



INDIRIZZI TECNICO METODOLOGICI PER LA REDAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2 E 3 SUL TERRITORIO REGIONALE

Versione 1.0

Direzione centrale infrastrutture e territorio
Servizio politiche per la rigenerazione urbana,
la qualità dell'abitare e le infrastrutture per l'istruzione

Testo redatto dalla Commissione tecnica regionale per l'attuazione degli studi di microzonazione sismica sul territorio regionale, articolo 5, commi da 19 a 22 della legge regionale n. 27 del 31 dicembre 2012

Trieste, Marzo 2023

INDIRIZZI TECNICI METODOLOGICI PER LA REDAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2 E 3 SUL TERRITORIO REGIONALE

Il presente documento è stato redatto dalla Commissione tecnica regionale per l'attuazione degli studi di microzonazione sismica sul territorio regionale, istituita ai sensi dell'articolo 5, commi da 19 a 22 della legge regionale n. 27 del 31 dicembre 2012, con la collaborazione del dott. Luca Minarelli, assegnista di ricerca presso l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Il capitolo 6.1.1. "Zone di attenzione per liquefazione" e l'Allegato 1 - "LIQUEFAZIONE" sono stati curati da:

- dott.ssa Sara Amoroso, afferente dell'Università degli Studi "Gabriele d'Annunzio" di Chieti-Pescara e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Roma 1;
- dott. Luca Minarelli, afferente dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Roma 1;
- dott. Alessandro Pagliaroli, afferente dell'Università degli Studi "Gabriele d'Annunzio" di Chieti-Pescara e dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) – Consiglio Nazionale delle Ricerche;
- dott.ssa Nadia Salvatore, afferente dell'Università degli Studi "Gabriele d'Annunzio" di Chieti-Pescara e dell'Università degli Studi di Catania.

Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia

Direzione centrale infrastrutture e territorio

Servizio politiche per la rigenerazione urbana, la qualità dell'abitare e le infrastrutture per l'istruzione

Sommario

1. INTRODUZIONE	4
1.1. OBIETTIVI GENERALI DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA	5
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	6
2.1. NORME DI RIFERIMENTO NAZIONALI E LINEE GUIDA DEDICATE PER SPECIFICO ARGOMENTO.....	6
2.2. NORME DI RIFERIMENTO PER LA REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA	6
2.3. ALTRE NORME DI RIFERIMENTO.....	7
3. STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1	8
4. RUOLO DELLA COMMISSIONE TECNICA E DEI PROFESSIONISTI NEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO E TERZO LIVELLO IN FVG	9
5. GLI STUDI DI SECONDO LIVELLO	10
5.1. PIANO DI INDAGINI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2.....	11
5.2. ELABORATI PREVISTI DAGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2.....	11
6. STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3	13
6.1. ANALISI DELLE AREE CON FENOMENI DI INSTABILITA'	13
6.1.1. ZONE DI ATTENZIONE PER LIQUEFAZIONE.....	13
6.1.2. ZONE DI ATTENZIONE PER FRANE SISMOINDOTTE.....	16
6.1.3. ZONE DI ATTENZIONE PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI	17
6.1.4. ZONE DI ATTENZIONE PER FAGLIE ATTIVE E CAPACI (FAC)	18
6.1.4.1 FAGLIE POTENZIALMENTE ATTIVE E CAPACI (FPAC).....	18
6.2. PIANO DI INDAGINI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3.....	21
6.3. ELABORATI PREVISTI DAGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3.....	21
7. MODELLAZIONI NUMERICHE 1D E 2D PER DETERMINARE I FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (FA e FV) PER GLI STUDI DI LIVELLO 2 E 3	23
8. STRUTTURA DELLA RELAZIONE ILLUSTRATIVA	26
9. STANDARD INFORMATICI	28
9.1. SPECIFICHE SUGLI STANDARD NAZIONALI.....	28

