato, cioè dell'abitato difeso da imponenti opere perimetrali e/o collocato in posizione dominante. Nel tempo, infatti, questo modello insediativo finirà per diventare prevalente.

La cultura dei Castellieri si sviluppò in Istria nell'età del bronzo medio per espandersi successivamente in Friuli Venezia Giulia, Dalmazia e zone limitrofe. Durò oltre un millennio (fino a circa il III secolo a.C.) ed ebbe termine solo con la conquista romana. Prende il nome dai borghi fortificati che sorsero un po' ovunque nella sua zona di diffusione e definiti per l'appunto Castellieri.

Solitamente lontano dal mare, a difesa delle vie di penetrazione e in posizione strategica, sorsero nel territorio del Carso Triestino queste grandi costruzioni a pianta circolare, abitati fortificati con mura a secco che costituiscono l'aspetto insediativo più tipico dell'area carsica dalla metà del II alla metà del I millennio a.C. circa. La loro presenza in questa zona fu dovuta probabilmente all'invasione di popolazioni provenienti dalla penisola balcanica, all'inizio del secondo millennio; successivamente, nell'età del Ferro, con l'aumento delle migrazioni, le mura di difesa divennero più spesse, fino a raggiungere anche i quattro o i cinque metri: sono infatti evidenti più fasi costruttive. Le poderose cinte dei castellieri carsici non avevano tuttavia un esclusivo scopo di difesa, sorgendo su

ottime posizioni di controllo del territorio circostante, ma, erette sul lato nord-est, potevano costituire una valida protezione dai forti venti di bora per le case costruite a ridosso di queste. Il castelliere, nella ricostruzione che possiamo compiere in base ai resti attuali, era caratterizzato da una o più cinte murarie di detrito calcareo, il cosiddetto "vallo", sciolto o cementato da terriccio e da arbusti, che poteva avere la larghezza di 20 metri, e dai "ripiani", spazi pianeggianti larghi da 5 a 15 e più metri, racchiusi dai valli, che rappresentano l'antica area abitata. I muri eretti a secco sono formati da pietre abbastanza regolari, talvolta dirozzate e lisciate, specialmente sugli spigoli, dove erano impiegati blocchi più grandi, come pure sugli stipiti. La struttura cingeva abitazioni prevalentemente quadrangolari, fatte con sassi o rami, il cui interno era formato da una parte diurna, un focolare e una dispensa, e che erano economicamente autosufficienti per le risorse agricole e pastorali del territorio che li circondava. I vari villaggi, talvolta molto vicini gli uni agli altri tanto da formare dei veri e propri microsistemi insediativi con territori di pertinenza comuni, dovevano certamente essere in comunicazione fra loro, data anche la buona visibilità degli abitati circostanti dai vari colli sedi di castellieri. Si allevavano prevalentemente ovini, suini e caprini, mentre dal mare si traevano molluschi. Dall'età del bronzo all'età del ferro, inoltre, si sviluppò un'intensa attività metallurgica

Nella zona abbiamo sette o forse otto castellieri di cui sono ancora evidenti le tracce: tra i più importanti il castelliere di Rupinpiccolo, quello di Monrupino e il castelliere di Elleri. Fra questi, un particolare rilievo ha il castelliere di Slivia, poco discosto dalle case dell'omonimo villaggio del comune di Duino-Aurisina. Questo castelliere si distingue per l'imponenza delle sue macerie, tanto da esser dichiarato monumento nazionale, intitolato a Carlo de Marchesetti, studioso triestino esperto della cultura dei castellieri.

Un altro gruppo di castellieri è presente nel Monfalconese: La Gradiscata o San Polo, le Forcate, la Rocca Golas (del castelliere non rimane traccia), Monte Falcone e la Moschenizza**.** I primi quattro castellieri vennero rilevati ancora sul finire dell'800 dall'archeologo triestino Carlo De Marchesetti, l'ultimo venne indicato dal Kandler nel 1868.

Essi sii trovano su una quota altimetrica attorno ai 60 metri s.l.m. ed in comunicazione visiva tra di loro. I rilievi carsici che cingono a nord-est la pianura alluvionale dell'Isonzo, più sicuri della pianura forse troppo spesso soggetta alle piene del fiume, hanno infatti hanno accolto già in epoca preistorica i primi insediamenti umani del territorio. Tra questi, in un'area molto prossima al tracciato ferroviario, vi è il castelliere della Rocca. Di esso sono state identificate una porzione sul lato settentrionale del vallo più esterno e quasi tutto quello più interno che recingeva la sommità del colle comprendendo interamente l'attuale fossato e sviluppandosi verso sud fino a una quota più bassa. La posizione preminente del colle, che consentiva il controllo della preistorica via dell'ambra e della strada romana che ne ricalca successivamente il tracciato, fa pensare ad un uso delle strutture prolungatosi anche in epoca romana.

Agli insediamenti carsici su altura va ad aggiungersi un approdo costiero molto importante, situato presso il terzo ramo del Timavo e in uso a partire dall'età del Bronzo finale/prima età del Ferro sino in epoca romana, così come alcune grotte frequentate con modalità spesso ancora da determinare ma sicuramente connesse con i castellieri della zona, vista la loro vicinanza con gli stessi. E' probabile che il sistema del Timavo, foci e vicino bacino, rivestisse carattere commerciale: in quest'area infatti sboccavano, attraverso le pendici del Flondar e dell'Ermada e probabilmente lungo un alveo pedecarsico dell'Isonzo, due diramazioni delle vie carovaniere, conosciute poi col nome di "vie dell'ambra" che attuavano il collegamento diretto più rapido con gli empori situati sul mar Baltico ed in area danubiano-carpatica.

La vita dei castellieri si protrasse durante tutta l'età del Ferro fino alla tarda protostoria quando, attorno al IV sec. a.C. molti dei castellieri del Carso triestino entrarono in crisi, forse a causa delle pressioni da parte di gruppi celtici, come è stato più volte ipotizzato, benché si possa parlare di vera e propria celtizzazione di queste zone solo a partire dal II secolo a.C.

Nella piena età del Ferro (VII-V secolo a.C.) sul territorio del Carso triestino popolazioni paleovenete si erano inserite con forza in un substrato di culture locali, accentuando così la caratteristica della zona, crogiolo di

esperienze culturali e commerciali a vasto raggio. Fra VI-V e IV secolo a.C., nella zona dell'alto Adriatico si assiste ad un momento di fermento culturale in cui ben presenti sono gli influssi da parte dei Veneti e delle popolazioni gravitanti sul medio Adriatico quali i Piceni, stanziati nella zona dell'attuale Marche, e i mercanti degli empori greci ed etruschi di Adria e Spina presso la foce del Po, sulla base di quanto attestato dai materiali archeologici rinvenuti in alcuni dei castellieri del Carso triestino.

