

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**U.O. GEOLOGIA**

**PROGETTO PRELIMINARE**

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

**RELAZIONE GEOLOGICA**

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

L 3 4 4 0 0 R 6 9 R G G E 0 0 0 1 0 0 1 A

| Rev | Descrizione | Redatto | Data      | Verificato | Data      | Approvato | Data      | Autorizzato Data      |
|-----|-------------|---------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| A   | EMISSIONE   | Rodani  | Ott. 2010 | Polimeni   | Ott. 2010 | Fochesato | Ott. 2010 | Marchese<br>Ott. 2010 |
|     | ESECUTIVA   |         |           |            |           |           |           |                       |
|     |             |         |           |            |           |           |           |                       |
|     |             |         |           |            |           |           |           |                       |

File: L34400R69RGGE0001001A.doc

n. Elab:

102



Progetto cofinanziato  
dalla Unione Europea

ITALFERR SpA  
Dr. Geologo Francesco Marchese  
Resp. U.O. Geologia  
Ordine Geologi Lazio n. 179 es

## INDICE

|       |                                                            |    |
|-------|------------------------------------------------------------|----|
| 1     | PREMESSA.....                                              | 4  |
| 2     | CARATTERISTICHE GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE GENERALI..... | 5  |
| 2.1   | ASSETTO LITOLOGICO GENERALE.....                           | 5  |
| 2.2   | COPERTURA QUATERNARIA.....                                 | 17 |
| 2.3   | ASSETTO STRUTTURALE GENERALE.....                          | 20 |
| 3     | INDAGINI GEOGNOSTICHE.....                                 | 21 |
| 4     | EVOLUZIONE CARSIKA GENERALE.....                           | 22 |
| 4.1   | CARATTERISTICHE EPIGEE ED IPOGEE LUNGO IL TRACCIATO.....   | 26 |
| 4.1.1 | <i>Le doline</i> .....                                     | 27 |
| 4.1.2 | <i>Le cavità</i> .....                                     | 28 |
| 4.1.3 | <i>I depositi di riempimento delle cavità</i> .....        | 29 |
| 4.1.4 | <i>Forme ipogee caratteristiche</i> .....                  | 29 |
| 4.2   | ASSETTO IDROGEOLOGICO GENERALE.....                        | 34 |
| 5     | CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SETTORE STUDIATO.....   | 36 |
| 5.1   | COMPLESSI IDROGEOLOGICI.....                               | 36 |
| 5.2   | LA RETE DI MONITORAGGIO.....                               | 38 |
| 5.3   | CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE.....                         | 42 |
| 6     | CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO.....    | 42 |
| 6.1   | LE CAVITÀ DI INTERESSE DEL TRACCIATO.....                  | 43 |
| 6.1.1 | <i>Cavità tutelate</i> .....                               | 43 |
| 6.1.2 | <i>Osservazioni sulla tipologia delle cavità</i> .....     | 44 |
| 6.1.3 | <i>Cavità</i> .....                                        | 44 |
| 6.2   | CARSIFICAZIONE PRESUNTA LUNGO IL TRACCIATO.....            | 52 |



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

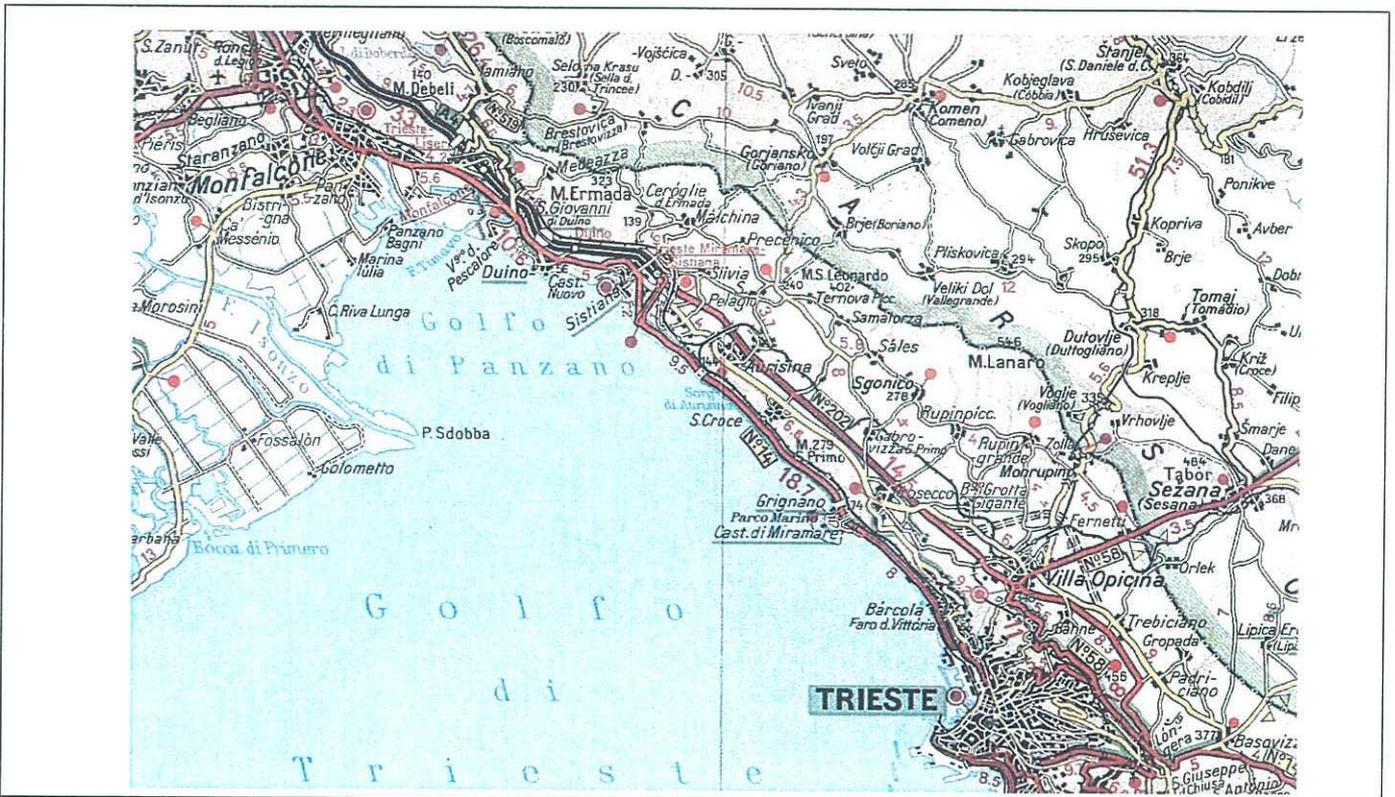
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO  |
|----------|-------|----------|--------------|------|---------|
| L344     | 00    | R.69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 3 di 78 |

|       |                                                                    |    |
|-------|--------------------------------------------------------------------|----|
| 6.2.1 | <i>Caratteristiche geologiche e strutturali lungo il tracciato</i> | 55 |
| 7     | CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE                                          | 57 |
| 8     | ALLEGATI                                                           | 60 |
| 9     | DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA                                         | 61 |
| 10    | BIBLIOGRAFIA                                                       | 66 |

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati dello studio geologico eseguito a supporto della progettazione preliminare della nuova linea AV/AC Venezia – Trieste lungo la tratta Ronchi dei Legionari – Trieste: la lunghezza complessiva della tratta in esame è di circa 37 Km, dei quali oltre 21 in galleria naturale.

Il settore di territorio interessato dallo studio è situato all'interno della Regione Friuli Venezia Giulia, nelle provincie di Gorizia e Trieste (Fig. 1), all'interno di quell'area che è geologicamente conosciuta come "Carso classico", in quanto caratterizzata dalla presenza in superficie ed in profondità di morfotipi carsici particolarmente evoluti, frequenti e vari. La porzione di Carso classico che ricade in Italia è suddivisa in Carso triestino e Carso isontino.



*Inquadramento geografico dell'area in studio*

Il lavoro si è articolato in una fase preliminare di raccolta e analisi di dati bibliografici, seguita da rilievi geologici, geomorfologici e idrogeologici sul terreno, in ricerche e rilevamenti sulle doline e sulle principali cavità carsiche note e prossime al tracciato ferroviario, al fine di individuarne le caratteristiche geometriche, quelle geologiche di

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |         |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|---------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |         |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |         |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO  |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 5 di 78 |

massima e l'eventuale presenza d'acqua. Per il completamento dello studio si è fatto inoltre utilizzo dei risultati di alcune indagini geognostiche distribuite all'interno dell'areale investigato.

Visto il particolare contesto geomorfologico in cui si inseriscono le opere previste in progetto, la campagna di studi è stata condotta con il supporto specialistico del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste, e, in particolare, del Prof. Franco Cucchi, Professore Ordinario di Geografia Fisica e Geologia Applicata.

Le informazioni di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area indagata sono state sintetizzate nei seguenti elaborati, che costituiscono parte integrante della presente Relazione:

- Carta geologica (scala 1:10000 – 4 tavole)
- Profilo geologico (scala 1:10000 – 2 tavole)
- Carta geologica di dettaglio (scala 1:5000 – 4 tavole)
- Carta idrogeologica (scala 1:10000 - 4tavole)
- Profilo idrogeologico (scala 1:10000 -2 tavole)
- Carta geomorfologica (scala 1:5000 - 4 tavole)
- Profilo geomorfologico (scala 1:10000 - 1 tavola)

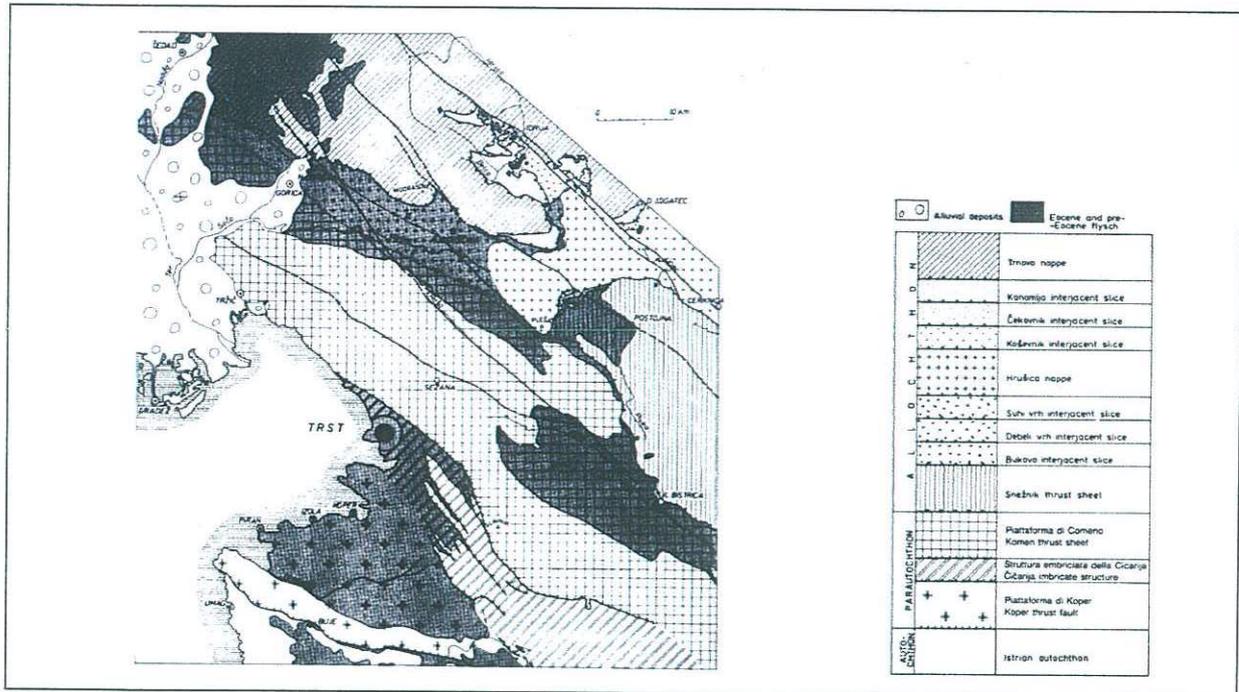
I profili suddetti sono costruiti sul Binario Pari della linea AV/AC in progetto.

## 2 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE GENERALI

### 2.1 Assetto litologico generale

Nel Carso triestino e isontino dal punto di vista stratigrafico affiorano depositi di piattaforma carbonatica di età compresa fra l'Aptiano e l'Eocene inferiore potenti fino a 2000 m, sovrastati da depositi torbiditici (Flysch) di età Eocene inferiore. La sequenza è disposta ad anticlinale, con il fianco meridionale asimmetrico, da molto inclinato a rovesciato e sovrascorrente, anche grazie alla plasticità del Flysch, tramite faglie a basso angolo (Cucchi et al., 2000).

Dal punto di vista strutturale (Placer, 1981) i sedimenti fanno parte della terminazione occidentale di una vasta e potente unità detta "Piattaforma di Comeno" che affiora dalla sinistra del F. Vipacco (Slovenia) al Golfo di Trieste e dalla pianura isontina a Ilirska Bistrica (Slovenia). Questa unità risulta in parte sovrascorsa a settentrione ed a oriente da altre unità ("unità M. Nanos - Selva di Tarnova"). La Piattaforma, con altre due unità poste a SW ("Struttura embriciata della Ciceria" e "Piattaforma di Capodistria), compone un insieme para-autoctono che a sua volta sovrascorre sull'autoctono istriano, altra vasta unità presente ancora più a SW. Tutte queste unità geostutturali hanno andamento dinarico, sono cioè allungate in direzione NW-SE con le strutture tettoniche (assi di pieghe e faglie) preferenzialmente orientate parallelamente a questa direzione.



*Le unità strutturali della Slovenia occidentale (da Placer, 1981)*

La successione stratigrafica del Carso Triestino, oggetto di studio da parte di numerosi Autori (Stache, 1920a, 1920b; D'Ambrosi, 1953, 1955, 1961; Cucchi et al., 1987) fin dal secolo scorso, è oggi suddivisa in cinque Unità crono-litostratigrafiche a cui si aggiunge la Formazione del Flysch.

Il tratto studiato interessa praticamente tutta la successione: i diversi membri e i litotipi che caratterizzano il complesso carbonatico, ed in particolare il settore indagato, di seguito vengono descritti dai termini più antichi a quelli più recenti.