9.2. SPECIFICHE SUGLI STANDARD REGIONALI.....	35
9.3. CONSEGNA DEI DATI.....	37
10. PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO NEGLI STRUMENTI URBANISTICI	38
10.1 INDICAZIONI PER IL RECEPIMENTO DEGLI STUDI MS NEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI	40
GLOSSARIO DEGLI ACRONIMI.....	44

IN ALLEGATO

ALLEGATO 1 - LIQUEFAZIONE

1. INTRODUZIONE

La microzonazione sismica (MS) è uno strumento di prevenzione e mitigazione del rischio sismico che consente una valutazione della pericolosità sismica locale attraverso l'individuazione di zone di territorio caratterizzate da un comportamento sismico omogeneo.

Con l'articolo 11 del decreto legge n. 39 del 28 aprile 2009, convertito, con modificazioni, dalla legge n. 77 del 24 giugno 2009, è stato istituito un Fondo statale, curato e monitorato dal Dipartimento della Protezione civile nazionale, per la prevenzione del rischio sismico, grazie al quale è stato avviato il finanziamento di una serie di azioni volte a mitigare gli effetti che un evento sismico può generare sul territorio. Tra le azioni di prevenzione non strutturale è stata prevista l'erogazione di contributi alle Regioni per la programmazione e la realizzazione di studi di microzonazione sismica.

Gli studi di microzonazione sismica, redatti a livello comunale, si compongono di tre diversi livelli di approfondimento con complessità e impegno economico crescente, dei quali il primo livello ha una funzione propedeutica ai livelli successivi.

Attraverso la suddivisione dettagliata del territorio sulla base del comportamento dei terreni durante un evento sismico, gli studi di MS si pongono l'obiettivo di migliorare la conoscenza delle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie, restituendo informazioni utili per il governo del territorio, per la progettazione, per la pianificazione urbanistica, per la pianificazione dell'emergenza e per la ricostruzione post sisma.

A partire dall'anno 2013, a seguito dell'emanazione delle prime ordinanze e del riparto delle risorse economiche da parte del Dipartimento della Protezione civile nazionale, la Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia ha promosso e cofinanziato la redazione degli studi di microzonazione sismica di primo livello e delle analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) su tutti i 215 Comuni del suo territorio.

La mappatura complessiva del territorio regionale, effettuata a seguito degli studi di MS di primo livello, ha permesso di individuare ed evidenziare, rispetto alle superfici territoriali indagate, le criticità delle aree che devono essere analizzate con indagini più approfondite negli studi di secondo e terzo livello.

Al fine di promuovere la redazione degli studi di livello 2 e 3 sul territorio della Regione, il Servizio regionale competente, con la collaborazione della Commissione tecnica regionale responsabile dell'attuazione degli studi di microzonazione sismica sul territorio regionale, istituita ai sensi dell'art. 5, commi 19, 20, 21, 22 della L.R. 27/2012, ha intrapreso una serie di azioni finalizzate all'attivazione delle procedure per il finanziamento degli studi di microzonazione sismica di secondo e terzo livello.

Il presente documento ha pertanto lo scopo di fornire le prime indicazioni tecnico metodologiche, per professionisti e amministrazioni locali, al fine di facilitare la redazione degli studi di microzonazione sismica di livello superiore al primo e agevolare la comprensione degli obiettivi che tali studi si pongono.

Sulla base delle risultanze ottenute con le indagini di MS1 sono stati individuati alcuni Comuni della Regione sui quali effettuare i primi studi di secondo e terzo livello, questi territori sono caratterizzati da specifiche tipologie di pericolosità.

L'idea con la quale è stato concepito il testo è quella di fornire un iniziale apporto di conoscenze che, facendo sintesi di alcuni contenuti delle Linee guida nazionali, potrà dare supporto agli operatori del settore in fase di prima applicazione degli studi di microzonazione sismica di livello 2 e 3 sul territorio regionale, ma al contempo potrà anche essere successivamente modificato e ampliato sulla base dell'esperienza acquisita e delle pratiche utilizzate per il raggiungimento delle risultanze dei suddetti studi.