Tra VI e IV secolo a.C. lo scalo del Timavo è certamente vitale: seppure in assenza di conferme archeologiche, sembrerebbe lecito presupporre la presenza attiva di commercianti greci e in seguito magnogreci. Il culto di Diomede infatti, nominato al Timavo espressamente da Strabone[9], collegato alla presenza di un'area sacra a lui dedicata, si propaga lungo le coste alto adriatiche proprio in questo periodo, favorito prima dalla politica greca e poi da quella siracusana che, utilizzando la figura dell'eroe, strinsero "alleanze" commerciali con le popolazioni indigene, mirando ad instaurare una forma di "dominio" sulle rotte commerciali dell'Adriatico.

Dal punto di vista della cultura materiale, nell'età del ferro risulta evidente l'influenza della vicina civiltà atestina ad ovest e della civiltà di Hallstatt a nord, con vasi biconici e situle di ceramica e di bronzo e con riti funerari che passano dalle tombe a tumulo per l'inumazione alle urne di varie forme per l'incinerazione.

E' da rilevare la presenza della cultura celtica, certamente di ceppo carnico, nel territorio tergestino nell'ambito della molteplicità di apporti culturali che concorsero alla formazione della città dopo la crisi dei castellieri carsici del IV sec. a.C.

17.2.1.2 Età romana

Le guerre tra Romani ed Istri furono tre, combattute rispettivamente nel 221, nel 178-177 e nel 129 a.C., delle quali la seconda riguardò da vicino l'area del Timavo, sede di uno dei primi scontri diretti del quale ci da un resoconto puntuale Tito Livio. Tuttavia, una recente interpretazione, basata su una rilettura delle fonti, dà luogo ad una nuova e suggestiva ipotesi secondo la quale l'aperta ostilità dimostrata dagli Istri alla fondazione di Aquileia nel 181 a.C., sfociata in scontri anche precedenti alla data tradizionale del 178 a.C., andrebbe spiegata con il timore di perdere il controllo degli sbocchi a mare delle vie dell'Ambra ed i traffici marittimi ad essi collegati, dirottati definitivamente su Aquileia, la cui vocazione emporiale di antica data è dimostrata da recenti rinvenimenti archeologici. Cosa che puntualmente avvenne: dal II secolo a.C. in poi Aquileia, come nuova colonia latina, diviene di fatto il terminale commerciale delle vie di traffico del Nord-Est.

La foce del Timavo fu probabile sede del centro portuale più orientale della frangia lagunare veneta in epoca preromana e fu poi certamente porto romano. Qui infatti una flotta di dieci navi raggiunse Manlio Vulsone nella spedizione contro gli Istri del 178 d.C.

Tutta l'area, caratterizzata dalla presenza massiccia di materiale risalente al I sec. a.C. – III sec. d.C., costituì probabilmente un approdo marittimo all'imbocco del canale fluviale, come del resto è stato riconfermato dalle indagini del 1985. La costa di Trieste fu inoltre interessata da un altro fenomeno insediativo: la presenza di ville rustiche con annesse attrezzature portuali, già indagate parzialmente da A. Degrassi negli anni Venti del secolo scorso, e ulteriormente individuate negli anni '80-'90 da Monfalcone a Muggia. La preferenza accordata in età romana a questo tipo insediativo risponde evidentemente ad esigenze economiche che fecero preferire la via d'acqua per il trasporto dei prodotti del *fundus*, rappresentati non solo da derrate alimentari, ma anche dai marmi delle cave di Aurisina o dai prodotti delle fornaci. Questa situazione è presente anche lungo la costa istriana, formando un unico complesso di traffici marittimi probabilmente di piccolo cabotaggio nell'alto Adriatico.

---

[9] STRAB.V.1.8.p.214C

Nel 178 a.C., per la prima volta, il Carso fu conquistato dalle legioni romane che invasero l'Istria e si scontrarono con le popolazioni residenti sconfiggendole. Con la dominazione romana i castellieri in parte furono abbandonati e in parte furono trasformati dai Romani in punti di vedetta permanenti o in accampamenti militari fissi, specialmente lungo la linea montana, tanto da costituire l'ossatura del *limes orientalis*, riconosciuto dal Puschi, studiato dallo Sticotti. Nel Carso triestino fiorirono numerosi centri i cui abitanti si dedicavano all'agricoltura con particolare riguardo alla vite e all'ulivo, oltre che alla pastorizia. Nella zona di Sistiana e di Aurisina furono aperte numerose cave fra cui quella che ancora oggi si chiama la Cava Romana. Essa fu impiegata per la costruzione di numerosi centri abitati di cui il più importante è Aquileia. Nel periodo romano probabilmente il Carso ha conosciuto un certo benessere e una prosperità economica mai raggiunti precedentemente.

Forum Iuli e *Iulium Carnicum* furono fondate intorno al 50 a.C., poco dopo fu fondata *Tergeste*, che venne cinta di mura nel 32 a.C.. Il Friuli e l'Istria parteciparono largamente dell'apporto di civiltà e di cultura dato da famiglie di coloni e poi dalla presenza imperiale. Aquileia divenne dopo Milano la più importante città romana dell'Italia settentrionale, con edifici pubblici, un ampio porto, anfiteatro, teatro, circo, monumenti sepolcrali spesso di proporzioni imponenti; case private ed edifici pubblici furono ornati con ricchi mosaici pavimentali. Fino alla riforma amministrativa augustea che istituì la *Decima Regio, Venetia et Histria*, tutto il Triveneto era incluso nella Gallia cisalpina

I numerosi siti di età romana dimostrano quanto fosse capillare e diffuso l'insediamento, che ha lasciato segni evidenti nella stessa connotazione del paesaggio, con le divisione agrarie, le opere di bonifica, la costruzione di ponti e strade, di argini fluviali, di edifici dedicati al culto e di opere fortificate.

Sulla base dei dati editi fino ad oggi, emerge chiaramente come a partire dalla prima metà del I secolo a.C. l'ampio territorio soggetto all'amministrazione della vicina *Aquileia,* l'agro aquileiese, appare caratterizzato dal fiorire di ville urbano-rustiche, definizione piuttosto generica perché molto diversificata è la varietà delle risorse e delle attività economiche, ma che in questo ambito geografico si esplicita in un sistema bipolare basato sullo sfruttamento di una proprietà che nella villa, a volte dotata di una fastosa prolessi monumentale, trova essenzialmente il suo terminale di stoccaggio.

Particolare importanza acquista di conseguenza il legame con l'articolato sistema viario che, basato innanzi tutto, grazie alla *via Postumia*, sulla comunicazione tra golfo ligure e quello alto-adriatico, assicura poi, attraverso l'allacciamento alla via *Aquileia-Emona,* una forte transitabilità sia verso l'area pannonica, sia verso Trieste e l'Istria. Complementare al sistema viario è la mobilità assicurata da una serie di piccoli porticcioli annessi alle ville, messi in luce dalle recenti indagini archeologiche soprattutto nell'area del vicino *Lacus Timavi* (Monfalcone e Duino Aurisina), che attraverso rotte a piccolo cabotaggio permettono di raggiungere gli scali commerciali di più ampio respiro. Verso occidente, e quindi verso Aquileia, per quanto meno definiti risultino i confini del *Lacus Timavi*, potremo supporre un sistema simile, integrato ad un territorio, come la *Desena* monfalconese, dominato dai fiumi di risorgiva.