A tal proposito si fa inoltre presente che a seguito di recenti studi e rilevamenti eseguiti dal Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste per conto del Servizio Geologico della Regione FVG, si è giunti ad una parziale modifica terminologica e cronostratigrafica delle formazioni affioranti nel Carso e ad una più moderna interpretazione dell'assetto strutturale dell'area.

In sintesi, si sono riconosciute sul terreno e mappate le seguenti unità litostratigrafiche:

**a. 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 rinvencono 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 rinvencono 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 breccie 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 breccie 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 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 breccie di micrite nerastra angolosi; alternanze calcareo-dolomitiche con strutture paleocarsiche (cavità centimetrico-decimetriche riempite da calcite rossastra, siderite bruna e limonite ocracea).

**a.1 Rapporti stratigrafici:** la parte inferiore dell'unità non è individuabile: i livelli più antichi affiorano in Slovenia (Formazione di Brije). La parte superiore è marcata da un livello dolomitico carsificato sottostante a breccie scure dolomitizzate appartenenti alla soprastante unità.

**a.2 Fossili:** le biofacies, generalmente costituite da faune oligotipiche, sono rappresentate da *Textulariidae*, *Miliolidae*, *Nubeculariidae*, gasteropodi ed ostracodi; poco abbondanti *Debarina hahounerensis*, *Sabaudia minuta*, *Cuneolina* cf. *C. tenuis* (nella parte inferiore e mediana del membro), *Cuneolina* cf. *C. camposaurii* (al tetto del membro). Più raramente: *Glomospira* e *Glospirella* nella parte inferiore del membro; Requienidi e Nerinee nella parte mediana.

**a.3 Età:** Aptiano inferiore *p.p.*-Albiano superiore.

**a.4 Ambiente deposizionale:** Piattaforma carbonatica peritidale (lagune e tidal flat), con frequenti episodi di emersione soprattutto nella parte superiore dell'unità.

**a.5 Note:** questa Unità corrisponde in gran parte a quella nota come Membro di Monte Coste. Sulla base di rilievi geologico stratigrafici recenti si è deciso di tornare ad una denominazione litologica e di chiudere questa unità quando iniziano i primi ed importanti episodi di paleocarsismo.

Interesserà il tracciato presumibilmente dalla progressiva 7+610 (ingresso nel rilievo calcareo) alla 10+865, dalla progressiva 10+950 alla 11+795 e dalla 13+890 alla 17+230 (valori indicativi calcolati sul piano ferro riportato nel Profilo geologico).

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.

**b. Formazione di Monrupino (FM) (Cenomaniano p.p.)**

Alla base dell'unità si riscontrano livelli di breccie 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 breccie rappresenta un marker stratigrafico che rappresenta il principale elemento distintivo che permette la collocazione del limite con l'unità sottostante.

Nella parte inferiore, le breccie 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 fangostenuta 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.

**b.1 Rapporti stratigrafici:** la parte basale dell'unità è costituita da breccie scure dolomitizzate che poggiano su una superficie irregolare paleocarsica. Il limite superiore, marcato dal livello a Calcisphaerulidae, corrisponde all'annegamento abortito della piattaforma avvenuto, in questo settore, durante il Cenomaniano superiore. Lo spessore dell'unità è di circa 700 metri.

**b.2 Fossili:** le breccie basali non contengono evidenze di fossili. I calcari sovrastanti contengono associazioni tipiche del Cenomaniano medio-superiore (Chrysalidina gradata, Biplanata peneropliformis, Broeckina balcanica, Pseudolituonella reicheli, Biconcava bentori, Pseudorhapydionina dubia, Vidalina radoicicae, ecc. Tra le rudiste osservate si segnalano Praeradiolites fleurasius, Eoradiolites spp. e Sauvagesia sharpei. Oltre alle radiolitidi, si rinvencono Chondrodonta johannae e Neithea fleurasiana. Nella parte alta della Formazione, si rinvencono calcari grigi (wackestone e packstone) compatti caratterizzati dalla presenza di forme planctoniche (Rotalipora, Heterohelicidae e Calcisphaerulidae). La parte sommitale di questi depositi corrisponde al limite superiore della Formazione e registra l'importante evento trasgressivo e il conseguente annegamento della piattaforma.

**b.3 Età:** l'età della Formazione è Cenomaniano p.p.

**b.4 Ambiente deposizionale:** piattaforma carbonatica da interna a marginale, con episodi ad alta energia. Le breccie basali sarebbero derivate da eventi di emersione della piattaforma e locali fenomeni di carsificazione e smantellamento della stessa con modesto trasporto dei materiali in zone depresse. Detta emersione si è probabilmente verificata in concomitanza di una fase tettonica che ha dato luogo ad una prolungata fase di esposizione subaerea della piattaforma.

**b.5 Note:** questa unità litostratigrafica corrisponde in gran parte a quella definita in passato Membro di Rupingrande e comprende anche i litotipi inseriti nel sovrastante Membro di Zolla ("unità litostratigrafica delle alternanze dei calcari e dolomie"). Si è modificata la nomenclatura, si sono accorpati due membri, dando alle due unità il rango di un'unica formazione, riconoscendole un'età cenomaniana.

Interesserà il tracciato presumibilmente dalla progressiva 10+865 alla 10+950, dalla progressiva 11+795 alla 13+890, dalla progressiva 17+230 alla 21+950 (valori indicativi calcolati sul piano ferro riportato nel profilo geologico).

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

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 10 di 78 |

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.

### *c. 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).

**c.1 Rapporti stratigrafici:** il limite inferiore è posto al contatto tra il biorizzonte a Calcisphaeruliidae e facies grossolane generalmente bioclastiche. Il passaggio alle soprastanti facies liburniche è marcato da una superficie di unconformity che ha interrotto la sequenza carbonatica, portando in emersione parte della piattaforma carbonatica. Lo spessore dell'unità raggiunge circa i 1000 metri.

**c.2 Fossili:** nella parte inferiore, sono particolarmente frequenti livelli fossiliferi a Chondrodonta, Neithea, Acteonelle, Nerineidi, Coralli ed Echinidi. Ben rappresentate sono le Radiolitidi, Requienidi che a partire dal Turoniano sono associate a Hippuritidi.

Nella parte superiore, oltre alle suddette rudiste, si rinvencono abbondanti foraminiferi (Miliolidi, Scandonea samnitica, Moncharmontia appenninica, Pseudocyclamina sphaeroidea, Murgella lata,

Keramosphaerina tergestina, Dicyclina schlumbergeri, Accordiella conica, ecc.). Nelle facies più protette sono abbondanti associazioni oligotipiche caratterizzate da alghe (Decastronema kotori, Thamapoporella parvovesiculifera), foraminiferi (Discorbidae, piccole Miliolidae, soprattutto) e ostracodi. Al tetto si assiste all'ultima comparsa dei taxa cretacici quali, tra le rudiste: Bournonia sp., Apricardia sp.; tra i foraminiferi: Rhapydionina libunica, Cuneolina ketini, Cuneolina cilindrica e Fleuryana adriatica.

**c.3 Età:** non si sono individuati finora elementi faunistici significativi per datare la base dell'unità. Viene proposta un'età Cenomaniana superiore per analogia con la successione del Carso isontino. L'età dei depositi del tratto superiore è probabilmente Turoniano superiore(?) - Senoniano inferiore. Per quanto riguarda il Senoniano, non è stato possibile suddividere i calcari di età coniaciana da quelli di età santoniana. I Calcari di Aurisina sono chiusi dal biorizzonte a Keramosphaerina tergestina del Campaniano basale.

**c.4 Ambiente deposizionale:** i sedimenti della base dell'unità sono ascrivibili a contesti di piattaforma interna. Nel Turoniano superiore-Coniaciano i sedimenti sono caratterizzati da piane prevalentemente fangose e da ambienti lagunari di bassa profondità. Successivamente si notano gli effetti di una più efficiente circolazione marina. L'intervallo a Rudiste delle cave di Aurisina è identificabile con un sistema di elevata energia, di rampa carbonatica caratterizzata da banchi e dune sabbiose con intercalati ticket e cluster a Rudiste, indicativi però di moderata energia. Alla sommità, le facies bioclastiche contenenti K. tergestina sono tipiche di ambiente di piattaforma carbonatica aperta, talora ad elevata energia. All'inizio del Campaniano la piattaforma a Rudiste è emersa ed è stata intensamente carsificata.

**c.5 Note:** si è tornati all'antica denominazione di questa Unità, che rappresenta il cuore della successione carbonatica del Carso (la nomenclatura proposta nel 1987 da Cucchi et al. era: Membro di Borgo Grotta Gigante, definita anche "unità litostratigrafica dei calcari a rudiste").

I Calcari di Aurisina interesseranno il tracciato dalla progressiva 21+950 in poi, comprendendo la zona della Stazione di Aurisina fino alla progressiva 27+265, dove, si prevede il passaggio alla sovrastante Formazione Liburnica (valori indicativi calcolati sul piano ferro riportato nel Profilo geologico).

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".

#### **d. 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.

**d.1 Rapporti stratigrafici:** il limite inferiore coincide con la superficie di unconformity, ovvero di deposizione della breccia bianco-rosea, non sempre individuabile sul terreno. Il limite superiore è posto convenzionalmente in corrispondenza della comparsa dei primi livelli a *Nummuliti*. Lo spessore è di circa 280 metri.

**d.2 Fossili:** nella parte inferiore dell'unità si segnalano *Murciella cuvillieri*, *Moncharmontia appenninica*, *Rotorbinella scarsellai* e *Cuneolina*: Superiormente compaiono *Rhapidionina liburnica*, *Fleuriana*, *Dasycladaceae*, tra cui *Acroporella*. Tra i macrofossili sono osservabili rare rudiste (probabili *Gyropleura*), piccole *Requienidae* (*Apricardia?*) e *Bournonia* ed inoltre piccoli gasteropodi (*Viviparus* e *Stomatopsis*). I soprastanti depositi paleocenici sono caratterizzati da faune generalmente oligotipiche, ancora più scarse rispetto i depositi maastrichtiani. Prevalgono *Discorbidae*, *Textulariidae*, *Ostracodi*, *Miliolidi*, *Caracee*, talora *Dasycladaceae*. La parte terminale della successione è caratterizzata da abbondanti foraminiferi (*Miliolidae*, *Fallotella alavensis*, *Fallotella Kochanskae*, *Coskinon rajkae*, *Cribrobulimina carniolica*, ecc.), *Corallinaceae* e *Dasycladaceae*. Nella macrofauna si segnalano Coralli e Gasteropodi.

**d.3 Età:** Campaniano superiore p.p. – Thanetiano p.p.

**d.4 Ambiente deposizionale:** durante gran parte del Campaniano, la piattaforma era emersa ed è stata intensamente carsificata, evidenze di paleocarsismo. Nelle depressioni carsiche si sono originati bacini lacustri; nei soprastanti calcari scuri si osserva una transizione ambientale, da facies lacustri a facies salmastre. Con l'orizzonte a *Murciella* si ripristinarono normali condizioni marine in un'area di piattaforma relativamente protetta. Ad esso seguono facies caratterizzate da frequenti variazioni ambientali (sia marine protette, sia salmastre con frequenti episodi di emersione) che culminano con l'orizzonte marino a *Rhapidionina*. Anche il tratto Daniano-Selandiano della successione sembra contrassegnato da una sedimentazione episodica con apprezzabili variazioni di salinità, scarsa circolazione marina e fasi di emersione. La parte superiore della formazione è contraddistinta da ambienti marini prevalentemente subtidali, relativamente protetti, con episodi di alta energia.

*d.5 Note:* nella Carta geologica sono stati distinti i due intervalli, inferiore (*La*) e superiore (*Lb*), caratterizzanti l'unità, che corrisponde interamente all'unità in passato nota come Membro di Monte Grisa o "unità litostratigrafica dei calcari terziari".

Interesserà il tracciato presumibilmente dalla progressiva 27+265 alla progressiva 28+425, dapprima con l'intervallo inferiore (per un centinaio di metri), poi con l'intervallo superiore (per un migliaio di metri) (valori indicativi calcolati sul piano ferro riportato nel Profilo geologico).

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 Calcarea ad Alveoline e Nummuliti.

*e. Calcarea 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 calcarea 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.

*e.1 Rapporti stratigrafici:* il limite inferiore è posto in corrispondenza della comparsa dei livelli a macroforaminiferi. Il contatto con le soprastanti marne marca il limite superiore. Lo spessore della formazione è di circa 200 metri.

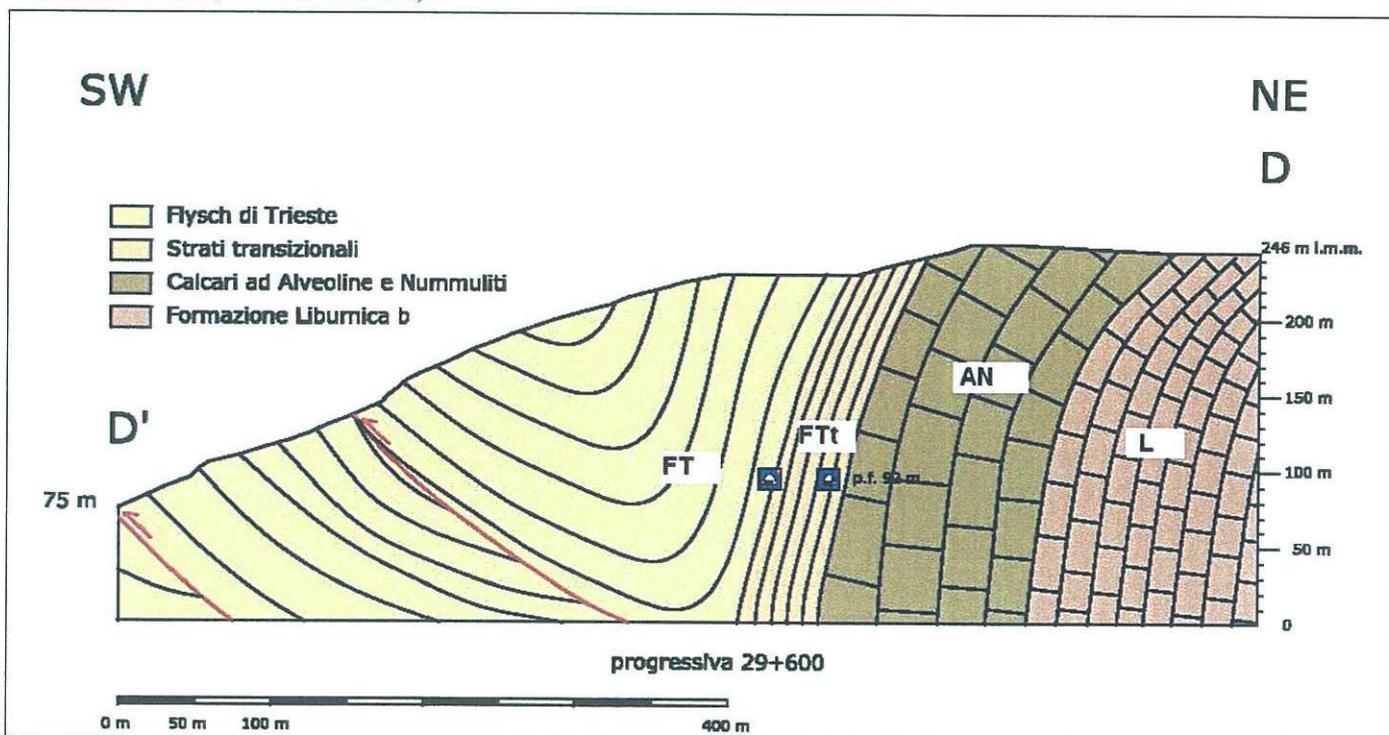
*e.2 Fossili:* le faune sono dominate da Glomoalveolina sp., Alveolina sp., Assilina sp. e Nummulites sp., cui si associano Operculina sp., Orbitolites complanatus e Discocyclina sp. (più frequenti queste ultime due nella parte sommitale della formazione), Corallinaceae, echinidi e coralli.