Gli argomenti riportati nei capitoli seguenti sono da considerarsi contenuti minimi da sviluppare e contestualizzare, nella redazione degli studi di MS2 e MS3, ai territori indagati, approfondendo tematiche puntuali in coerenza con le Linee guida nazionali emanate dal Dipartimento della Protezione civile nazionale e nel rispetto delle ulteriori indicazioni che potranno essere eventualmente fornite dalla Commissione tecnica regionale.

1.1 OBIETTIVI GENERALI DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA

Gli studi di microzonazione sismica, così come specificato negli *"Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008)"*, vol. I e II, riguardano:

- l'implementazione di un quadro conoscitivo per la gestione del territorio;
- la definizione di obiettivi di riduzione del rischio sismico;
- l'individuazione delle priorità di intervento (in zone edificate) e di indagine, nonché i livelli di approfondimento necessari in considerazione delle scelte di piano e della programmazione delle risorse.

Trattandosi di uno strumento particolarmente efficace, se applicato durante la fase di pianificazione urbanistica, gli studi di MS possono risultare utili per:

- individuare le aree ad alta esposizione e vulnerabilità;
- indirizzare le scelte insediative verso aree a minore pericolosità e/o all'utilizzo di tipologie edilizie a minore vulnerabilità;
- assicurare che la progettazione esecutiva delle opere garantisca resistenza e condizioni di sicurezza;
- individuare il percorso di resilienza all'interno dei sistemi urbani a seguito di un sisma.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

2.1 NORME DI RIFERIMENTO NAZIONALI E LINEE GUIDA DEDICATE PER SPECIFICO ARGOMENTO

- AGI (2005) – Aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche. Linee guida AGI, 416 pp.;
- OPCM 3907/2010 e s.m.i. – Attuazione dell'articolo 11 del decreto legge 28 aprile 2009, n.39, convertito, con modificazioni, dalla legge 24 giugno 2009, n.77, in materia di contributi per interventi di prevenzione del rischio sismico. Ordinanza n. 3907 pubblicata sul Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale, n.281 del 1° dicembre 2010, Serie generale. 112 pp.;
- Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008);
- Dolce M., Albarello D., Castellaro S., Castenetto S., Colombi A., Compagnoni M., Di Filippo M., Di Nezza M., Eva C., Foti S., Martini G., Naso G., Pergalani F., Santucci de Magistris F., Scarascia Mugnozza G., Silvestri F. (2011) – Contributi per l'aggiornamento degli Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Ingegneria sismica, anno XXVIII, 2, 65 pp.;
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC) (v.1.0 Roma, 2015);
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) (v.1.0 Roma, 2017);
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione (LQ) (v.1.0 Roma, 2018);
- Linee guida per la realizzazione della Carta Geologico-Tecnica per la Microzonazione sismica con adattamento ai contesti vulcanici (v.1.0, 2021);
- Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni (v.2.0 Roma, 2022);
- Norme Tecniche per le Costruzioni (2018);
- Ministero delle infrastrutture e dei trasporti (2019) – Istruzioni per l'applicazione "dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP., pubblicato sul Supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale, n.35 del 11 febbraio 2019, Serie generale. 348 pp.;
- Gruppo di lavoro (2020) – Protocolli di acquisizione ed elaborazione dati relativi alle attività di Microzonazione Sismica di Livello 3 in Italia Centrale. Roma. 127 pp.;
- Standard MS (2020) – Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Versione 4.2 e s.m.i.. Commissione tecnica per la microzonazione sismica Roma. 138 pp.;

2.2 NORME DI RIFERIMENTO PER LA REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

- Delibera della Giunta Regionale n. 156 del 08 febbraio 2013, Costituzione commissione tecnica regionale per attuare gli studi di microzonazione sismica sul territorio regionale e

recepimento a livello regionale del documento tecnico relativo agli “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvato il 13 novembre 2008 dalla Conferenza delle Regioni e delle Province autonome;