L'area di questa indagine comprende gli attuali comuni di S. Canzian d'Isonzo, Staranzano, Ronchi, Monfalcone, il cui territorio si pone a cerniera tra l'area del *Lacus Timavi* propriamente detto, e l'agro aquileiese. Nell'agro monfalconese molte delle più importanti stazioni archeologiche si concentrano in prossimità dei due corsi principali o dei loro affluenti, oggi irriconoscibili e sacrificati alla bonifica integrale, Brancolo e Fiume della Posta. Essi assicuravano, grazie all'azione di spinta dell'acqua di risorgiva, una profondità e agibilità del corso sempre costante.

Lo studio comprende inoltre i comuni di Duino-Aurisina, Sgonico e la parte settentrionale del Comune di Trieste, nell'area del Carso triestino.

17.2.1.3 L'età tardoantica e medievale

Il Carso triestino fu coinvolto in tutti i cambiamenti politico-militari che accompagnarono la fine dell'Impero romano. Il suo processo disgregativo fu accelerato dalla caduta nel 452 d.C. di Aquileia sotto l'urto degli Unni di Attila e dalle scorrerie dei Rugi e degli Eruli di Odoacre, che nel 476 posero fine al dominio romano. Scesi in Italia dalla Pannonia negli ultimi anni del V secolo d.C., gli Ostrogoti di Teodorico assoggettarono anche il Friuli. Il nuovo dominio non apportò grandi cambiamenti nell'assetto socio-economico, benché l'apparato militare passasse completamente in mano ai Goti, cui venne assegnata la terza parte dei terreni, e a capo della provincia venisse posto un luogotenente militare goto. Il Carso triestino fu poi bizantino dal 538 al 778 d.C. Tra il 754 e il 774 fu assoggettata dai Longobardi; poco dopo il ripristino del potere bizantino (774), nel 778 passò sotto il dominio dei Franchi. Con la morte di Carlo Magno (814), fu costituita la vasta Marca del Friuli, che nell'828 fu sciolta dando luogo a una marca più ristretta e, dopo il trattato di Verdun dell'843 fu costituita la Marca di Aquileia del *Regnum Italicum*, il quale fu governato fino all'875 dalla linea lotarica e più tardi, a cavallo dei secoli IX e X, dai sovrani del periodo cosiddetto "indipendente", Berengario I del Friuli, Ugo e Lotario II.

Su alcune alture su cui già in età preistorica erano sorti i castellieri, nell'alto medioevo furono costruiti, per proteggere la regione e i confini orientali dalle ultime invasioni (Avari e Magiari) e in seguito all'introduzione del sistema feudale, castelli e torri di difesa e di segnalazione (*tabor*). Numerosi, in tutto il Friuli, essi vennero innalzati a difesa dei passi e lungo le vallate dei fiumi e sulle coste del mare. Nel secolo XI, all'epoca della Casa Weimar, castelli baronali sorsero al limite orientale dell'Istria pedemontana, lungo il ciglione del Carso, a difesa dei principali valichi e delle vie che dal Carso conducevano nell'Istria marittima. I castelli sorti a difesa delle incursioni dei pirati croati e narentani e in genere quelli siti lungo le coste, persero d'importanza con l'accrescersi della potenza marinara di Venezia e con lo svilupparsi, nei centri abitati della costa, dell'istituzione comunale, eccezion fatta per Duino (datosi nel 1366 all'Austria). Si deve all'importanza acquistata dai liberi comuni se anche i castelli intorno a Trieste vennero smantellati perché era pericoloso avere, non lontano dalle mura cittadine, rocche facilmente trasformabili in caso di guerra in nidi e fortilizi per i nemici (Moncolano, Moncavo)

17.2.2 Vincoli archeologici

Numerosi vincoli archeologici sono stati apposti, a cominciare dal 1958 (Rocca di Monfalcone) a tutela dei rinvenimenti che, dagli anni'60 in poi sono venuti alla luce. Si può notare, nella tabella sotto riportata, che ne sintetizza ubicazione e riferimenti amministrativi, una costante attività di attenzione alla salvaguardia delle emergenze archeologiche che è proceduta di pari passo con l'intensificarsi degli scavi avvenuti dagli anni'70 agli anni '90. Ad tempi recentissimi risalgono gli ultimi provvedimenti: il deposito paleontologico del Villaggio del Pescatore (DM 26/03/2008), la villa romana di Barcola, (DM del 29/01/2010), il Riparo di Visogliano (DM 11/03/2010). Le aree vincolate sono state rappresentate in cartografia con un retinato color magenta e indicate nelle schede delle presenze archeologiche.

Sono state segnalati inoltre alcuni siti soggetti a provvedimenti di dichiarazione di interesse archeologico da parte dei Comuni in cui ricadono (PRG Comune di Staranzano, PRGC Comune Duino, PRGC del Comune di Ronchi dei Legionari)

Per quanto riguarda le interferenze delle zone a vincolo con il tracciato, si nota che le progressive chilometriche più a rischio, sono:

- Km 2 + 403,5 L.S. Udine - Trieste B.D., in cui la galleria artificiale e l' Asse fabbricato cabina TE si trovano a circa 20 m dalla Rocca di Monfalcone;
- Km 29 + 644 L. Ronchi - Trieste B.D., in cui il tracciato, comunque in galleria naturale, si trova a circa 80 m dal sito dell'età del Bronzo di Contovello.

La tabella seguente sintetizza i vincoli archeologici ai sensi del D.Lgs. 42/2004 lungo il tracciato.