*e.3 Età:* Thanetiano superiore (?) – Ilerdiano (?) - Cuisiano medio.

*e.4 Ambiente deposizionale:* mare di piattaforma sempre più aperta.

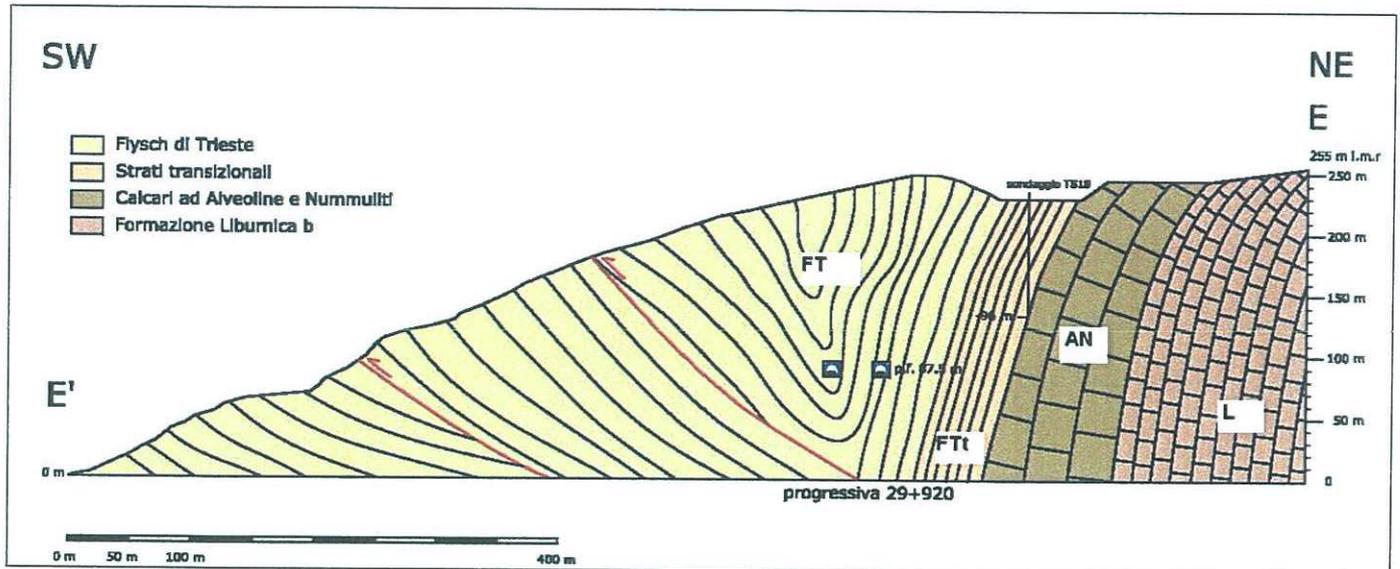
*e.5 Note:* corrisponde interamente all'unità nota come al Membro di OPICINA o "unità litostratigrafica dei calcari terziari".

Interesserà quindi il tracciato presumibilmente dalla progressiva 28+425 fino alla 28+680 (valori indicativi calcolati sul piano ferro riportato nel Profilo geologico). Date le quote e le inclinazioni in gioco, in alcuni tratti, potrebbe avvicinarsi (come illustrato nella sezione trasversale al tracciato) se non interagire con la galleria binario dispari della linea AV in progetto (fra le progressive planimetriche 29+500-29+800, 30+800-31+300, 31+950-32+050).



Sezione geologica trasversale al tracciato a progressiva 29+600 circa

Si segnala che l'unità è stata rinvenuta alla profondità di 96 metri (circa a quota 127 s.l.m.) nel sondaggio TS18 terebrato a Prosecco, il che conferma la prosecuzione in profondità del limite calcari/Flysch con le medesime giaciture rilevate in superficie (vedi sezione successiva).



*Sezione geologica trasversale al tracciato a progressiva 29+920 circa.*

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 accorpabile con la precedente.

#### *f. Successione torbidity 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 torbidity. Per un certo tratto facies pelitiche, già presenti negli ultimi livelli della successione carbonatica si intercalano talvolta alle prime torbidity (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 (nella Carta geologica a scala 1:5000) 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 plagioclasti, 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.

All'interno delle facies prevalentemente arenacee è spesso possibile distinguere due sottotipi:

- facies a strati arenacei con spessori pluridecimetrici (da 1/2 metro ad anche 2 metri) che spesso in passato venivano sfruttati come materiale da costruzione.
- facies a strati sempre prevalentemente arenacei, ma con spessori più ridotti, da centimetrici a 20 cm.

Anche nelle facies più ricche 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.

**f.1 Rapporti stratigrafici:** il limite inferiore è posto in corrispondenza dell'inizio della sedimentazione degli strati transizionali o, dove non sono presenti marne e calcari marnosi, con gli strati inferiori della successione torbiditica. Il contatto superiore non affiora nell'area di studio.

**f.2 Età:** alcune specie di nanoplancton identificate sono dei buoni "marker" di particolari biozone nel senso che sono caratteristiche di una o due biozone come ad es. la specie *Chiasmolithus nitidus* (da NP 15 a NP 16) oppure *Reticulofenestra wadeae* (NP 15). Altre specie danno la possibilità di determinare con certezza l'età del sedimento in quanto sono comparse da una data biozona in poi. Tale è il caso della specie *Reticulofenestra reticulata* che indicherebbe l'appartenenza del sedimento dalla biozona NP 16 (Luteziano superiore) e che è stata la principale specie che ha permesso la determinazione finale dell'età del sedimento torbiditico.

**f.5 Note:** Nella Carta geologica in scala 1:5000, si è distinto, laddove cartografabile sul terreno, l'intervallo prettamente marnoso posto alla base della successione e definito anche come "calcari marnosi" o "strati transizionali". Sempre nella Carta in scala 1:5000 si è proposta una suddivisione del Flysch nelle sue due

facies prevalenti: la “facies arenitica”, in cui prevalgono gli strati arenacei, spesso potenti e continui, e il “flysch classico” in cui l’alternanza fra arenarie e marne è continua, gli strati arenacei sono solitamente poco potenti, le marne talora significative.

Interesserà il tracciato presumibilmente circa dalla progressiva 28+680 in poi. Il tracciato dovrebbe incontrare dapprima gli strati marnosi transizionali (progressive dalla 28+680 alla 28+730), poi il Flysch s.s. fino alla progressiva terminale di progetto (valori indicativi calcolati sul piano ferro riportato nel profilo).

Si segnala che date le quote e le inclinazioni in gioco, l’intervallo delle marne transizionali potrebbe avvicinarsi, se non interagire in alcuni tratti (come in località Contovello) con la galleria del binario dispari.

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.

## 2.2 Copertura quaternaria

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

Nello specifico sono state rappresentate nella Carta geologica a scala 1:5000:

### *a - 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.

### *b - 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 dell'unità in esame sono distinguibili da quelli delle unità più vecchie adiacenti e sottostanti per la marcata differenza di alterazione superficiale e di tessitura dei terreni; lo spessore è stimato variabile da 5 a 10 metri.

#### ***b1- subunità di Aquileia (q)***

Ad essa appartengono i depositi alluvionali del T. Torre e del sistema telescopico dell'Isonzo formatosi nell'Olocene, tali depositi sono stati messi in posto dai diversi alvei dell'Isonzo e del Torre attivi dalla fase postglaciale fino all'epoca romana compresa (10.000 anni BP circa - IV secolo d.C.).

Le ghiaie sono concentrate prevalentemente lungo i paleoalvei, in genere non si tratta di singoli canali fluviali, ma più genericamente di fasce di canali (channel belt *cf.* Miall, 1996) al cui interno i vari paleoalvei o rami di paleoalvei sono stati verosimilmente attivi durante la medesima fase sedimentaria. Nelle parti laterali di queste fasce i depositi hanno generalmente granulometria limoso-sabbiosa e si trovano sovrapposti a depositi ghiaiosi di fasi alluvionali precedenti.

Lo spessore dei depositi appartenenti a questa subunità è stimabile tra 5 e 10 m, comunque è assai variabile.

#### ***b2- subunità di Monastero (m)***

Essa comprende i depositi alluvionali sedimentati dal Torre, dal Natisone e dall'Isonzo a partire dalla fine dell'epoca romana (IV secolo d.C.). Data la definizione questa sub-unità comprende al suo interno anche gli attuali alvei dei fiumi.

La distinzione con i depositi della sub-unità di Aquileia, avviene su base morfologica, attraverso fotointerpretazione e analisi della cartografia storica. Sulla base di queste indagini sono state attribuite alla sub-unità di Monastero le aree in cui sono frequenti ed evidenti i paleoalvei, a testimonianza di un'attività dei corsi d'acqua anche nella fase recente della loro evoluzione.

Le caratteristiche dei limiti e dei depositi della subunità di Monastero sono analoghe a quelle dell'unità di cui fa parte (unità di Grado) e a cui si rimanda per la loro descrizione. Ghiaie e ghiaie sabbiose affiorano prevalentemente lungo le fasce di canali fluviali attivi o estinti, mentre nelle aree di intercanale prevalgono depositi sabbioso-limosi con spessori di 1,5 - 2 m. Lo spessore della sub-unità di Monastero è stimabile tra 1 e 10 m. L'età dell'unità è presumibilmente compresa tra il IV sec. d.C. e l'Attuale.

Depositi afferenti alle unità di Gorizia e Grado affiorano in pianura ed al piede dei rilievi, nel tratto immediatamente precedente il contatto con il substrato calcareo dei Calcari di Monte Coste, ossia da inizio tracciato fino alla progressiva 7+600 circa.

*c - 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 da 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.

*d. - coltre eluvio-colluviale, depositi colluviali e terre rosse (ec)*

Sono qui compresi i prodotti della degradazione superficiale del substrato pre-quadernario e dei depositi quadernari. 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 rinvencono 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.

*e. - 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 a scala 1:10000 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).

### 2.3 Assetto strutturale generale

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-calcareo (Flysch) eocenica.

Dal punto di vista strutturale in senso più stretto, il Carso, come in precedenza accennato (*cf. par. 2.1*), 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 cretacea a struttura quasi monoclinale 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 intracretacee, 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, mentre 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 torbidity. 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.

In sostanza, il tracciato verso Trieste corre in prossimità del fronte del thrust principale; in taluni tratti potrebbe trovarsi ad attraversare solo torbidity, ma in due situazioni distinte:

- pressoché indeformate salvo fratture anche di semplice scarico, ma dislocate sino a ad una giacitura sub verticale degli strati;
- deformate in maniera sostanzialmente caotica.

In altri tratti il tracciato potrebbe rientrare nelle marne e nei calcari marnosi di transizione, oppure, al limite, correre sul contatto tra questi e il sovrastante Flysch classico, in una delle situazioni descritte che caratterizzano quest'ultimo.

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

A supporto della presente fase di progettazione, per l'attuale tracciato ferroviario AV/AC è stata condotta nel periodo 2009-2010, una campagna di perforazioni nell'ambito della quale sono stati eseguiti 16 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità variabili tra 40 e 150 m da piano campagna. In foro sondaggio sono state eseguite prove geotecniche in situ (prove SPT, prove pressiometriche, prove

dilatometriche, prove di permeabilità tipo Lefranc o Lugeon) e sono stati prelevati campioni sia indisturbati che rimaneggiati successivamente sottoposti a prove di laboratorio.