- Delibera della Giunta Regionale n. 1661 del 13 settembre 2013, Integrazioni agli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica per gli studi da realizzarsi nell'ambito del territorio regionale (ai sensi dell'Opcm 3907 e seguenti);
- Legge Regionale n. 16 del 11 agosto 2009, Norme per la costruzione in zona sismica e per la tutela fisica del territorio, nello specifico per l'art. 16 bis, Disposizioni in materia di microzonazione sismica;
- Generalità di Giunta Regionale n. 1965 del 25 ottobre 2013, Linee guida “Standard minimi per la stesura di carte di pericolosità per frane di scivolamento e di crollo quale strumento per la prevenzione dei dissesti franosi”.

2.3 ALTRE NORME DI RIFERIMENTO

Al fine della realizzazione degli studi di microzonazione sismica si prendono come riferimento anche i documenti disponibili a livello regionale in Emilia-Romagna, con particolare riferimento agli aspetti relativi alla risposta sismica locale e alla liquefazione:

- Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 476 del 12 aprile 2021, Aggiornamento dell'“Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019, n. 630, nello specifico per l'allegato A3, Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento;
- Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia-Romagna n. 564 del 26 aprile 2021, Integrazione della propria deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)”.

3. STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1

La microzonazione sismica di livello 1 ha lo scopo di definire i possibili effetti di un sisma nel territorio comunale urbanizzato e urbanizzabile, indicando nel contempo le possibili problematiche connesse alla mancanza o alla carenza di informazioni documentate di carattere geologico, idrogeologico, morfologico, geotecnico e sismico per le singole aree.

Mediante l'elaborato di sintesi della Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), lo studio individua e rappresenta:

- “Zone stabili”: costituite da litotipi assimilabili al substrato rigido, o bedrock sismico, in affioramento con morfologia pianeggiante o poco acclive.
In queste aree non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e quindi nessun aggravio dell'azione sismica locale rispetto a quella definita dalle carte di pericolosità di base, pertanto non sono richiesti ulteriori approfondimenti di microzonazione sismica.
Restano cogenti le disposizioni di cui alle NTC 2018 (DM 17/01/2018), in campo statico e in campo sismico.
- “Zone stabili suscettibili di amplificazione”: caratterizzate da un assetto litostratigrafico e morfologico locale in grado di determinare azioni sismiche più intense rispetto a quelle previste dalle carte di pericolosità sismica di base.
Costituite da terreni non litificati e da morfologie superficiali o sepolte anche complesse, queste aree necessitano di approfondimenti di microzonazione sismica almeno di secondo livello.
- “Zone suscettibili di instabilità”: nelle quali gli effetti cosismici prevalenti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio.
Queste aree vengono classificate come “Zone di Attenzione” (ZA) per instabilità e necessitano di approfondimenti di microzonazione sismica di terzo livello finalizzati a produrre stime quantitative della pericolosità sismica locale attraverso parametri sintetici.

4. RUOLO DELLA COMMISSIONE TECNICA E DEI PROFESSIONISTI NEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO E TERZO LIVELLO IN FVG

Per il raggiungimento di un elevato livello di conoscenza del territorio, ai fini della prevenzione e della mitigazione dal rischio sismico, la Regione prevede che per i Comuni nei quali sono stati realizzati studi di microzonazione sismica di livello 1, a seguito dei quali si è riscontrata la necessità di maggiori approfondimenti, dovranno essere svolti gli studi di microzonazione sismica di livello 2 ed eventualmente quelli di livello 3.

Detti studi verranno esaminati da una Commissione tecnica regionale, istituita ai sensi dell'art. 5, commi da 19 a 22 della L.R. 27/2012, responsabile dell'attuazione degli studi di microzonazione sismica sul territorio regionale. Questa Commissione, che ha già seguito l'iter della MS di livello 1, avrà compiti di indirizzo e supporto anche durante lo svolgimento degli studi di livello 2 e 3.