Localizzazione	Riferim. catastali	Estremi del vincolo	Rif. Elaborato cartografico Italferr
San Giovanni al Timavo / Medeazza Acquedotto Randaccio	1390/1; F3 1390/1 T79	D.M. 18/09/1976 D.M. 20/04/1998	L34400R22N4AH0001003A
Duino-Aurisina - Villa romana di Aurisina	F4 1340 T 33, Giud. Tav. 1341 T 1574 – F4 1341 T1574	DM 19.06.1977	L34400R22N4AH0001004A L34400R22N4AH0001003A
Duino-Aurisina - Villaggio del Pescatore –Resti di un abitato di epoca romana	F1-4 99/46 T255, 99/8 T11, 99/3 T298, 99/14 T298, 103/1 T549, 103/2 T548, 104/1 T545, 104/2 T544, 104/4 T546, 104/3 T550, 122/2 T522, 122/1 T521	DM 26/09/1980	L34400R22N4AH0001003A
Duino-Aurisina - S. Pelagio - Grotta Caterina	F6 p 847-8 T75	DM 07/10/1982	L34400R22N4AH0001004A
Duino–Aurisina – Area Celc – Resti del tracciato viario di età romana		DM 11/09/1986	L34400R22N4AH0001003A
Duino–Aurisina - Grotta del Dio Mithra	F2 112/1 parz.	DM 23/07/1993	L34400R22N4AH0001003A
Duino-Aurisina - Villaggio del Pescatore – Deposito paleontologico	p.c.99/3, FM 1C.C.Duino P.T:298 c.t. 1	DM 26/03/2008	L34400R22N4AH0001003A
Duino-Aurisina – Riparo di Visogliano	FM 5, p.c. 48-49 P.T. n.397, c.t.1°	DM 11/03/2010	L34400R22N4AH0001003A
Monfalcone - Rocca	478/15-17 T 245	DM 09/06/1958	L34400R22N4AH0001002A
Monfalcone – Lisert - Villa della Punta	F 11 605/37-39, 891/4	DM 11/02/1973 DM 18/11/1974	L34400R22N4AH0001002A
Monfalcone – Terme romane	614 T 299	DM 12/05/1971	L34400R22N4AH0001002A
Monfalcone - villa di via delle Mandrie	F 37-38 513 T 15105, 515,2 + 31 + 34 T 13182-6	DM 20/05/1996	L34400R22N4AH0001002A
Monfalcone - Villa di via Colombo	F 6-10 505/5+6, 58/6+11, 5643	DM 20/05/1996	L34400R22N4AH0001002A
Trieste - Contovello di Prosecco – Resti di un abitato dell'età del bronzo.	p.c. 1445-1485	DM 20.08.1979	L34400R22N4AH0001005A
Trieste – Barcola-Villa della statua	p.c. n.86/1 P.T. 2814, c.t. 1°FM 9 CC Barcola	DM del 29/01/2010	L34400R22N4AH0001006A

17.3 Valutazione delle interferenze

La valutazione delle potenziali interferenze è stata effettuata nell'ambito dello Studio Archeologico preventivamente citato: di seguito si illustrano i contenuti delle varie parti di tale studio e se ne sintetizzano i risultati.

Tutte le segnalazioni schedate nell'ambito dello studio sono state posizionate sulla *Carta delle presenze archeologiche*, composta da 6 tavole, in scala 1:10.000, avente come base cartografica la Carta Tecnica Regionale (CTR), sulla quale è stato riportato il tracciato del progetto ferroviario, comprensivo di cantieri e di opere accessorie (cfr. elaborati cartografici: L34400R22N4AH0001001A; L34400R22N4AH0001002A; L34400R22N4AH0001003A, L34400R22N4AH0001004A, L34400R22N4AH0001005A, L34400R22N4AH0001006A).

Ogni segnalazione è stata rappresentata su base cartografica con un numero progressivo (cui fa riferimento la relativa scheda di segnalazione) e con un simbolo, che indica la tipologia dell'evidenza antica; il colore differenziato evidenzia le differenti epoche storiche di pertinenza della testimonianza medesima.

Per ogni segnalazione è stato valutato, nell'ambito della scheda, il rischio archeologico relativo rispetto al tracciato. Sono stati considerati due fattori di valutazione: la distanza e l'entità della testimonianza antica rispetto al tracciato e la tipologia dell'opera civile da realizzare, distinta in rilevato, viadotto, galleria artificiale, trincea e in opere accessorie da realizzare (quali ad esempio: elettrodotto, viabilità secondaria, cantieri, etc.).

Ciascuna tipologia di opera civile, infatti, determina un impatto diverso sulla realtà storico-archeologica del territorio:

- la realizzazione di una galleria naturale determina un rischio archeologico basso o nullo nel caso di eventuali presenze archeologiche attestate in superficie;
- la realizzazione di un rilevato prevede attività di decorticamento superficiale (in media m 0,50 di profondità dal p.c.) e quindi determina un rischio archeologico alto, o medio, o basso, a seconda della distanza dal tracciato delle evidenze archeologiche note;
- la realizzazione di un viadotto prevede attività di scavo profondo, ma puntuale (in corrispondenza dei piloni del viadotto) e quindi determina un rischio alto, o medio, o basso, a seconda della distanza dal tracciato delle evidenze archeologiche note.
- la realizzazione di trincea o galleria artificiale prevede attività di scavo in profondità e quindi determina un rischio alto, o medio, a seconda della distanza dal tracciato delle evidenze archeologiche note.

Pertanto, con riferimento a distanza ed entità delle testimonianze antiche rispetto al tracciato ferroviario e con riferimento alla tipologia dell'opera civile da realizzare, sono stati adottati i seguenti parametri di "rischio archeologico":

- **alto**: per evidenze archeologiche, tracce da foto aeree e toponimi, posti ad una distanza dal tracciato compresa tra m 0 e m 100, in corrispondenza di rilevato, viadotto, trincea, galleria artificiale;
- **medio-alto**: per evidenze archeologiche, tracce da foto aeree e toponimi, posti ad una distanza dal tracciato compresa tra m 100 e m 300, in corrispondenza di rilevato, viadotto, trincea, galleria artificiale;
- **medio:** per presenze archeologiche ad una distanza dal tracciato compresa nell'intervallo m 300-500, in corrispondenza di opere in superficie, cantieri, cave e opere accessorie;

- **medio-basso**: per evidenze archeologiche, tracce da foto aeree e toponimi, posti ad una distanza dal tracciato compresa tra m 300 e m 500, in corrispondenza di rilevato, viadotto, trincea, galleria artificiale.

- **basso**: per presenze archeologiche in corrispondenza opere in superficie, cantieri, cave e opere accessorie ad una distanza dal tracciato compresa nell'intervallo m 500-km 1, e per le stesse in corrispondenza di galleria naturale (in terreno non carsico e oltre i m 10 di profondità) e ad una distanza dal tracciato compresa entro km 1.

La valutazione del rischio archeologico delle aree interessate dal percorso ferroviario ha tenuto conto delle presenze archeologiche comprese in una fascia di 300 m a cavallo del tracciato e della loro potenzialità di rischio in base alla fonte di informazione da cui si è avuto conoscenza della loro esistenza.

In totale sono state riscontrate 56 presenze archeologiche interessanti direttamente il tracciato, derivate sia da fonti bibliografiche che da analisi toponomastiche e di cartografia, che da ricognizione.

Attraverso l'analisi incrociata di tutti i dati raccolti si è giunti ad una valutazione del grado di Rischio Archeologico relativo delle aree oggetto di studio, funzionale alla realizzazione del tracciato ferroviario, dei cantieri e delle opere accessorie.

La definizione del Rischio Archeologico rispetto al tracciato è stata circoscritta a una fascia di circa 300 m a cavallo dell'opera. Per poter valutare il rischio archeologico potenziale da considerarsi al momento dell'esecuzione del tracciato ferroviario è stato necessario considerare la tipologia delle opere in progetto, l'entità delle testimonianze antiche e la distanza di queste ultime rispetto alle opere civili, il grado di attendibilità connesso alla ubicazione (non sempre puntuale) delle presenze archeologiche.