Nella tabella seguente sono indicate le perforazioni eseguite con le relative sigle di identificazione, le profondità raggiunte, la strumentazione installata in foro, il numero di campioni prelevati e le prove in situ eseguite.

| Sondaggio | Profondità (m da p.c.) | Strument. installata | Campioni prelevati | Prove |              |                              |
|-----------|------------------------|----------------------|--------------------|-------|--------------|------------------------------|
|           |                        |                      |                    | SPT   | Permeabilità | Pressiometrica-dilatometrica |
| TS1       | 30                     | piezom.              | 1                  | x     | x            |                              |
| TS2       | 40                     | piezom.              | 5                  |       | x            |                              |
| TS3       | 60                     | -                    | 4                  |       |              |                              |
| TS4       | 80                     | inclinom.            | 6                  | x     | x            | x                            |
| TS5       | 60                     | inclinom.            | -                  | x     | x            | x                            |
| TS6       | 140                    | piezom.              | 9                  | x     | x            | x                            |
| TS7       | 80                     | piezom.              | 5                  |       | x            | x                            |
| TS8       | 100                    | piezom.              | 6                  | x     | x            | x                            |
| TS9       | 100                    | piezom.              | 8                  | x     | x            | x                            |
| TS10      | 150                    | piezom.              | 6                  |       | x            |                              |
| TS13      | 80                     | piezom.              | 6                  |       | x            | x                            |
| TS14      | 40                     | piezom.              | 5                  |       | x            |                              |
| TS15      | 40                     | piezom.              | 4                  | x     |              |                              |
| TS16      | 65                     | piezom.              | 6                  |       | x            |                              |
| TS17      | 100                    | piezom.              | 6                  |       | x            | x                            |
| TS18      | 135                    | piezom.              | 10                 |       | x            | x                            |

*Tabella di sintesi delle indagini svolte nella campagna geognostica 2009-10*

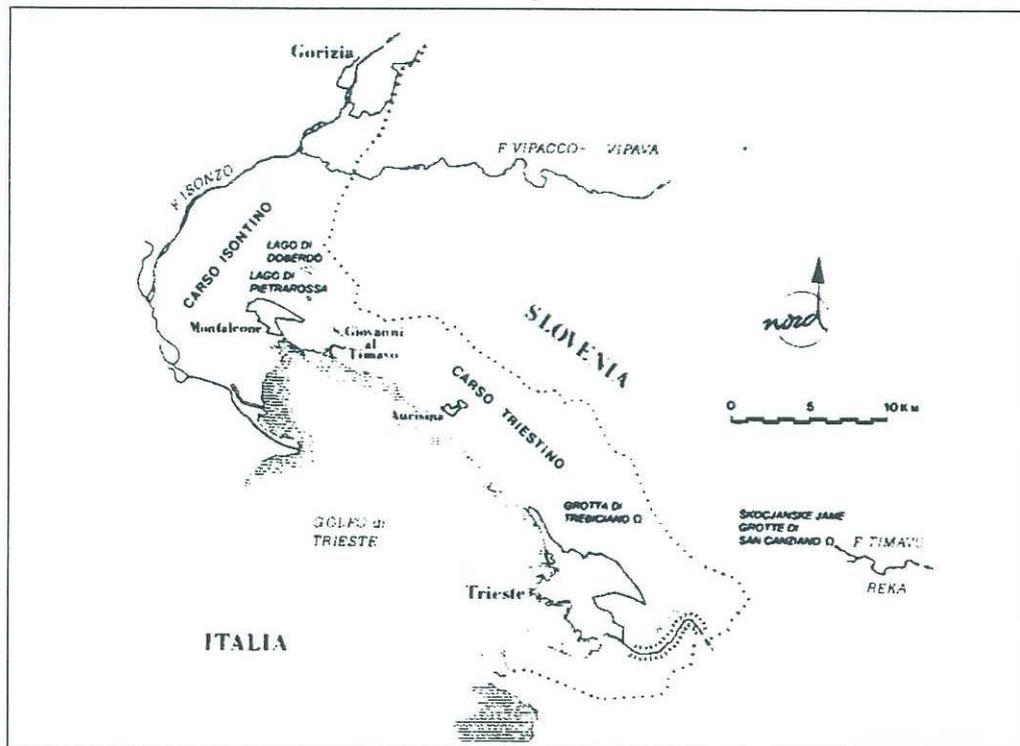
Ai fini del presente studio sono stati inoltre consultati i dati di sottosuolo relativi ad ulteriori perforazioni geognostiche eseguite all'interno dell'areale investigato. Nello specifico si è fatto uso dei dati di sondaggi eseguiti nel corso di campagne di indagini svolte da Italferr negli anni 2003 e 2004 sia per indagare un precedente corridoio di tracciato, sia per finalità idrogeologiche.

Le ubicazioni dei sondaggi svolti per la presente fase progettuale e di quelli eseguiti negli anni precedenti sono riportate negli elaborati cartografici, distinte con apposita simbologia.

#### 4 EVOLUZIONE CARSIKA GENERALE

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

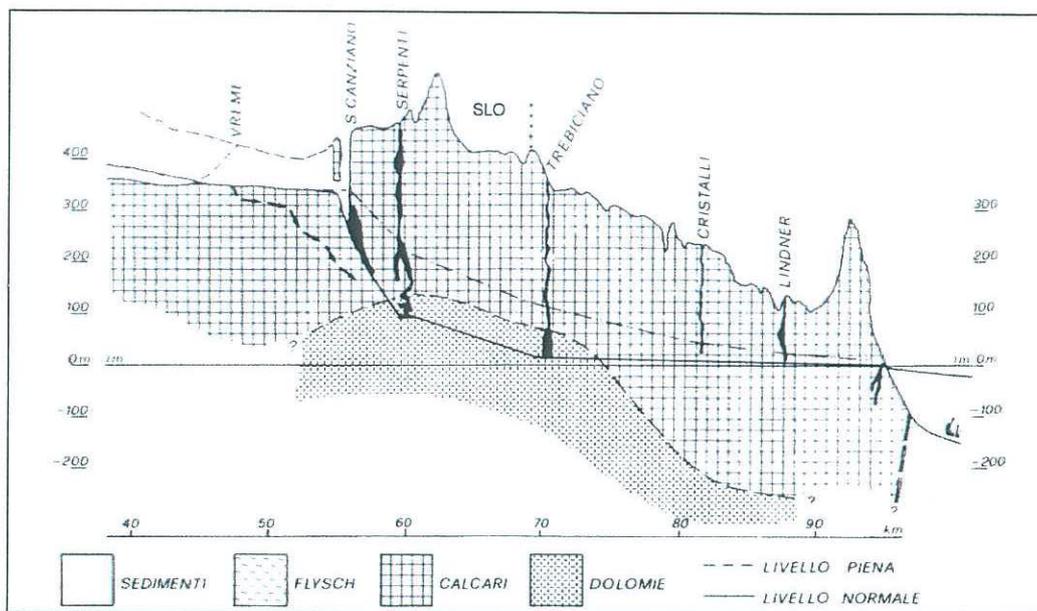
possibili, sempre con densità, ampiezza e tipologia tali da aver fatto dell'area il simbolo universale delle fenomenologie carsiche. Famoso è il Fiume Timavo, che si inabissa nelle Grotte di S. Canziano (Skocjanske Jame in Slovenia) e dopo più di 40 km di percorso ipogeo praticamente sconosciuto ricompare a S. Giovanni di Duino da imponenti risorgive cantate già dai latini.



*Estensione del Carso classico (da Cucchi, 1994)*

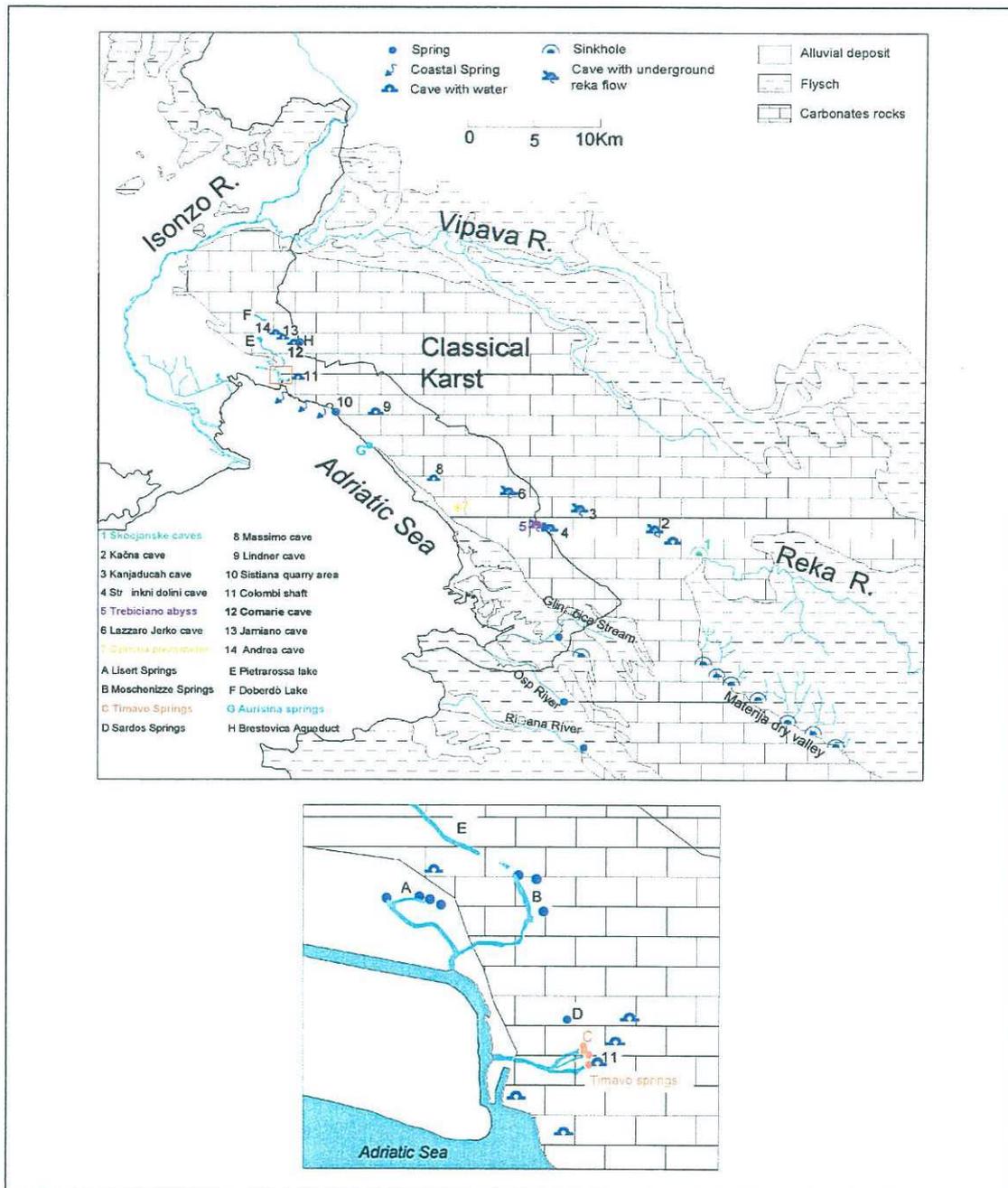
A parte alcuni piccoli pozzi in zona sorgiva, limitate sono le cavità in tutto il Carso tanto profonde da raggiungere con certezza le acque di rami del fiume carsico per eccellenza: tre di esse (Abisso dei Serpenti - *Kacna Jama*, Grotta di Kanjaduce - *Jama pri Kanjaduca* e Grotta presso la dolina Strsinski - *Jama pri Strsinski dolina*) si aprono in territorio Sloveno, le altre (Abisso di Trebiciano e Grotta Meravigliosa di Lazzaro Jerko) in quello italiano. Poche grotte sono interessate dalle acque di falda solamente durante le massime piene (Grotta Antonio Federico Lindner, Grotta Claudio Skilan, Grotta Gigante, Abisso dei Cristalli ed Abisso Massimo).

Il Timavo 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.



*Sezione idrogeologica lungo l'idrostruttura del Timavo ipogeo*

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.



*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 evolute 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



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 26 di 78 |

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 tre sono le cavità più interessanti, tutte in verità ben lontane dal tracciato ferroviario della linea “AV/AC Venezia – Trieste tratta Ronchi dei Legionari – Trieste”. 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 nella presente Relazione. Al proposito si ricorda 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). Se la densità media è di circa 15 grotte per km<sup>2</sup> carsificabile (sono circa 210 i chilometri quadrati di territorio carsico in Italia), in alcune aree essa è notevolissima, con punte di 70 cavità/km<sup>2</sup> presso Ferneti.

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 centoquaranta 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.

#### 4.1 Caratteristiche epigee ed ipogee lungo il tracciato

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

|                                                                                   |                                                                      |             |                     |                           |           |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | LINEA AV/AC<br><b>PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste</b> |             |                     |                           |           |                    |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA<br>L344                                                     | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 69 RG | DOCUMENTO<br>GE 00 01 001 | REV.<br>A | FOGLIO<br>27 di 78 |

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.

#### 4.1.1 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 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 significativa ampia 900 metri (definita fascia “allargata”) abbracciante il tracciato AV; all’interno di una fascia definita “ristretta”, estesa 50 m a monte dell’asse Binario Dispari e 50 m a valle dell’asse Binario Pari, si è segnato il perimetro di tutte le doline cartografabili.

Successivamente 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.



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 28 di 78 |

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.

#### 4.1.2 Le cavità

Per quanto riguarda le forme ipogee, le prime forme sono sicuramente legate a gallerie (chiamiamole "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.

#### 4.1.3 I depositi di riempimento delle cavità

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<sup>3</sup>), 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). Sono da considerare dal punto di vista geotecnico materiale complessivamente scadente, che necessita di interventi di consolidamento (sia per evitare fatti graviclastici sia per conferire portanza), svincolato dalla roccia sana.

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.

Dal punto di vista geotecnico sono da considerare materiale complessivamente molto scadente, sensibile, specie le argille, a fluidificazione per presenza d'acqua.

#### 4.1.4 Forme ipogee caratteristiche

In sintesi gli scavi possono interessare:

|                     |          |       |          |              |      |          |
|---------------------|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| RELAZIONE GEOLOGICA | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                     | L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 30 di 78 |

- 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.

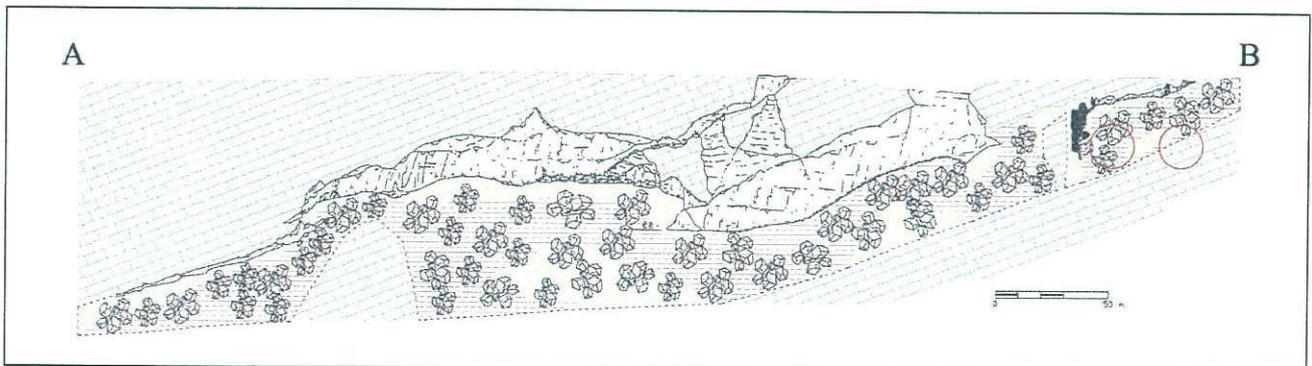
La distribuzione spaziale e altimetrica delle morfologie descritte è tale che è sicura la intercettazione di forme carsiche ipogee: potranno variare gli spessori dei tratti carsificati, la tipologia dei depositi di riempimento, l'orientamento dei vani rispetto l'asse delle gallerie.