Data la natura prototipale dei primi studi sono previste riunioni periodiche con i professionisti al fine di verificare il corretto avanzamento degli stessi e condividere le scelte metodologico-operative da attuare, eventualmente anche prevedendo l'utilizzo e il confronto di metodologie alternative all'interno degli studi.

Si evidenzia che in ogni caso le scelte metodologico-operative effettuate dovranno essere adeguatamente motivate all'interno della relazione.

In tal senso vengono distinti due tipi di operatori:

I professionisti incaricati della realizzazione degli studi di MS di livello 2 e 3, che si occuperanno di:

- predisporre un adeguato Piano di indagini geologiche, geotecniche e geofisiche;
- eseguire e/o coordinare le indagini;
- revisionare, ed eventualmente aggiornare, i modelli geologici distintivi delle singole microzone in prospettiva sismica e le rispettive mappe;
- determinare quantitativamente i parametri di amplificazione del moto sismico (FA, FV, H_{SM}) e gli indici descrittivi delle eventuali instabilità;
- fornire i dati e redigere la documentazione richiesta per gli studi di MS secondo quanto previsto dagli standard di rappresentazione e archiviazione informatica.

La Commissione tecnica per la MS, che si occuperà invece di:

- approvare il Piano di indagini consegnato dal professionista;
- supportare e indirizzare le attività dei professionisti incaricati;
- validare gli studi di microzonazione sismica.

Si specifica che la Commissione tecnica regionale ha ritenuto di non utilizzare abachi per la stima dei parametri di amplificazione del moto sismico, ma di applicare **l'analisi di risposta sismica locale**, tale scelta consente di ottenere stime di amplificazione più affidabili e coerenti con il contesto geologico e sismotettonico locale.

5. GLI STUDI DI SECONDO LIVELLO

Gli studi di microzonazione sismica di secondo livello, oltre a prevedere la rilettura critica e l'eventuale aggiornamento degli elaborati di MS di primo livello, indagano la quantificazione del moto del suolo nelle zone stabili suscettibili di amplificazione e nelle zone instabili.

Tali quantificazioni saranno fornite solo per amplificazioni stratigrafiche monodimensionali (1D) secondo le specifiche tecniche illustrate nel capitolo 7. Qualora nei territori oggetto di studio siano presenti geometrie superficiali e/o sepolte che implicino la presenza di fenomeni amplificativi bidimensionali, instabilità dovute a liquefazioni, a frane, a cedimenti differenziali e a faglie attive e capaci si dovrà procedere con lo studio di terzo livello.

Per lo svolgimento dello studio il professionista dovrà:

- predisporre il Piano delle indagini con l'indicazione delle tipologie, del numero e dell'ubicazione delle stesse, oltre a sovrintendere alla loro esecuzione;
- sulla base dei risultati delle nuove indagini, verificare la congruità del modello geologico del sottosuolo, escludendo elementi di possibile instabilità o di particolare complessità geologica (che rimandano al livello 3), e predisporre l'eventuale modifica delle perimetrazioni con conseguente aggiornamento della Carta geologico tecnica (CGT), della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e delle relative strutture di archiviazione (si veda capitolo 9);
- valutare l'amplificazione sismica mediante modellazione numerica, ciò permetterà di ottenere i fattori di amplificazione (FA e FV) e gli spettri di risposta elastici per i 3 intervalli dei periodi di vibrazione di interesse, che dovranno essere archiviati e rappresentati su carta secondo le specifiche del capitolo 9:
 - 0.1 - 0.5 s
 - 0.4 - 0.8 s
 - 0.7 - 1.1 s
- fornire il parametro H_{SM} per l'intervallo di periodi 0.1-0.5 secondi, come definito nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni (v.2.0 Roma, 2022)", che, a partire dai valori dei fattori di amplificazione (FA) calcolati e dalla pericolosità sismica di base del territorio indagato, stima il livello di pericolosità integrato (pericolosità di base più gli effetti di amplificazione stratigrafica) permettendo un confronto con analoghe stime ottenute in altre aree.
Tali valori dovranno essere archiviati e rappresentati su carta, secondo le specifiche del capitolo 9;
- fornire il parametro $H_{0.408}$ e $H_{0.711}$, rispettivamente per gli intervalli di periodi 0.4-0.8 secondi e 0.7-1.1 secondi, calcolati in maniera analoga al parametro H_{SM} per i diversi periodi di integrazione, come definito nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni (v. 2.0 Roma, 2022)".
Tali valori dovranno essere archiviati e rappresentati su carta, secondo le specifiche del capitolo 9.