Sono state definite a Rischio Archeologico Alto e Medio-alto, e quindi precauzionalmente soggette ad attività di sorveglianza o di indagine mirata, le aree di seguito descritte.

17.3.1 Area di Begliano fino alla Stazione di Ronchi dei Legionari: da Pk 3+012 a Pk 4+869

L'area è stata sottoposta a ricognizioni che hanno evidenziato concentrazioni di materiali di epoca romana, sia fittili che laterizi, il che, anche sulla base dei numerosi rinvenimenti pregressi, potrebbe far presupporre l'esistenza di una o più ville rustiche. L'epoca del *survey* non era particolarmente favorevole dal punto di vista della visibilità, per la stagione vegetativa inoltrata. Nonostante questo, i rinvenimenti effettuati nelle aree che è stato possibile indagare fanno presupporre l'esistenza di ulteriori affioramenti nelle zone limitrofe. Essendo queste evidenze già a livello di superficie, risulta a rischio anche una linea ferroviaria in rilevato, che si limiti alla decorticatura del terreno. Si consiglia pertanto, da Pk 3+012 a Pk 4+869, una costante sorveglianza archeologica.

17.3.2 Area di San Poletto fino al centro di Monfalcone: da Pk 3+012 a Pk 4+869, da Pk 6+979 a Pk 7+792 B.D. e da Pk 0+00 a Pk 2+740 L.Udine-Trieste

Nell'area di San Poletto, alle porte di Monfalcone, è prevista un'area di stoccaggio che potrebbe andare ad interferire con resti di strutture murarie di epoca medievale; di cui si conserva ancora un lacerto murario dell'originario edificio databile al XIV secolo d.C., mentre all'inizio della Linea Udine-Trieste furono rinvenute a più riprese dalla fine del 1600 al 1800, imponenti strutture murarie pertinenti a un ponte, diversamente interpretato da vari studiosi. Poiché in questo tratto la linea ferroviaria è prevista in rilevato e non comporta abbassamenti di quota, viene consigliata la sola sorveglianza archeologica, considerata opportuna anche nella prosecuzione fino a Monfalcone, poiché qui il percorso si snoda molto in prossimità dei castellieri di Pietrarossa, San Polo, Forcate e alla Rocca di Monfalcone, quest'ultima sottoposta a vincolo archeologico nel 1958. Il punto ai piedi della Rocca di Monfalcone in cui inizia la galleria artificiale, che richiede un abbassamento di quota, è inoltre considerato ad alto rischio poiché nei pressi, in fondo a piazza della Repubblica, nella zona dove è l'attuale palazzo della Pretura, nel 1787 vennero alla luce i resti di un vasto edificio con pavimento a mosaico e due grandi vasche con rivestimenti in

marmo e fontane. Si consiglia pertanto, anche in questo caso, la sorveglianza archeologica o un saggio sul lato sinistro della linea ferroviaria, che risulta non urbanizzato.

17.3.3 Cima di Pietrarossa o Golas: da Pk 10+329 a Pk 10+943

In quest'area, l'imbocco della galleria naturale potrebbe intercettare tracce di frequentazione di età protostorica, in quanto molto prossimo alla cinta muraria del castelliere del Monte Golas di cui sono stati rilevati resti sul fianco sud-occidentale del colle. Si ritiene pertanto opportuna la sorveglianza archeologica.

17.3.4 Duino-Aurisina Moschenizze: da Pk 12+647 a Pk 13+383

In quest'area è prevista l'installazione di un cantiere all'imbocco della galleria naturale. Nel solco di Moschenizze, a poco più di 200 m dal cantiere, lungo la sponda sinistra del canale del Locavaz, durante i lavori per lo svincolo della strada statale 202 per Gorizia, furono rinvenuti alla fine degli anni '70 ammassi di argilla rossa contenenti frammenti ceramici e cenere, i quali sembrerebbero costituire scarti di cottura di una fornace. Nella medesima zona fu segnalata la presenza di una stazione preistorica. Essendo la zona molto ricca di rinvenimenti, si consiglia una costante sorveglianza archeologica.

17.3.5 Duino Aurisina – Cave di Pietra, Bristie: da Pk 24+354 a Pk 25+607

In questa tratta sono presenti la Caverna dei Vasi e la Caverna delle Lucerne. La Caverna dei Vasi dista circa 63 m dalla galleria artificiale (camerone di interconnessione con L.S. Bivio Aurisina) e circa 32 m dal Cantiere imbocco galleria CG09 – F3.

Il rischio potenziale che potrebbe desumersi dalla sovrapposizione planimetrica dei siti al tracciato è in questi casi tuttavia notevolmente ridotto dalla tipologia dell'opera, in quanto il percorso in galleria naturale, a quote molto basse, riduce notevolmente la possibilità di interferenze.

17.4 Percezione da parte degli stakeholder

La possibilità di rinvenimenti archeologici durante la realizzazione dell'opera prevede il coinvolgimento, sia nelle fasi di progettazione che in quella di realizzazione, della Soprintendenza Archeologica territorialmente competente, che risulta l'ente deputato alla tutela del patrimonio archeologico.

Non ci si attende interessamento da parte di altri soggetti.

PARTE D - SINTESI DELLE PRINCIPALI PROBLEMATICHE ED EFFETTI SULL'AMBIENTE E SULLE POPOLAZIONI RESIDENTI

18 RICADUTE DELL'OPERA SULLA SALUTE PUBBLICA

18.1 Premessa

Il D.P.C.M. 27/12/1988, riguardo alla componente ambientale "Salute pubblica", specifica che *Obiettivo della caratterizzazione dello stato di qualità dell'ambiente, in relazione al benessere ed alla salute umana, è quello di verificare la compatibilità delle conseguenze dirette e indirette delle opere e del loro esercizio con gli standard e i criteri per la prevenzione dei rischi riguardante la salute umana a breve, medio e lungo periodo. [.]*

Per quanto riguarda le infrastrutture di trasporto, l'indagine dovrà riguardare la definizione dei livelli di qualità e di sicurezza delle condizioni di esercizio [.]. In merito a questo secondo aspetto si osserva che le condizioni di sicurezza e di esercizio di una linea ferroviaria sono definite a livello di normativa tecnica di settore.

Si nota peraltro come, trattandosi in questo caso interventi relativi al trasporto di persone e di merci su ferro, la realizzazione delle opere di progetto fornisca di fatto un contributo positivo al contenimento dei rischi connessi all'incidentalità stradale ed alla riduzione dell'inquinamento atmosferico.

Dalla promulgazione del sopracitato DPCM, gli indirizzi nazionali e internazionali portano ad una rafforzamento della la politica della difesa della salute pubblica che, come indicato dall'OMS, deve essere intesa in un concetto più ampio e cioè come "*uno stato di benessere fisico, mentale e sociale e non semplicemente come l'assenza di malattie o infermità*".