Sono al proposito possibili alcune varianti:

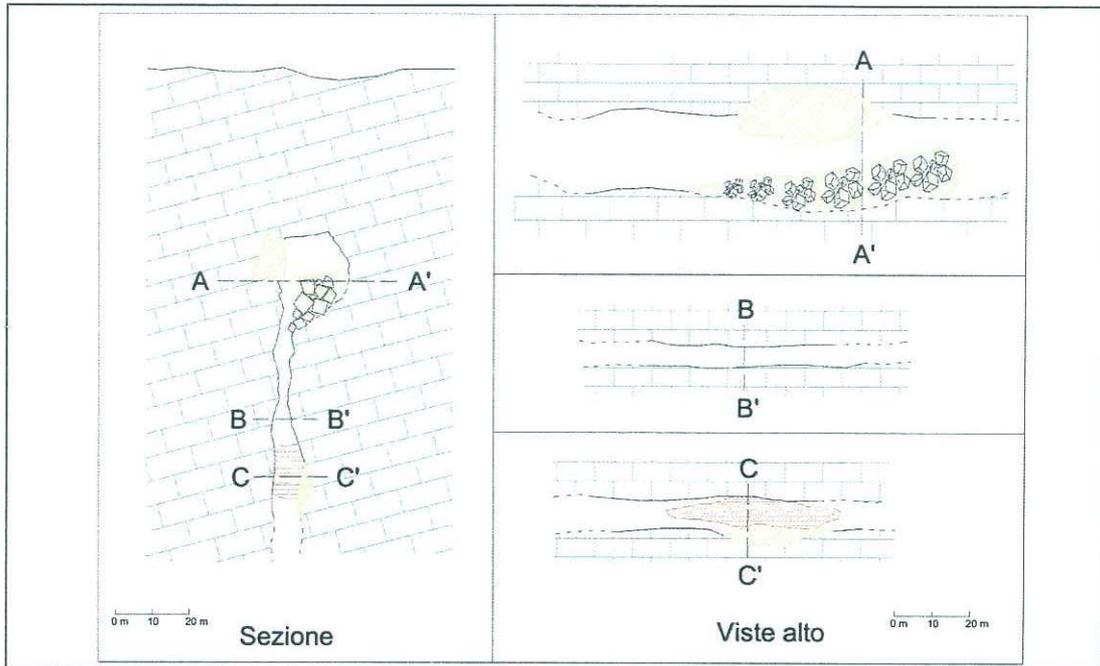
- galleria semplice senza approfondimento in roccia, con forma subarrotondata e andamento suborizzontale. Le dimensioni del tubo possono andare da pochi metri di diametro fino a 20-30 metri; può presentarsi completamente vuota o riempita da depositi \concrezioni \crolli.

- 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.



*Profilo di "galleria primordiale con approfondimento a forra".*

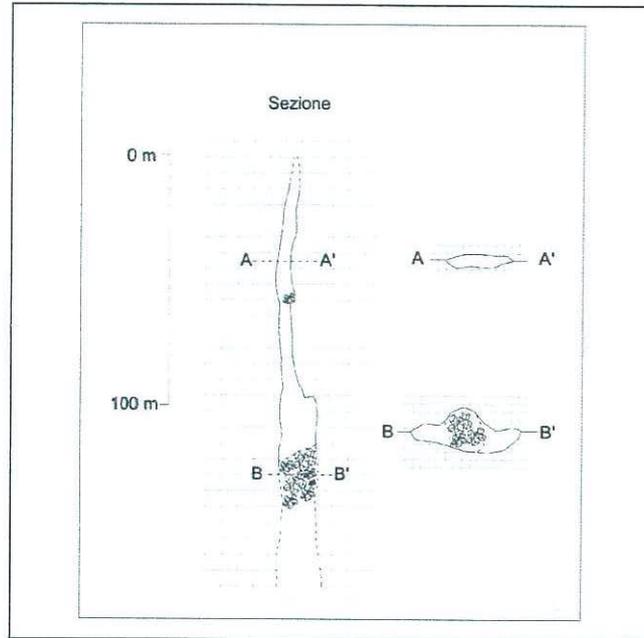


*Galleria semplice con approfondimento a forra*

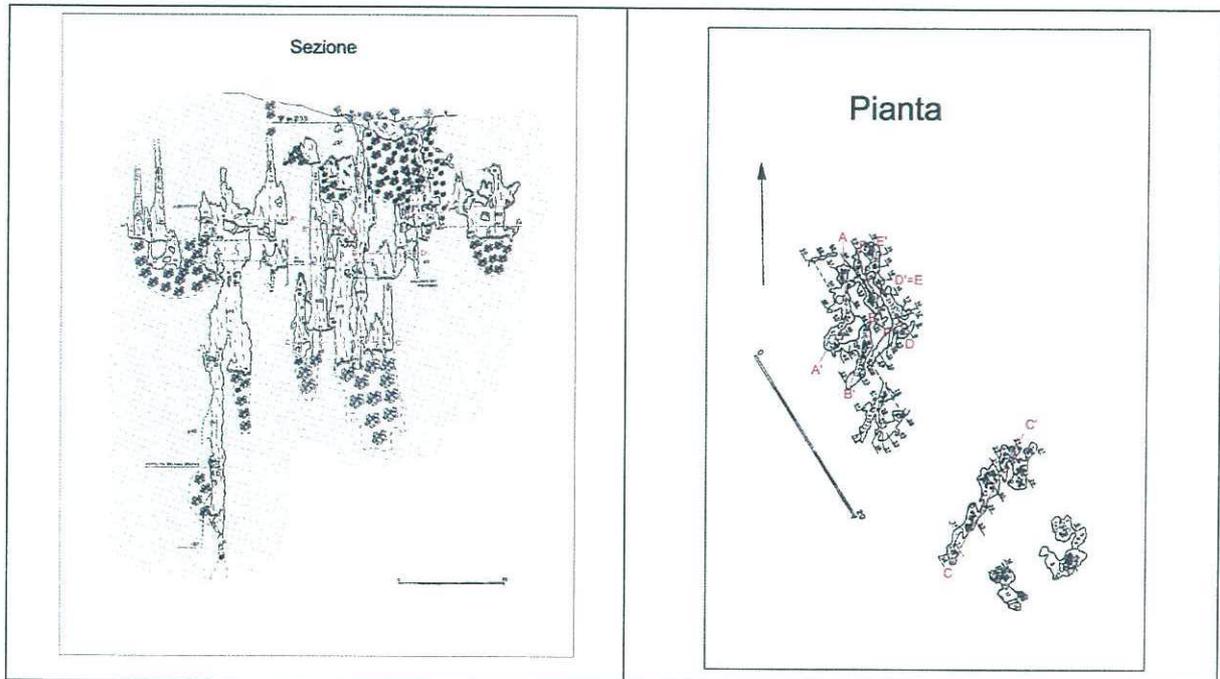
Nelle figure successive sono rappresentati gli inghiottitoi e i pozzi. Gli inghiottitoi sono solitamente ubicati in corrispondenza di depressioni e hanno maggior diametro, ma le due forme hanno morfologie simili che si differenziano in genere per la profondità e il diametro del vuoto. L'andamento è sempre verticale, spesso impostato su fratture. Sono le morfologie più frequenti sul Carso.

Anche qui sono possibili delle varianti:

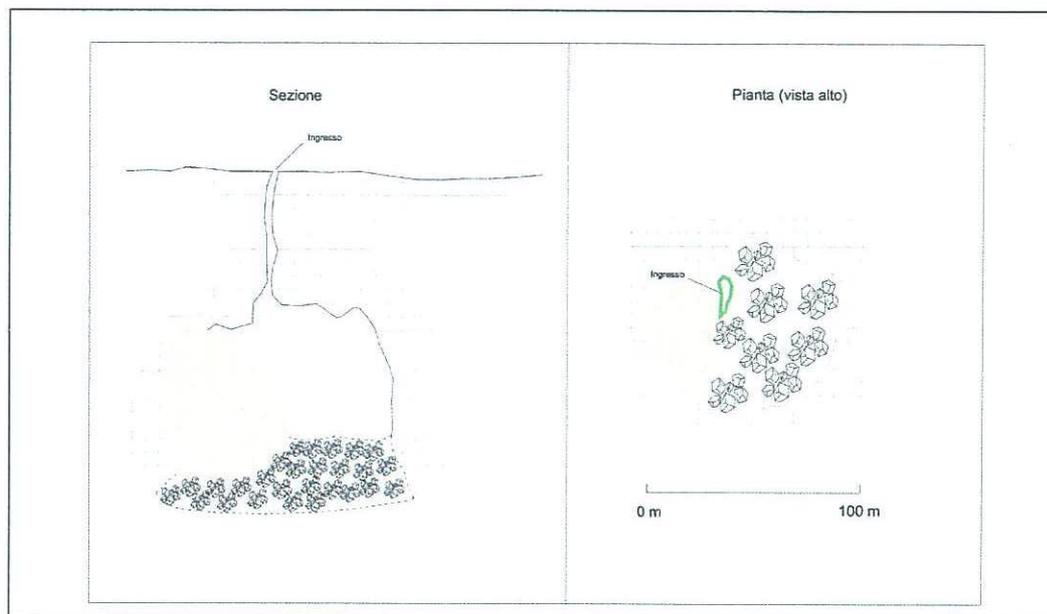
- pozzo semplice. Non c'è presenza di riempimenti tranne che di detrito al fondo rilevabile del pozzo. Le dimensioni sono tra le più varie (solitamente un po' allungata lungo la frattura condizionante), con profondità dai 20 ai 150 m, larghezza da pochi metri ad un massimo 15-20 m.
- pozzo complesso.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



*Pozzo semplice*



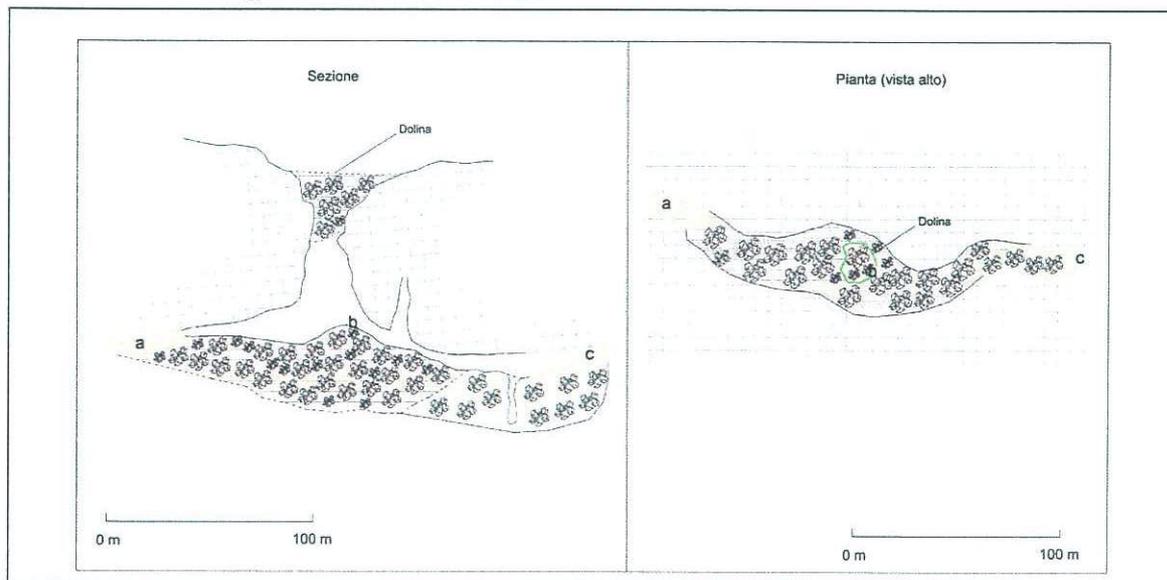
*Sezione e pianta di un pozzo complesso*



*Pozzo e caverna di crollo*

Alcune cavità sono legate alla presenza di una dolina di crollo. Le varianti possibili sono le seguenti:

- 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.



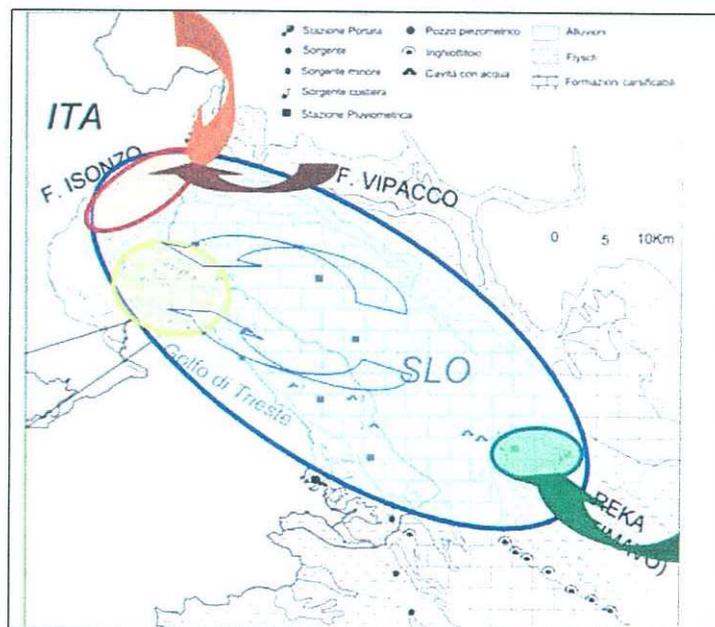
*Dolina di crollo con gallerie laterali*

#### 4.2 Assetto idrogeologico generale

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 km<sup>2</sup> in Slovenia) e quello "lineare" del Carso isontino settentrionale a contatto con i fiumi Isonzo e Vipacco (lungo 5-6 km)



*Idrogeologia del Carso: in verde il settore di alimentazione puntuale (S. Canziano), in rosso il settore di alimentazione lineare (Isonzo e Vipacco) in giallo il settore sorgentifero principale.*

A San Canziano le portate in ingresso sono mediamente di  $8.3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  con minime di  $0.2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e massime di  $2100 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . In base a recentissime stime, il settore lineare del Carso isontino contribuisce a sua volta al sistema mediamente con  $10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

Il sistema sorgentifero (una ventina di chilometri quadrati in tutto) è dato essenzialmente (vedi anche Carta idrogeologica 1:10000):

- dalle Risorgive del Timavo a San Giovanni di Duino,
- dai laghi di Doberdò e di Pietrarossa, le 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  $40 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , massima di circa  $175 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ .

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  $35 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , con minime di  $10 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  e massime di  $150 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . 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).



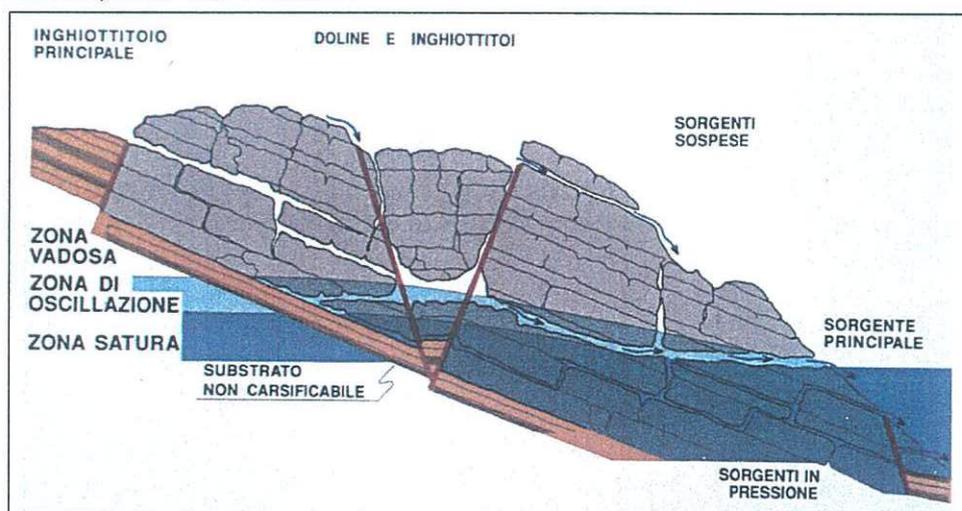
*L’area delle Risorgenze del Timavo, con la pianta del reticolo ipogeo rilevato (da Cucchi e Zini, 2000).*

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 36 di 78 |

## 5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEL SETTORE STUDIATO

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 saturate interdipendenti.

Si possono distinguere in linea di principio tre zone idrogeologiche diverse, una sottostante i cui vuoti comunicanti sono tutti completamente riempiti d’acqua e detta “zona saturata”, 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 “zona vadosa”.



*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 saturata dalla zona di oscillazione) in condizioni di normale impinguamento è posizionata a quote variabili da 2 a 5 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 una ventina poco a nord, in corrispondenza dell’abitato di Jamiano). Nel più ampio settore orientale (da Sistiana ad Opicina), mentre la zona saturata 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.

### 5.1 Complessi idrogeologici

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) si può ipotizzare la presenza di acque di falda qualche m 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 nelle 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 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.

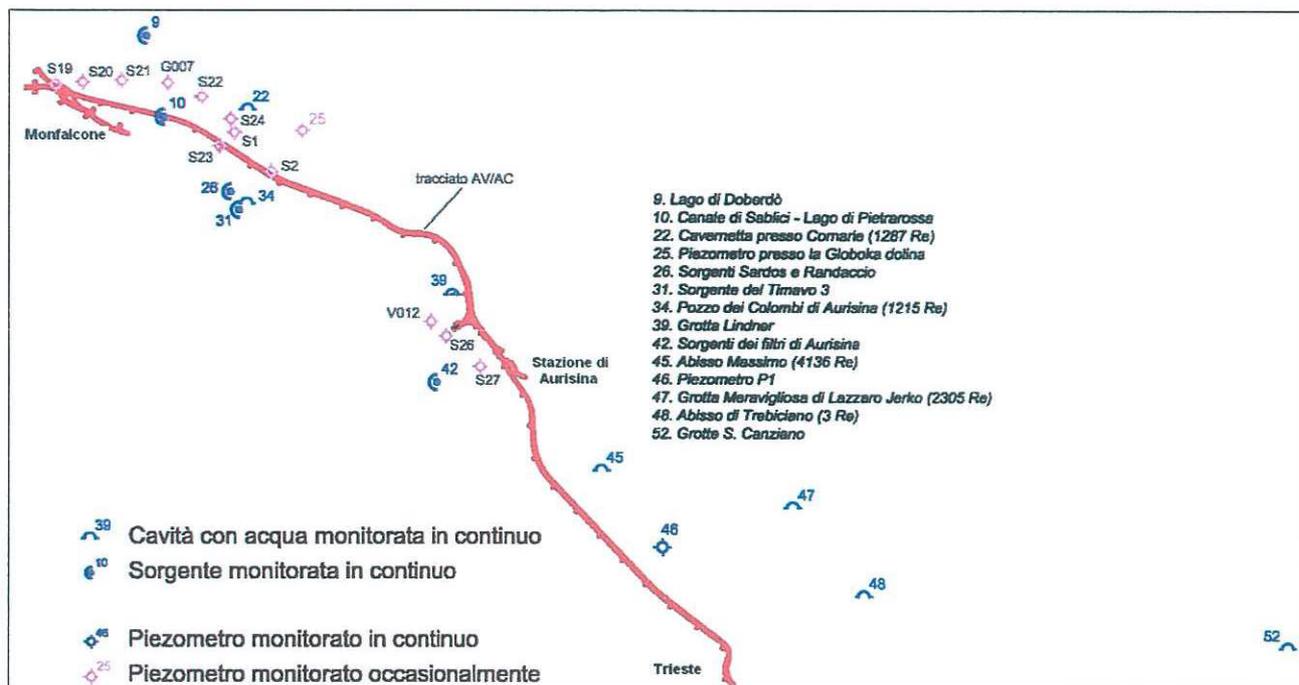
In sostanza la circolazione generale nell'area in esame può essere schematizzata considerando un acquifero carbonatico permeabile e bordato da un limite di permeabilità, costituito dal contatto calcari – flysch, che chiude verso mare l'idrostruttura carsica, da Trieste fino circa all'altezza di Aurisina.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

## 5.2 La rete di monitoraggio

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

cui si aggiungono i seguenti piezometri: G07, V12, S19, S20, S21, S22, S23, S24, S26, S27, P1 – Opicina, S1 – Metanodotto, S2 – Medeazza



*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.

**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<sup>3</sup>/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<sup>3</sup>/sec e picchi di oltre 100 m<sup>3</sup>/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 DOBERDO'

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.).



*Il Lago di Doberdò durante la piena del marzo 2010*

#### 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.

Il piezometro P1, messo in opera presso Opicina - Monte Gurca (quota piano campagna 290.10 m s.l.m.), monitorato in continuo dal DiGEO, indica i seguenti valori: quota minima 8,1 m s.l.m., quota media 8,5 m s.l.m., massima 67,8 m s.l.m. (nel dicembre 2009)

Il piezometro P1, messo in opera presso Opicina - Monte Gurca (quota piano campagna 290.10 m s.l.m.), monitorato in continuo dal DiGEO, indica i seguenti valori: quota minima 8,1 m s.l.m., quota media 8,5 m s.l.m., massima 67,8 m s.l.m. (nel dicembre 2009)

| 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                   |
| 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                 |

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

Nel corso della campagna geognostica 2009/2010 alcuni sondaggi sono stati strumentati con piezometri Norton. Le misure di falda attualmente disponibili (riferite al periodo giugno/luglio 2010) sono riportate nella tabella successiva.

| Sondaggio | Quota (m s.l.m.) | Profondità (m) | Livelli misurati (m da p.c.) |
|-----------|------------------|----------------|------------------------------|
| TS17      | 93               | 100            | 88,3                         |
| TS16      | 60               | 65             | 58,3                         |
| TS6       | 233              | 140            | 28,1                         |
| TS8       | 105              | 100            | p.c.                         |
| TS9       | 101              | 100            | 8,65                         |
| TS1       | 8                | 30             | 3                            |

*Livelli di falda in alcuni piezometri messi in opera durante la campagna geognostica 2009-10.*

I piezometri TS17 e TS16 sono stati perforati nel massiccio carsico rispettivamente all'altezza della progressiva 10+850 (nei pressi di Pietrarossa) e 12+720 (nei pressi di Sablici): le misure sono confrontabili con i livelli misurati nei punti di monitoraggio circostanti. Il piezometro TS1 è ubicato in corrispondenza della progressiva 2+820, nella piana alluvionale dell'Isonzo: anche in questo caso la misura appare sostanzialmente in linea con i dati bibliografici disponibili. I piezometri TS6, TS8, TS9, sono perforati nei depositi del Flysch di Trieste (rispettivamente alle progressive 29+460, 32+550, 33+050 circa). I livelli idrici rilevati, misurati all'interno del complesso torbiditico sostanzialmente impermeabile, possono essere ricondotti a falde locali, in pressione, ospitate presumibilmente nei livelli arenacei maggiormente suddivisi e disarticolati.

|                                                                                   |                                                                      |                         |             |                     |                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
|  | LINEA AV/AC<br><b>PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste</b> |                         |             |                     |                           |           |
|                                                                                   | RELAZIONE GEOLOGICA                                                  | COMMESSA<br><b>L344</b> | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 69 RG | DOCUMENTO<br>GE 00 01 001 | REV.<br>A |

### 5.3 Considerazioni idrogeologiche

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 da 2-5 m s.l.m. in corrispondenza del settore Ronchi-Jamiano-Sistiana, a 8-13 metri s.l.m. nel settore Prosecco-Opicina-Fernetti. La superficie non è naturalmente continua, e 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 della nuova linea AV-AC 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 appare 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 confinate, discontinue e stagionali, legate alla presenza di termini arenacei più fratturati.

## 6 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE LUNGO IL TRACCIATO

Allo scopo di definire preliminarmente la carsificazione ipogea lungo il tracciato in progetto, si è studiata in dettaglio dal punto di vista geologico e 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 verso mare (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 è solitamente sub perpendicolare all'asse 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 segnati i perimetri delle doline a diametro superiore ai 100 metri, individuate le doline 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.



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 43 di 78 |

Sono seguiti rilevamenti di dettaglio sul terreno con l'acquisizione di ulteriori 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.

## 6.1 Le cavità di interesse del tracciato

Nella fascia "allargata" considerata, ampia come detto 900 m e lunga 23 km circa, sono stati riconosciuti 314 ingressi di cavità. Di queste, 30 cadono in una fascia "ristretta" estesa per circa 50 m a monte dell'asse del binario dispari AVAC e 50 m a valle dell'asse del binario pari AV/AC.

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 30 cavità che interessano la fascia "ristretta", solo una decina ha profondità accertata superiore al piano ferro.

### 6.1.1 Cavità tutelate

Per quanto riguarda gli aspetti legislativi, nella fascia "allargata" risulta cadere una sola cavità tutelata con vincolo paesaggistico secondo la Legge 29 giugno 1939, n. 1497 (Protezione delle bellezze naturali) istituito con Delibera Giunta Regionale del FVG 13 settembre 1996, n. 4046, la:

4137/5269 VG, Grotta delle Margherite

Risulta altresì che, nella fascia allargata, è una sola la cavità la cui tutela ambientale è in corso di attuazione sempre secondo quanto previsto dalla legge 29 giugno 1939, n. 1497 (Protezione delle bellezze naturali) e la Delibera Giunta Regionale 13 settembre 1996, n. 4046, la:

23/90 VG, Grotta Noè

Infine risultano essere 6 le cavità nella fascia "allargata" con tutela ambientale consigliata (ma per il momento non fatta propria dalla Regione FVG) dal Catasto Regionale delle Grotte:

133/249 VG, Grotta del Monte GURCA

346/822 VG, Fovea MALEDETTA

460/859 VG, Caverna a N di S. CROCE

731/3913 VG, Grotta della FORNACE

2297/4729 VG, Grotta presso la QUOTA 36

4400/5420 VG, Caverna dei VASI

### 6.1.2 Osservazioni sulla tipologia delle cavità

La trentina di cavità i cui ingressi si trovano in corrispondenza del tracciato o che, per profondità e sviluppo sotterraneo, poichè ubicate nelle vicinanze del tracciato possono presentare problemi di interferenza con le gallerie AV in progetto, sono elencate nel paragrafo successivo, con la disamina delle eventuali criticità legate alla loro presenza.

Le cavità sono state distinte 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.

### 6.1.3 Cavità

Le 30 cavità i cui ingressi cadono all'interno della cosiddetta fascia “ristretta”, ossia di una striscia data dall'interspazio fra le due gallerie (o meglio fra il Binario Pari e il Binario Dispari) e due buffer laterali di 50 metri sono di seguito illustrate. Si rammenta che l'ubicazione degli ingressi è derivato dai dati del Catasto regionale delle Grotte del FVG. Solamente alcuni di questi ingressi sono stati controllati sul terreno mediante strumentazione di precisione, molti sono ubicati approssimativamente, viste le difficili condizioni operative (mancanza di punti di riferimento certi). Sarà quindi necessario, in fase esecutiva prevedere misure topografiche per ubicare con precisione le cavità prossime al tracciato e la loro geometria.

#### **Pozzo delle Querce. N° Cat. Reg. 175, pozzo semplice**

La cavità si apre 34 m a SO del tracciato (Binario Pari), qui all'aperto, ad una quota di 159 m s.l.m.; il piano ferro della linea AV in quest'area (km 22+880 circa) si trova ad una quota di circa 165 m s.l.m.



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 45 di 78 |

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 residuo 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 Binario Dispari di tracciato, qui all'aperto, ad una quota di 161 m s.l.m.; la tratta AV in quest'area (km 24+360) 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 0+980) 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.. È 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 B.D., ad una quota di 129 m s.l.m.; il piano ferro della linea AV in quest'area (km 17+950) si trova ad una quota di circa 115 m s.l.m.