Nelle zone dove la condizione di amplificazione è di natura bidimensionale, nelle zone di instabilità e nelle zone stabili suscettibili di amplificazione caratterizzate da stratigrafie e morfologie

complesse, il fattore di amplificazione per il secondo livello, ai fini degli standard informatici 4.x, sarà determinato attraverso le indicazioni delle NTC 2018, prevedendo un approfondimento obbligatorio negli studi di terzo livello.

Per queste aree non sarà richiesto il calcolo degli H_{SM} .

5.1 PIANO DI INDAGINI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2

L'area indagata sarà quella individuata negli studi di livello 1 e sarà suscettibile di eventuali modifiche da concordare con la Commissione tecnica e con il Comune.

La scelta delle tecniche di indagine più appropriate per le diverse situazioni viene effettuata dal professionista responsabile delle attività sul campo, questi, **in accordo con la Commissione tecnica regionale**, predispone il Piano delle indagini tenendo conto del modello geologico del sottosuolo, della distribuzione e della tipologia dei dati già disponibili e della profondità di esplorazione necessaria.

Obiettivi di queste indagini sono soprattutto:

- 1) Contribuire alla validazione, e se del caso, all'implementazione e miglioramento del modello geologico individuato nello studio di MS1;
- 2) Ricostruire il profilo di velocità delle onde di taglio (onde S) all'interno delle MOPS individuate dalla MS1 e la definizione dei parametri fisico-meccanici da attribuire ai diversi corpi geologici presenti (sismostratigrafia) da utilizzare nella modellazione numerica per il calcolo dei fattori di amplificazione;
- 3) Individuare e caratterizzare i fenomeni di risonanza (la frequenza fondamentale del sito) all'occorrenza di un evento sismico.

Ogni microzona riportata nella Carta delle MOPS dovrà essere caratterizzata attraverso un adeguato numero di indagini geotecniche e geofisiche, in modo da fornire almeno un profilo di Vs, possibilmente esteso fino al substrato di riferimento per le modellazioni numeriche.

Il Piano delle indagini potrà subire modifiche o integrazioni in corso d'opera con adeguata motivazione e previa approvazione da parte della Commissione.

Per le tipologie di indagini utilizzabili, per le specifiche tecniche di esecuzione e per l'interpretazione delle prove, si rimanda alle Appendici del Volume 2 - Parte III degli *"Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008)"*.

Nel caso in cui gli studi di microzonazione sismica di livello 2 e 3 vengano eseguiti contemporaneamente, il Piano di indagini potrà essere unico.

5.2 ELABORATI PREVISTI DAGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2

Vengono elencati nella tabella seguente gli elaborati richiesti per gli studi di microzonazione sismica di livello 2 che dovranno essere realizzati secondo le specifiche tecniche degli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.x, e secondo quanto specificato nel capitolo 9 "Standard informatici" delle presenti linee guida:

Prodotti	Elementi	Note
Carta delle indagini	Indagini lineari	
	Indagini puntuali	
Carta geologico tecnica (CGT)	Aggiornamento, sulla base delle nuove evidenze, della Carta geologico tecnica, e delle relative sezioni, prodotta negli studi di microzonazione sismica di livello 1	Realizzare seguendo sempre gli standard nazionali
Carta delle MOPS con eventuali modifiche	Carta delle MOPS modificata, se necessario, sulla base dei nuovi dati e delle elaborazioni raccolte negli studi di livello 2	
Carta di Microzonazione sismica	Zone stabili Parametro di amplificazione uguale a 1	
	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattori di amplificazione da modellazione numerica 1D	Carte di MS rappresentative dei fattori di amplificazione FAPGA, FH (0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s), FA (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s), H _{SM} (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s)
	Zone di Attenzione per instabilità: Zone di Attenzione per Instabilità di versante (FR) Zone di Attenzione per Liquefazione (LQ) Zone di Attenzione per Faglie Attive e Capaci (FAC) Zone di Attenzione per Cedimenti Differenziali (CD) Zone di Attenzione per sovrapposizione di Instabilità Differenti (ID)	
Documenti e dati da standard regionali	Dovranno essere forniti i dati delle misure realizzate secondo gli standard specificati nel capitolo 9 "Standard informatici"	
Relazione Illustrativa	Comprensiva degli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi per l'area studiata e di almeno due sezioni litotecniche	Nel caso venga presentato uno studio sviluppato secondo più livelli contemporaneamente, la Relazione illustrativa sarà unica

6. STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

Gli studi di microzonazione sismica di terzo livello prevedono l'attribuzione a tutte le MOPS individuate nei precedenti livelli di MS, incluse quelle caratterizzate da instabilità, dei valori di Fattori di Amplificazione e spettri di risposta elastici. Le aree interessate al terzo livello sono quelle caratterizzate dalla presenza di geometrie superficiali e/o sepolte che implicino la presenza di fenomeni amplificativi bidimensionali, instabilità dovute a liquefazioni, a frane, a cedimenti differenziali e a faglie attive e capaci.

La quantificazione dell'amplificazione sismica locale sarà stimata attraverso le modellazioni numeriche bidimensionali (si veda il capitolo 7) che simulano il processo di propagazione delle onde sismiche attraverso il substrato e i terreni di copertura. Tali simulazioni includeranno il contributo dell'amplificazione stratigrafica, legata all'interferenza delle onde sismiche intrappolate nelle discontinuità del suolo e dovute alle caratteristiche meccaniche dei materiali presenti, e dell'amplificazione topografica, legata ai fenomeni di interferenza e focalizzazione ascrivibili alla riflessione o rifrazione delle onde sismiche in corrispondenza della superficie topografica.

Ai fini dell'utilizzazione dei risultati degli studi di MS3 per le amplificazioni locali, si definiscono le seguenti classi di intervallo dei periodi di vibrazione di interesse:

- 0.1 - 0.5 s
- 0.4 - 0.8 s
- 0.7 - 1.1 s

Per stimare il livello di pericolosità sismica delle diverse parti del territorio, permettendo un confronto con analoghe stime ottenute in altre aree, si richiede anche il calcolo del parametro H_{SM} e dei parametri $H_{0.408}$ e $H_{0.711}$, come definito nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni (v.2.0 Roma, 2022)".

Tutti i risultati degli studi di MS saranno espressi, anche in termini cartografici, con riferimento ai precedenti intervalli di periodo.

Per le modalità di rappresentazione si fa riferimento a quanto previsto dagli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.x, e secondo quanto specificato nel capitolo 9 "Standard informatici" delle presenti linee guida.

6.1. ANALISI DELLE AREE CON FENOMENI DI INSTABILITA'

6.1.1. ZONE DI ATTENZIONE PER LIQUEFAZIONE

Con il termine "liquefazione" si intende la perdita parziale o totale della resistenza al taglio e della rigidità in un terreno non coesivo saturo poco addensato a causa dell'incremento della pressione interstiziale indotto da azioni cicliche e dinamiche in condizioni non drenate.

Questo fenomeno è estesamente documentato sia a livello mondiale (e.g., *Idriss & Boulanger, 2008, Rollins et al., 2021*) che nazionale (e.g., *Baratta, 1910; Galli, 2000; Sirovich, 1996a, 1996b; Rollins, 2020*) su terreni a granulometria variabile dalle ghiaie ai limi non plastici.