Il rapporto tra ambiente e salute veniva già sottolineato nel Piano Sanitario Nazionale 1998-2000, ispirato a sua volta dalla strategia OMS[10], che a tal proposito riportava:

"*Qualsiasi contaminante presente nell'ecosistema interagisce con gli organismi viventi...In particolare la qualità dell'aria, dell'acqua, degli alimenti e dell'ambiente in toto riveste un ruolo determinante". Inoltre "La qualità dell'ambiente dipende sostanzialmente dai modelli di vita e di produzione dei beni in essere sul territorio; essa quindi è direttamente orientata dalle scelte di governo del sistema*".

La conoscenza del rapporto ambiente-salute risulta, in molti casi, ancora difficoltosa per l'incertezza su relazioni di causa – effetto univoche tra l'esposizione ambientale ad uno specifico fattore di pressione e gli effetti sulla salute umana.

I motivi che rendono non semplice l'identificazione di una relazione esposizione-patologia, soprattutto quando l'effetto non è di tipo acuto o immediato, sono riconducibili ai due seguenti fattori:

- il lungo periodo di latenza tra il momento/periodo in cui è avvenuta l'esposizione e le prime modificazioni patologiche, che porta a sottostime se non addirittura all'impossibilità dell'individuazione del nesso causale;

---

[10] Health 21 – The Health for all policy framework for the WHO European Region

- la "generalizzazione" (esposizione a più fattori) ed il basso livello di esposizione allo specifico fattore rendono poco evidenti tra i soggetti esposti (rispetto alla popolazione complessiva) i danni provocati.

Le informazioni relative alla descrizione dell'ambiente per la determinazione dello stato "ante operam" e l'analisi delle azioni di progetto effettuate hanno portato all'individuazione dei fattori di pressione che, se non correttamente mitigati, possono rivestire importanza dal punto di vista sanitario.

Oltre agli effetti che comportano l'insorgere di patologie è necessario però considerare gli effetti sul benessere della popolazione e le conseguenze sociali e culturali.

Gli aspetti del presente progetto che possono influire sullo stato della salute pubblica riguardano principalmente:

- le emissioni di inquinanti nella matrice aria;
- l'inquinamento del suolo e delle acque superficiali o sotterranee;
- l'alterazione del clima acustico;
- l'insorgere di vibrazioni;
- la presenza di campi magnetici.

Gli aspetti sopra elencati sono già stati trattati nel dettaglio, all'interno del presente Quadro di Riferimento Ambientale, attraverso l'analisi delle "pressioni" prodotte dal progetto sulle singole componenti. ambientali

L'analisi della compatibilità delle opere in progetto e del loro esercizio in relazione alle ricadute dirette e indirette sul benessere e la salute della popolazione coinvolta viene pertanto affrontata nel presente paragrafo come sintesi delle risultanze delle analisi eseguite sulle componenti ambientali sopra indicate, cui si rimanda, per le analisi di dettaglio.

18.2 Atmosfera

L'impatto sull'atmosfera provocato dalla linea ferroviaria è limitato alla sola fase di realizzazione dell'opera. In particolare, l'interferenza dell'opera sulla componente risulta circoscritta ad ambienti ristretti nell'intorno delle aree di lavoro e lungo la viabilità interessata dal transito dei mezzi di cantiere.

Per quanto riguarda le sostanze aeroinquinanti l'aspetto più significativo è certamente legato alla produzione di polveri. Le operazioni di movimento terra e lo stesso transito dei mezzi di cantiere su superfici non pavimentate possono, infatti, comportare localmente elevati valori di concentrazione delle polveri. In relazione ai contesti nei quali si collocano i cantieri in oggetto, risulta essere di fondamentale importanza l'efficacia degli interventi di controllo preventivo della dispersione delle polveri.

Pur tenendo conto del carattere temporaneo di queste attività la presenza di polveri può avere ricadute sulla salute pubblica sia dal punto di vita patologico (aggravamenti nei soggetti asmatici e allergici) sia dal punto di vista della vivibilità. Si nota comunque che le aree di cantiere dove si svolgono attività di movimento terra risultano per lo più lontane da ricettori residenziali.

A fine di limitare l'impatto, nella relazione del Quadro di Riferimento Progettuale, sono state dettagliatamente individuati tutte quelle prescrizioni gestionali che possono condurre ad una diminuzione della dispersione delle polveri in atmosfera. L'efficacia degli interventi di controllo sarà, in ogni caso, verificata tramite opportune campagne di monitoraggio in corso d'opera.

18.3 Suolo ed acque superficiali e sotterranee

In merito a questi aspetti, le problematiche concernenti la salute pubblica riguardano soprattutto la fase di costruzione dell'opera, ed in particolare i potenziali rischi di inquinamento dei suoli che saranno poi restituiti all'uso agricolo.

Per escludere il rischio di inquinamento, nell'ambito delle analisi ambientali svolte nei precedenti capitoli sono state individuate specifiche procedure operative da applicare durante la fase di realizzazione dell'opera. Tali misure consentono di evitare l'insorgere di ricadute sulla salute pubblica.

18.4 Rumore

L'esposizione al rumore da parte dell'uomo può generare un azione dannosa sull'organismo; gli eventuali danni che possono riscontrarsi sono funzione dei tempi di esposizione e dei livelli di rumore a cui si è esposti. Gli effetti possono essere sia a carico dell'udito sia di altri organi.

Gli effetti indotti dall'esposizione al rumore possono essere distinti in:

- annoyance, viene identificata con una sensazione di disagio o fastidio e corrisponde a livelli di esposizione degli individui a livelli di rumorosità inferiori agli 80 dB(A);
- disturbo, corrisponde ad una alterazione temporanea della funzione uditiva che si manifesta all'esposizione a livelli di rumorosità compresi tra 80-120 dB(A);
- danno, si intende una alterazione irreversibile o parzialmente reversibile a carico dell'organo dell'udito che viene correlata a livelli di esposizione del rumore superiori a 120-130 dB(A).

Generalmente, dato il livello di rumore e la frequenza dei transiti, gli effetti indotti dal rumore sulle comunità umane indotti da una linea ferroviaria sono legati a sensazioni di annoyance e solo in alcuni casi di disturbo; gli effetti che si determinano sono prevalentemente di natura psicosomatica e psicologica e si traducono in sensazioni di disagio, affaticamento mentale, diminuzione dell'attenzione.

Rispetto all'opera in oggetto si osserva che l'innesco di potenziali problematiche può verificarsi sia nella fase di costruzione che nella fase di esercizio. A tal fine è stato sviluppato uno studio acustico volto a verificare tali problematiche. Lo studio acustico ha consentito di individuare specifiche misure di mitigazione, costituite da barriere antirumore, sia per la fase di cantiere che per la fase di esercizio, finalizzate a ridurre entro i limiti definiti dalla normativa vigente l'innalzamento del livello di rumore sui singoli ricettori. Per quanto riguarda la fase di esercizio oltre alle barriere antirumore sono previsti interventi di sostituzione degli infissi dei ricettori maggiormente esposti.