E' una cavità verticale costituita da una serie di pozzi sviluppatasi 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 B.D., ad una quota di 155 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 25+075) si trova ad una quota di circa 149 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**



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 46 di 78 |

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 0+840) 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+460 circa) 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 canna pari, ad una quota di 179 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 25+310 circa) 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 B.P., ad una quota di 252 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 15+770) si trova ad una quota di circa 88 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 residuo 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 B.P., ad una quota di 169 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 24+930) si trova ad una quota di circa 150 m s.l.m.

|                                                                                   |                                                                      |             |                     |                           |           |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | LINEA AV/AC<br><b>PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste</b> |             |                     |                           |           |                    |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA<br>L344                                                     | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 69 RG | DOCUMENTO<br>GE 00 01 001 | REV.<br>A | FOGLIO<br>47 di 78 |

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 del Binario Dispari del tracciato, ad una quota di 162 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 24+430) 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 piano ferro in quest'area (km 23+360 circa) 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 0+740 circa) 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 0+550) si trova ad una quota di circa 160,5 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 0+560) si trova ad una quota di circa 160,5 m s.l.m..



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 48 di 78 |

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 B.P., ad una quota di 184 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 22+700) 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 canna pari, ad una quota di 194 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 22+060 circa) 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 tracciato AV in quest'area (km 23+450 del B.D.) 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 B.D., ad una quota di 246 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 20+900 circa) si trova ad una quota di circa 152 m s.l.m..

La grotta ha un andamento verticale con imbocco costituito da una fenditura con orientamento 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 B.D., ad una quota di 57 m s.l.m.; la galleria AV in quest'area (km 10+000 circa) si trova ad una quota di circa 33,5 m s.l.m.



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 49 di 78 |

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 del B.P. del tracciato, qui all'aperto, ad una quota di 162 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 24+220) 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 B.D., ad una quota di 249 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 21+200) 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 B.P., ad una quota di 165 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 24+930) 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 una 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 B.D., ad una quota di 157 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 25+160) 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.



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 50 di 78 |

**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 B.P., ad una quota di 203 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 19+885 e 19+895 circa) si trova ad una quota di circa 139 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 pozzo di accesso alle cavità si apre 49 m a SO della galleria B.P., ad una quota di 245 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 27+700) 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 B.P., ad una quota di 190 m s.l.m.; il piano ferro 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 0+090) si trova ad una quota di circa 166 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 B.D., ad una quota di 107 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 13+280) si trova ad una quota di circa 56,5 m s.l.m.



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 51 di 78 |

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 circa a 125 m a E dalla galleria dispari e dall'interconnessione B.D., ad una quota di 234 m s.l.m.; il piano ferro in quest'area (km 21+500 circa) 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 tracciato AV in quest'area (km 23+390) 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 B.D., ad una quota di 159 m s.l.m.; il piano ferro 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 0+050) si trova ad una quota di circa 166 m s.l.m. Un pozzo profondo 18 m immette in una galleria che si sviluppa con un orientamento EO, una

|                                                                                   |                                                                      |             |                     |                           |           |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | LINEA AV/AC<br><b>PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste</b> |             |                     |                           |           |                    |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA<br>L344                                                     | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 69 RG | DOCUMENTO<br>GE 00 01 001 | REV.<br>A | FOGLIO<br>52 di 78 |

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.

## 6.2 Carsificazione presunta lungo il tracciato

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.

Come detto in precedenza (*cf.* Cap.1), lo studio è stata condotto d'intesa e con la collaborazione del Dipartimento di Geoscienze dell'Università di Trieste, e, in particolare, del Prof. Franco Cucchi, Professore Ordinario di Geografia Fisica e Geologia Applicata.

Nella Carta geomorfologica (scala 1:5000) sono stati riportati i limiti 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 all'interno di quell'areale definito, come visto in precedenza, "fascia allargata", di ampiezza pari a circa 900 m, ritenuta significativa per ipotizzare gli effetti della carsificazione ipogea in corrispondenza delle tracciato della nuova linea AV/AC.

Lungo il profilo geomorfologico (costruito sull'asse del Binario Pari), sono riportati i limiti fra le unità litostratigrafiche, fra le unità a diversa carsificabilità, le faglie, le doline (distinte in "di probabile dissoluzione" e "di probabile crollo"), gli ingressi delle cavità (distinte in pozzo semplice, pozzo complesso, galleria semplice, galleria con forra, cavità complessa) e la loro proiezione sul piano del profilo, i tratti che presumibilmente saranno interessati da suddivisione più intensa (per attraversamento di fasce tettonizzate) e/o da carsismo particolarmente intenso, il tutto proiettando sul piano di rappresentazione gli elementi ubicati lungo una fascia (la cosiddetta "fascia ristretta") di circa 100-140 metri ritenuta significativa per ipotizzare la carsificazione ipogea in corrispondenza delle gallerie. Sono trentaquattro le cavità i cui ingressi si trovano in corrispondenza del tracciato o che, per profondità e sviluppo sotterraneo, essendo ubicate nelle vicinanze del tracciato, potendo presentare problemi di interferenza con le gallerie in progetto, sono state quindi prese in considerazione.

Dal punto di vista geologico-idrogeologico e geomorfologico epigeo ed ipogeo, è conveniente distinguere per l'analisi quattro settori di percorso:

- il primo si sviluppa da Monfalcone a San Pelagio (circa dalla progressiva 7+600 alla 21+950, misurate rispetto al piano ferro sul profilo), in calcari a carsificabilità da media a medio bassa 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 21+950 alla progressiva 27+265 circa), nei Calcari di Aurisina, altamente carsificabili e carsificati, con alta probabilità di incontrare vuoti anche significativi;



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 53 di 78 |

- il terzo, dalla località Bosco San Primo fino a Grignano (circa dalla progressiva 27+265 fino alla 28+680 circa) 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 28+680 fino a termine tracciato, progressiva 36+634).

Il primo settore, lungo circa 14,3 chilometri, con quattro tratti in galleria naturale, diversi tratti in galleria artificiale, trincea, viadotto, 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 Moschenitze 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. (misurati nella Grotta Lindner) nella zona di San Pelagio. Il tracciato della linea AV/AC si mantiene sempre al di sopra del livello massimo della falda essendo il piano ferro a quote variabili da circa 13,3 m s.l.m. (progressiva 7+600) a 164 m s.l.m. (progressiva 21+950). Alla progressiva 7+600 il franco tra il livello massimo della falda in condizioni di piena e il piano ferro è 1,3 m per divenire 10 m alla progressiva 8+350 e poi progressivamente aumentare verso S. Pelagio. Sarà quindi necessario avere particolari attenzioni sia in fase di realizzazione che di esercizio affinché siano poste in essere tutte le possibili iniziative per evitare la contaminazione delle acque.

Tra le progressive 9+350 e 9+450 circa, è prevista la realizzazione di una galleria artificiale i cui scavi interesseranno la parte più settentrionale di un campo solcato di notevole pregio del quale si cercherà di preservare, per quanto possibile, le caratteristiche. Circa nelle zone delle progressive 10+450, 14+410, 16+320, 17+000, 17+800, 19+170, 20+370, 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+200 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. Si segnala inoltre che in corrispondenza del camerone per l'interconnessione B.D. il tracciato AV/AC 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.

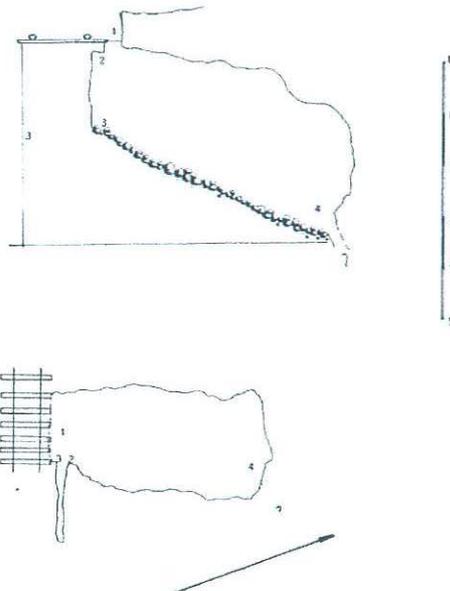
Il secondo settore (circa dalla progressiva 21+950 alla progressiva 27+265 circa) è lungo poco più di 5 km ed è caratterizzato da due tratti in galleria, dalle interconnessioni con la rete ferroviaria attuale e dalla stazione di Aurisina. Il percorso si sviluppa lungo il cosiddetto "Solco di Aurisina", 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 che rappresenta 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).

Circa all'altezza delle progressive 22+310, 22+390, 22+700, 24+000, 24+620, 25+000, 25+130, 25+500, 25+630, 25+690, 25+880, 25+920, 25+980, 26+180, 26+300, 26+900, 27+050, 27+070 il tracciato AV 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.

Si ritiene opportuno segnalare che nella zona dell'attuale stazione di Aurisina (circa tra la progressiva 23+350 e la 23+500) il piano ferro insiste su una cavità complessa sita a bassa profondità e che potrebbe non essere l'unica: ciò in quanto in passato (vedi fig. seguente e in *par. 6.1.3* a proposito della grotta n.1214) si sono avuti piccoli sprofondamenti nella zona, che potrebbero verificarsi anche in fase di esercizio della nuova opera.



Sezione e pianta della Grotta presso la Stazione di Aurisina n. 1214



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 55 di 78 |

Tra le progressive 24+000 e 25+500 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 terzo settore (come detto compreso circa fra progressiva 27+265 e 28+680) lungo poco più di 1,4 km, si sviluppa interamente in galleria a profondità comprese tra 140 metri (Monte San Paolo) e 67 metri dal piano campagna (contatto Calcari ad Alveoline e Nummuliti-Flysch, con un piano ferro che passa da quota circa 120 m s.l.m. a quota circa 103.5 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 27+350 circa, 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 28+000 e 28+050 circa, e 28+200 28+500 circa per la presenza in superficie di campi solcati.

Il quarto ed ultimo settore si sviluppa, come detto in precedenza, interamente nei depositi flyschoidi, ove non si rinvencono criticità carsiche essendo i litotipi in questione non carsificabili.

### 6.2.1 Caratteristiche geologiche e strutturali lungo il tracciato

L'assetto strutturale dell'area interessata dal tracciato è praticamente a monoclinale, con inclinazione della stratificazione che va da pochi gradi ad alcune decine di gradi verso Sud o SW. Sono frequenti minime variazioni di direzione ed inclinazione anche in punti vicini, in un quadro che vede la stratificazione ruotare da una direzione prevalente Est-Ovest nel settore isontino - monfalconese ad una direzione NW-SE nel settore di Aurisina con un'andamento flessurale nel settore Duino - M. Ermada - Sistiana (con passaggio da una direzione E-W a NW-SE e poi nuovamente a NW-SE).

Ne consegue che il tracciato interseca i piani di strato in maniera estremamente variabile in funzione della direzione dell'asse: talora gli strati sono a reggipoggio o franapoggio rispetto la direzione di avanzamento, spesso a traversopoggio, da inclinati a suborizzontali.

Il tracciato è sub parallelo alla direzione prevalente della stratificazione fino circa alla Stazione di Aurisina, la interseca nel settore di avvicinamento al crinale fino ad incontrare il contatto fra calcari e torbiditi. Il Flysch a sua volta avrà frequenti variazioni di inclinazione ed immersione, con pieghe a stretto raggio e zone a caoticità per faglia.

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

- dalla progressiva 7+ 610 alla 10 + 865 i Calcari di Monte Coste (unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media carsificabilità);
- dalla progressiva 10+865 alla 10+950 la le alternanze di dolomie e calcari della Formazione di Monrupino (unità dalle caratteristiche geomeccaniche complessive da buone a non molto buone e dalla bassa carsificabilità);
- dalla progressiva 10+ 950 alla 11+795 i Calcari di Monte Coste;
- dalla progressiva 11+795 alla 13+890, la Formazione di Monrupino;
- dalla 13+890 alla 17+230 i Calcari di Monte Coste,
- dalla progressiva 17+230 alla 21+950 la Formazione di Monrupino;
- dalla progressiva 21+950 alla 27+265 i Calcari di Aurisina (unità complessivamente dalle ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla alta se non altissima carsificabilità);
- dalla progressiva 27+265 alla progressiva 27+440 i calcari dell'intervallo inferiore della Formazione Liburnica (unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media carsificabilità);
- dalla 27+440 alla 28+425i calcari dell'intervallo superiore della Formazione Liburnica;
- dalla progressiva 28+425 fino alla 28+680 i Calcari ad Alveoline e Nummuliti (unità complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media se non medio alta carsificabilità);
- dalla progressiva circa 28+680 in poi il Flysch, unità dalle caratteristiche geomeccaniche estremamente variabili, non carsificabile.

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. In particolare, sono da prevedere (valori indicativi calcolati sul piano ferro riportato nei profili) complicazioni strutturali alle progressive 29+000 (faglia subverticale), 29+400 (faglia subverticale), 29+750 (faglia subverticale), 30+410 (faglia a basso angolo), 30+750 (faglia subverticale), 31+940 (faglia a basso angolo), 32+590 (faglia subverticale), 33+020 (faglia subverticale), con la possibilità di complicazioni dovute a faglia a basso angolo soprastante la calotta proprio fra le progressive 32+590 e 33+020, 33+580 (faglia subverticale), 33+970 (faglia subverticale), 34+020 (faglia subverticale), 34+620 (faglia subverticale), 35+200 (faglia subverticale), 35+660 (faglia subverticale, con complicazioni legate ad incroci fra altre faglie ad alto e basso angolo), 36+210 (faglia subverticale).

## 7 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dal punto di vista geologico, il tracciato della linea AV/AC interesserà per i primi 7,6 km, all'aperto, i depositi quaternari della piana isontina e successivamente tutte le Unità litostratigrafiche che costituiscono la successione locale, di età da Cretacica a Terziaria, costituita essenzialmente da calcari, dolomie, arenarie e marne, queste ultime in facies di flysch.

Fra i calcari predominano nettamente quelli puri, compatti, nettamente stratificati, dalle ottime caratteristiche geologico-tecniche tanto come volumi unitari quanto come massa rocciosa. Nella successione compaiono anche dolomie e calcari dolomitici, anch'essi solitamente compatti, nettamente stratificati, dalle ottime caratteristiche geologico-tecniche tanto come volumi unitari quanto come massa rocciosa. L'intervallo dolomitico è caratterizzato solo localmente da intercalazioni di rocce paleocarsiche (dolomie pulvulente, calcari marnosi, sacche bauxitiche) che conferiscono alla massa rocciosa caratteristiche geologico tecniche di poco più scadenti.

Sulla base delle caratteristiche litologiche e strutturali, delle morfologie esterne e della carsificazione ipogea, agli effetti della carsificazione si possono riconoscere nel tratto di considerato, cinque "unità litostratigrafiche significative", delle quali tre sono molto o mediamente carsificabili e permeabili per fratturazione e carsismo, una è poco carsificabile e permeabile per fratturazione, ed una è da considerare impermeabile e non carsificabile:

- l'unità calcarea (calcari neri) che comprende i litotipi afferenti ai "Calcari di Monte Coste" (MC), complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media carsificabilità.
- l'unità delle alternanze di dolomie e calcari, che comprende i litotipi afferenti alla "Formazione di Monrupino" (FM), dalle caratteristiche geomeccaniche complessive da buone a non molto buone e dalla bassa carsificabilità.

- l'unità calcarea (calcarei a Rudiste) che comprende i litotipi dei "Calcarei di Aurisina" (CA), dalle ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla alta carsificabilità.

- l'unità dei calcari terziari, che comprende i litotipi afferenti alla Formazione Liburnica (L) ed ai Calcarei ad Alveoline e Nummuliti (AN), complessivamente dalle buone se non ottime caratteristiche geomeccaniche e dalla media, solo occasionalmente alta, carsificabilità.

- l'unità delle marne ed arenarie, che comprende marne, calcari marnosi, arenarie silico clastiche a cemento calcareo afferenti al Flysch di Trieste (FT). Ha caratteristiche geomeccaniche da buone a scadenti.

Dunque litotipi da molto a poco carsificabili interessano il tracciato AV dall'ingresso nei rilievi carbonatici (all'altezza di Monfalcone e Ronchi dei Legionari) fino alla Stazione di Aurisina (18 km circa) e per poco più di 5 dei 13 km complessivi dalla Stazione di Aurisina a Trieste.

Il materiale di copertura è generalmente di esiguo spessore e rappresentato da depositi terroso detritici sciolti a scadenti caratteristiche geologico-tecniche. Detriti di falda misti a terra sono presenti lungo i fianchi delle doline, terre rosse con frammisto detrito grossolano al fondo. I depositi di riempimento delle doline sovente hanno spessore notevole e sono presenti anche a riempire le cavità drenanti, sempre presenti sui fianchi ed al fondo delle depressioni. Le terre rosse, ed il materiale inglobato, hanno caratteristiche decisamente scadenti e costituiscono una criticità da non sottovalutare né dal punto di vista della portanza né da quello della colata di fango per fluidificazione dall'alto per gravità.

Caratteristiche scadenti, se non pessime, hanno anche i depositi di riempimento delle cavità. Si tratta depositi di tre tipi: i depositi di crollo, i depositi di riempimento chimico, quelli sedimentari.

- I corpi di frana, anche notevoli, sono costituiti da frammenti di roccia sana, a spigoli vivi, non cementati e sono spesso frammisti alle altre unità di riempimento. Sono da considerare dal punto di vista geotecnico materiale complessivamente scadente, che necessita di interventi di consolidamento sia per evitare fatti graviclastici sia per conferire portanza.
- I depositi concrezionari hanno, forma e spessore estremamente variabili legati al modello genetico e formano patine o plaghe di cementazione pur se sono da considerare materiale complessivamente scadente, non solidale con la roccia sana o con gli altri depositi di riempimento.
- I depositi sedimentari sono i più vari: 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 alle volte e/o alle 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. Dal punto di vista geotecnico sono da considerare materiale complessivamente molto scadente, specie le argille, a fluidificazione o rammollimento per presenza d'acqua.

Dal punto di vista geologico strutturale, la roccia è generalmente nettamente suddivisa da almeno tre famiglie di piani di discontinuità: la stratificazione e due famiglie di fratturazione. Frequente è il caso di famiglie di discontinuità minori a complicare appena il quadro strutturale.

La stratificazione, i cui piani oltre che netti sono solitamente persistenti ad andamento appena ondulato, ha assetto monoclinale, con lievi variazioni di direzione ed inclinazione. Ne risulta che nel tratto Ronchi (Monfalcone) – Aurisina l'asse è a traverso reggipoggio, poi praticamente parallelo. Nel tratto Aurisina – Trieste l'asse è dapprima parallelo, alla fine a traverso franapoggio per quanto riguarda i calcari; il tratto in flysch inizialmente sarà a traverso franapoggio per divenire poi parallelo alle pieghe a corto e largo raggio che caratterizzano il fianco meridionale dell'altopiano.

Dal punto di vista geomorfologico e carsico la linea AV interessa spesso volumi a carsificazione matura, intensa e profonda, con una varietà di forme epigee ed ipogee veramente notevole.

Nella fascia "allargata" ampia circa 900 metri e studiata agli effetti della carsificazione ipogea (200 metri verso mare e 700 metri verso monte della linea AV/AC) la porzione di tracciato che interessa i depositi carbonatici è lunga complessivamente circa 21 km; 27 sono le doline di diametro superiore a 100 metri individuate, 454 sono quelle a diametro inferiore e ben 341 sono gli ingressi di cavità note e catastate. Nella fascia "ristretta" attorno al tracciato della linea AV/AC (ampia 100-150 m), le doline a diametro maggiore sono una decina, quelle a diametro minore sono 27, mentre sono 34 le cavità che la interessano direttamente o indirettamente.

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.

L'analisi della carsificazione epigea e di quella ipogea porta a considerare che, dei circa 21.000 metri di tracciato nei calcari, complessivamente circa 4700 metri possono interferire con strutture carsiche. Il fenomeno non risulta equamente distribuito; nei circa 14 km del primo settore, da Monfalcone a S.Pelagio, circa 1400 sono i metri (circa il 10%) in cui è probabile la presenza di strutture carsiche verticali concentrate. Nel secondo settore (lungo circa 5 km) circa il 60 % del tracciato (circa 2900 metri) potrebbe interferire con strutture carsiche complesse (pozzi e gallerie) possibilmente anche di dimensioni superiori ai 5 metri. Nel terzo settore (lungo circa 1400 metri) circa 400 metri sono complessivamente a rischio di intersezione di strutture carsiche preferenzialmente sub-verticali (circa il 30%).

Dal punto di vista idrogeologico carsico, il tracciato è a quote sempre ben superiori al livello di falda in periodo di magra e durante i periodi di deflusso normale. La superficie piezometrica della falda durante i periodi di magra o di normalità, è posizionata a quote che vanno dai 2-5 metri s.l.m. in corrispondenza del settore Ronchi-Jamiano-Sistiana, ai 12-13 metri s.l.m. nel settore Prosecco-Opicina. La superficie non è continua, numerosi sono i volumi praticamente asciutti in cui i piani di discontinuità non consentono la



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 60 di 78 |

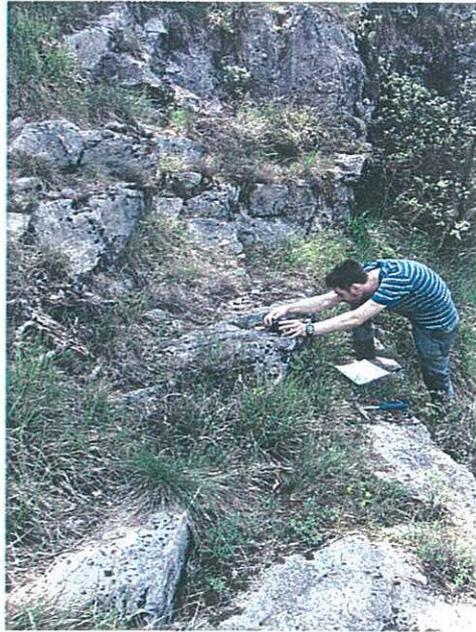
presenza di acqua in movimento. Durante i periodi di piena l'ampiezza della zona di oscillazione è variabile in funzione dell'entità della piena, del tipo di alimentazione, della velocità di trasmissività laterale dell'impulso. I livelli piezometrici più elevati, 110 metri s.l.m., sono stati riscontrati nell'Abisso di Trebiciano (oltre 6 km ad est del tracciato AV/AC); livelli di alcune decine di metri si hanno nella grotta Lazzaro Jerko (circa 6 km dal tracciato); livelli di alcune decine di m s.l.m. si hanno anche nelle cavità dell'Abisso Massimo e della Grotta Lindner, vicine al tracciato: si tratta di valori lontani dal piano ferro.

## 8 ALLEGATI

Il presente documento è corredato dai seguenti allegati:

All. [1] Schede delle cavità censite

## 9 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



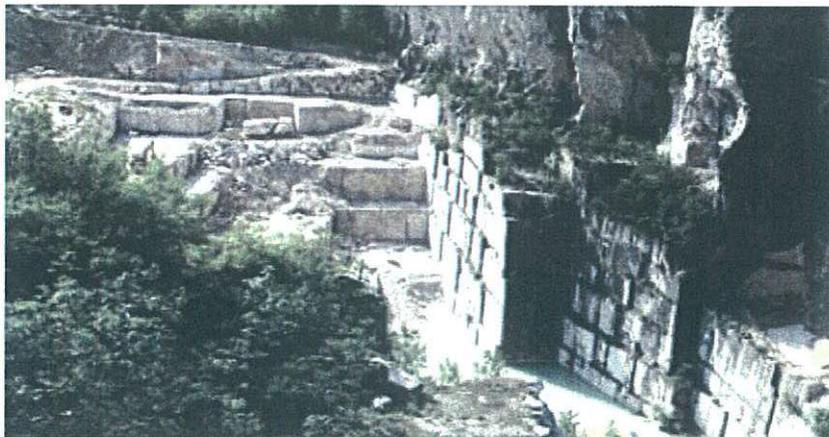
Calcari di Monte Coste



Campo solcato presso San Pelagio



Formazione di Monrupino



Cava romana nei Calcari di Aurisina



Sondaggio TS18: alla profondità di 96.20 m circa è stato intercettato il contatto fra il Flysch di Trieste e i Calcari ad Alveoline e Nummuliti



Drag Fold nel Flysch di Trieste



Pieghe parassite nel Flysch di Trieste su piega di rampa



Depositi ghiaioso-sabbiosi soggiacenti a un suolo mediamente evoluto riconducibili alle Alluvioni della piana dell'Isonzo-Unità di Gorizia. Scavo presso Romans d'Isonzo (all'esterno dell'areale indagato)



Ingresso della grotta Lindner



Il Timavo poco a valle della zona delle Risorgive

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 66 di 78 |

## 10 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, Ljubljana

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.

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 67 di 78 |

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° 250, 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 carsificabilità 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.

|                                                                                   |                                                               |             |                     |                           |           |                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|--------------------|
|  | LINEA AV/AC<br>PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |             |                     |                           |           |                    |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA<br>L344                                              | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 69 RG | DOCUMENTO<br>GE 00 01 001 | REV.<br>A | FOGLIO<br>68 di 78 |

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 Dinosaurio" (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 phenomena 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 Libreria, 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.

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 69 di 78 |

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 (Portugal) 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

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 70 di 78 |

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.

|  | LINEA AV/AC<br>PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste                                                                                                                                                                                                                         |          |              |          |           |      |        |      |    |         |              |   |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------|----------|-----------|------|--------|------|----|---------|--------------|---|----------|
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>L344</td> <td>00</td> <td>R 69 RG</td> <td>GE 00 01 001</td> <td>A</td> <td>71 di 78</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO        | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | L344 | 00 | R 69 RG | GE 00 01 001 | A | 71 di 78 |
| COMMESSA                                                                          | LOTTO                                                                                                                                                                                                                                                                                 | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV.     | FOGLIO    |      |        |      |    |         |              |   |          |
| L344                                                                              | 00                                                                                                                                                                                                                                                                                    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A        | 71 di 78  |      |        |      |    |         |              |   |          |

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 površja zaradi korozije (Valori di abbassamento per dissoluzione di superfici carsiche). Acta Carsologica, XXIII (1994), 55-61, Ljubljana.

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 72 di 78 |

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.

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 73 di 78 |

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.

|                                                                                                                                     |                                                                      |                  |             |                     |                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------------|-------------|---------------------|---------------------------|-----------|
| <br><b>ITALFERR</b><br>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO | LINEA AV/AC<br><b>PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste</b> |                  |             |                     |                           |           |
|                                                                                                                                     | RELAZIONE GEOLOGICA                                                  | COMMESSA<br>L344 | LOTTO<br>00 | CODIFICA<br>R 69 RG | DOCUMENTO<br>GE 00 01 001 | REV.<br>A |

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 GNDICI, 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 GNDICI, 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 GNDICI, 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 GNDICI, 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 GNDICI, 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 GNDICI, 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.

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 75 di 78 |

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 GNDICI, 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 vulnerabilidade 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 GNDICI, 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 catastrofiche. 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 GNDICI, 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 GNDICI, 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 GNDICI, LR4

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 76 di 78 |

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 GNDICI, 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 GNDICI, 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.

|                                                                                   |                                                |       |          |              |      |          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-------|----------|--------------|------|----------|
|  | LINEA AV/AC                                    |       |          |              |      |          |
|                                                                                   | PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste |       |          |              |      |          |
| RELAZIONE GEOLOGICA                                                               | COMMESSA                                       | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|                                                                                   | L344                                           | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 77 di 78 |

STOYKOVA D., SHOPOV Y., SAURO U., BORSATO A., CUCCHI F., FORTI P., (2005): High-resolution luminescence speleothem 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 (tbn). *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): Lowering 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., TRETACH 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.



LINEA AV/AC  
PROGETTO PRELIMINARE - TRATTA Ronchi - Trieste

RELAZIONE GEOLOGICA

| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO    | REV. | FOGLIO   |
|----------|-------|----------|--------------|------|----------|
| L344     | 00    | R 69 RG  | GE 00 01 001 | A    | 78 di 78 |

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). Zeitschrift für Geomorphologie, Vol. 2, Suppl. 2, 137-151, Stuttgart, März 2010.