L'adozione delle suddette misure di mitigazione consente di contenere le variazioni del clima acustico al di sotto del livello di disturbo. Specifiche misure gestionali da adottare nella conduzione dei cantieri consentiranno inoltre di contenere l'insorgere di situazioni di impatto.

L'efficacia degli interventi e delle misure gestionali sarà, in ogni caso, verificata tramite opportune campagne di monitoraggio in corso d'opera.

18.5 Vibrazioni

Le vibrazioni indotte dall'attività dei mezzi di cantiere (in fase di costruzione) o dal passaggio dei convogli ferroviari (in fase di esercizio) possono generare, se agiscono per intervalli di tempo abbastanza prolungate, disturbi alla popolazione residente.

Al fine di verificare i livelli vibrazionali generati dalla costruzione della linea in esame e l'eventuale presenza di criticità sono state svolte apposite simulazioni; queste hanno mostrato che la realizzazione della linea ferroviaria non determina sostanziali disagi sulla popolazione residente nell'area circostante. Ove siano prevedibili livelli di mitigazione significativi si sono comunque proposti appositi interventi di mitigazione.

L'attività di monitoraggio prevista consentirà di tenere sotto controllo il fenomeno ed evidenziare eventuali fenomeni di criticità.

18.6 Campi elettromagnetici

Gli impianti di alimentazione della linea ferroviaria, che risultano di tipo tradizionale (linee a 3 kV a corrente continua), non generano campi magnetici significativi in termini di potenziali effetti sulla salute umana.

Nell'ambito del progetto è prevista la realizzazione di un nuovo elettrodotto, per l'alimentazione di una nuova sottostazione elettrica.

Le analisi svolte mostrano che il campo magnetico generato anche in asse all'elettrodotto risulta a quota campagna inferiore ai limiti stabiliti dalla normativa, e che entro la fascia di asservimento dell'elettrodotto non sono presenti ricettori a carattere residenziale.

19 SINTESI DELLE PROBLEMATICHE AMBIENTALI

19.1 Introduzione

Nel presente paragrafo viene effettuata una sintesi delle criticità identificate nel corso dello studio in relazione ai singoli aspetti/componenti ambientali, raggruppati per sistema di riferimento come da tabella riportata nel seguito.

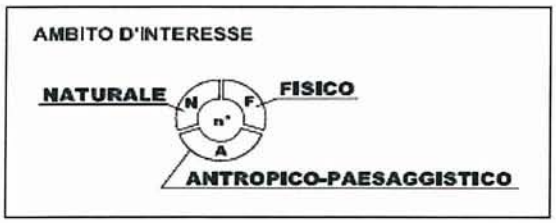
SISTEMA AMBIENTALE	COMPONENTE AMBIENTALE
ANTROPICO	Programmazione e pianificazione territoriale Materie prime e rifiuti/terre e rocce da scavo Emissioni in atmosfera Rumore Vibrazioni
PAESAGGISTICO	Morfologia del paesaggio e visualità Beni storici ed architettonici Archeologia
NATURALE	Vincoli ed aree protette Vegetazione, flora, fauna Ecosistemi
FISICO	Acque Suolo e sottosuolo

Le criticità riscontrate sono state raffigurate nell'elaborato "*Carta di sintesi delle criticità ambientali*" in scala 1:25.000 (elaborato L344 00 R22 P3 SA000A 001-002 A), allegato alla presente relazione.

I tratti di criticità sono stati riferiti, al fine di facilitarne la localizzazione, alle proressive chilometriche dell'asse ferroviario delle diverse linee interessate; la descrizione dei tratti critici individuati nella carta tematica sopra citata è articolata nel successivo paragrafo mediante la compilazione di schede che riportano i seguenti elementi:

- N. scheda e descrizione sintetica dell'interferenza
- *Localizzazione:* da km a km
- *Ambito interessato:* individuazione del sistema ambientale coinvolto
- *Descrizione*: descrizione sintetica delle criticità riscontrate

Alla presente descrizione corrisponde analoga rappresentazione nella cartografia tematica sopra citata, secondo la seguente legenda.





Nel Quadro di Riferimento Progettuale vengono definite, in relazione al livello progettuale, le misure idonee a migliorare i rapporti opera/ambiente o risolvere l'interferenza prevista.

19.2 Scheda 1 – Impatto acustico e vibrazionale su aree urbanizzate da inizio progetto a Monfalcone

Localizzazione: da inizio intervento a km 9+095 linea AC/AV e da km 0+000 a km 0+640 linea UD-TS

Ambito interessato: Antropico

Descrizione: La linea ferroviaria attraversa un ambito fortemente urbanizzato con ricettori a carattere sia residenziale e produttivo, determinando un impatto acustico e vibrazionale sui fronti edificati più vicini.

Gli interventi previsti a tutela, sono costituiti da barriere antirumore e, ove necessario, interventi diretti di sostituzione degli infissi.

Alla luce di tali considerazioni, all'area in esame è stato attribuito un livello alto di criticità nell'ambito del progetto.

19.3 Scheda 2 – Impatto acustico e viabrazionale sull'area di Sablici

Localizzazione: da km 12+300 a km 12+720

Ambito interessato: Antropico

Descrizione: La linea ferroviaria attraversa la piccola frazione di Sablici, determinando un impatto acustico e vibrazionale sui ricettori più vicini.

Gli interventi previsti a tutela, sono costituiti da barriere antirumore e, ove necessario, interventi diretti di sostituzione degli infissi.

Alla luce di tali considerazioni, all'area in esame è stato attribuito un livello alto di criticità nell'ambito del progetto.

19.4 Scheda 3 – Impatto acustico e vibrazionale sull'area di Aurisina

Localizzazione: da km 23+095 a km 24+180

Ambito interessato: Antropico

Descrizione: La linea ferroviaria attraversa la frazione di Aurisina scalo, determinando un impatto acustico e vibrazionale sui ricettori più vicini.

Gli interventi previsti a tutela, sono costituiti da barriere antirumore e, ove necessario, interventi diretti di sostituzione degli infissi.

Alla luce di tali considerazioni, all'area in esame è stato attribuito un livello alto di criticità nell'ambito del progetto.

19.5 Scheda 4 – Interferenza con testimonianze della Grande Guerra sulle alture di Monfalcone

Localizzazione: da km 7+500 a km 13+150

Ambito interessato: Antropico- paesistico

Descrizione: Il tracciato ferroviario interferisce con alcune testimonianze degli eventi bellici, costituite da tracce di trincee e camminamenti, alcune della quali recentemente valorizzate da parte del comune di Monfalcone con un Parco tematico della Grande Guerra.

L'interferenza sarà limitata, e le opere in progetto non snatureranno lo stato dei luoghi, che potranno anzi rendere maggiormente accessibili nella porzione nord, con la realizzazione delle strade di servizio a sostituzione delle attuali piste sterrate.

Il livello di criticità assegnato è medio.

19.6 Scheda 5 – Impatto paesaggistico nell'area del Carso

Localizzazione da km 10+900 a km 13+150

Ambito interessato: Antropico- paesistico

Descrizione: L'area rappresenta il punto più critico per il transito della linea ferroviaria poiché i binari attraverseranno allo scoperto l'area nei pressi del lago di Pietrarossa e della palude di Sablici. Tale ambito, insieme al lago di Doberdò localizzato poco più a nord, costituisce un raro esempio di idrografia superficiale legata al fenomeno del carsismo e di area ad elevato grado di biodiversità. Di fatto, solo i nuovi viadotti tra i rilievi dell'altopiano rappresenteranno opere ad evidente interferenza paesaggistica.

La variegata morfologia del territorio e l'attuale sovrapposizione della matrice antropica a quella naturale renderanno le opere in questione evidenti solo da alcuni punti di fruizione lungo le principali viabilità. Saranno, invece, mascherate alla vista dalla vegetazione rigogliosa addentrandosi nelle aree naturali, mantenendosi sostanzialmente invisibili ai fruitori dell'area.

L'introduzione della linea ferroviaria e delle opere connesse non determineranno modifiche sostanziali agli elementi strutturali del paesaggio, ma solamente variazioni accettabili ed integrabili nello stesso per tipo e dimensione. Pertanto si deduce che il livello di criticità è basso.

19.7 Scheda 6 – Interferenza con aree SIC e ZPS

Localizzazione: da km 13+000 a km 14+500 ; da km 15+000 a km 17+650 ; da km18+400 a km 19+000 ; da km 19+300 a km 22+800 ; da km 24+450 a km 26+140 ; da km 26+650 a km 30+000 ; da km 30+200 a km 32+300 ; da km 32+950 a km 34+400

Ambito interessato: Naturale

Descrizione: Il tracciato di progetto interferisce direttamente (insieme alle aree di cantiere) con due aree della rete Natura 2000: il SIC IT3340006 - Carso triestino e goriziano e la ZPS IT3341002 - Aree carsiche del Venezia Giulia.

L'opera si colloca in posizione marginale rispetto alle aree tutelate, e viene ad interessare piccole frazioni degli ecosistemi tutelati. La valutazione di incidenza presentata nell'ambito dello studio indica che le ricadute generate sugli ecosistemi principali sono di ridotta entità.

Di conseguenza la criticità è classificabile come media.

19.8 Scheda 7 – Attraversamento di aree carsiche

Localizzazione: da km 21+950 a km 27+300

Ambito interessato: Naturale, fisico

Descrizione: Nella tratta in questione il tracciato, prevalentemente in sotterraneo, si sviluppa dapprima nei Calcari di Aurisina, altamente carsificabili e carsificati, con alta probabilità di incontrare vuoti anche significativi, e quindi nei Calcari liburnici ed eocenici, un po' meno carsificabili, ma anch'essi con possibilità di incontrare vuoti.

L'ambiente carsico è estremamente vulnerabile sia dal punto di vista idrogeologico, data l'elevata velocità di dispersione di eventuali sostanze contaminanti e data la possibilità che lo scavo di una galleria alteri percorsi idrici sotterranei, sia dal punto di vista geomorfologico, per la presenza di grotte e cavità la cui estensione non è prevedibile con indagini dalla superficie.

Inoltre alcune grotte possono ospitare una fauna particolare, costituita da chirotteri e insetti troglobi.

L'attraversamento di quest'area costituisce senz'altro l'elemento di maggiore criticità dell'opera in esame, non solo in ragione delle potenziali interferenze del tracciato, ma anche per la fase di costruzione.

Il livello di criticità assegnato è alto.

19.9 Scheda 8 – Realizzazione bretella di elettrodotto ad Aurisina

Localizzazione: km 22+800

Ambito interessato: Antropico

Descrizione: In località Aurisina verrà realizzata una nuova sottostazione elettrica per l'alimentazione della linea ferroviaria, con un breve elettrodotto di collegamento con la linea AT 132 kV esistente. Data la ridotta estensione dell'opera, che si trova in un'area già interessata da due elettrodotti, e data l'assenza di ricettori entro la fascia di rispetto, la criticità è valutata come bassa.

20 SINOTTICO DEGLI EFFETTI SULLE COMPONENTI AMBIENTALI

Nel presente capitolo si riporta un giudizio sintetico delle situazioni di impatto riscontrate per le diverse componenti/aspetti in relazione alla fase di esercizio e a quella di cantiere.

L'impatto è distinto in:

- impatto legislativo;
- impatto ambientale;
- impatto sulle parti interessate.

La valutazione di significatività dell'impatto è espressa sinteticamente con il seguente giudizio:

- s = significativo;
- ns = non significativo.

COMPONENTI AMBIENTALI	Materie prime	Acque	Emissioni in atmosfera	Rifiuti	Suolo e sottosuolo	Emissioni non ionizzanti	Rumore	Vibrazioni	Sostanze pericolose	Sistema delle aree protette	Vegetazione, flora e fauna, ecosistemi	Paesaggio e visualità	Sistema antropico	Archeologia	Beni storici e architettonici	Programmazione e pianificazione territoriale
Impatto legislativo	ns	s	s	s	s	s	s	ns	ns	s	s	s	ns	s	s	s
Impatto ambientale	ns	s	s	s	s	s	s	s	ns	s	s	s	ns	s	s	s
Impatto sulle parti interessate	s	s	s	s	s	s	s	s	ns	s	s	s	ns	s	s	s
Valutazione complessiva di significatività	ns	s	s	s	s	s	s	s	ns	s	s	s	ns	s	s	s

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – RUMORE: TABELLE CON RISULTATI DELLE SIMULAZIONI PER LA FASE DI ESERCIZIO

ALLEGATO 2 – RUMORE: OUTPUT GRAFICI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE PER LA FASE DI ESERCIZIO – STATO DI PROGETTO

ALLEGATO 3 – RUMORE: OUTPUT GRAFICI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE PER LA FASE DI ESERCIZIO – STATO DI PROGETTO CON INTERVENTI DI MITIGAZIONE

ALLEGATO 4 – RUMORE: OUTPUT GRAFICI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE PER LA FASE DI COSTRUZIONE

ALLEGATO 5 – RUMORE: OUTPUT GRAFICI DEL MODELLO DI SIMULAZIONE PER LA FASE DI COSTRUZIONE CON INTERVENTI DI MITIGAZIONE

ALLEGATO 6– FAUNA - ELENCO DELLE SPECIE FAUNISTICHE PRESENTI IN AREA VASTA

ALLEGATO 7 – ECOSISTEMI - ANALISI DI INCIDENZA DELL'OPERA SULLA RETE NATURA 2000

ALLEGATO 8 – ECOSISTEMI – FORMULARIO STANDARD NATURA 2000 PER LE AREE SIC E ZPS INTERESSATE DALL'OPERA

ALLEGATO 9 – VIBRAZIONI – IMPATTO VIBRAZIONALE INDOTTO DALLE ATTIVITÀ DI COSTRUZIONE