Nel presente documento e nell'Allegato 1 - "LIQUEFAZIONE" vengono presentate le procedure per la valutazione della possibilità di occorrenza della liquefazione nell'ambito degli studi di

microzonazione sismica. Tali procedure sono state selezionate facendo riferimento a quelle più recenti e più utilizzate a livello nazionale ed internazionale al momento della stesura. Si raccomanda un'accurata caratterizzazione geologica e geotecnica dei siti oggetto di studio al fine di selezionare i metodi di indagine più idonei per la stima della suscettibilità alla liquefazione.

L'occorrenza di fenomeni di liquefazione in un sito è legata alla presenza, generalmente nei primi 20 m di profondità, di una successione litologica che presenti orizzonti di terreno non coesivo con falda acquifera ad una profondità media stagionale non superiore ai 15 m dal piano campagna (e.g., *Linee guida MS, 2018; NTC, 2018*).

Come riportato nelle linee guida AGI (2005) e successivamente anche nelle NTC 2018 e nelle "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ) (v.1.0 Roma, 2018)*", uno dei fattori predisponenti alla liquefazione è la presenza nei primi 20 m di profondità di terreni con granulometria compresa nei limiti indicati dalla seguente figura:

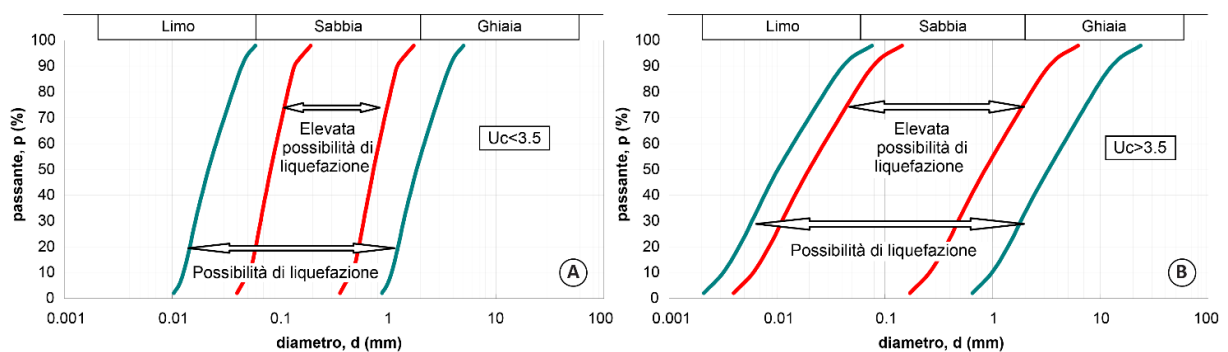


Fig. 1.1 – Fusi granulometrici per la determinazione della suscettibilità a liquefazione di un terreno; a) nel caso di terreni in cui il fattore di uniformità $U_c < 3.5$; b) nel caso di terreni con $U_c > 3.5$ (AGI, 2005).

Tuttavia la granulometria dei terreni suscettibili alla liquefazione è estremamente variabile (generalmente dalle ghiaie ai limi non plastici), come dimostrato da diversi studi presenti in letteratura (e.g., *Rollins et al., 2021; Bray & Sancio, 2004; Andrews & Martin, 2000; Idriss & Boulanger, 2008; Boncio et al., 2018, 2020*), per tale motivo, la sola granulometria non è considerata un parametro affidabile per le analisi di MS di terzo livello.

A titolo di esempio, in Fig. 1.2 si riportano le curve granulometriche relative a depositi ghiaiosi liquefatti in seguito a terremoti con magnitudo momento M_w compresa tra 5.3 e 9.2 riportati da *Rollins et al. (2021)* sovrapposte ai fusi granulometrici di normativa per la determinazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni con $U_c > 3.5$ (da *Salvatore et al., 2022*).

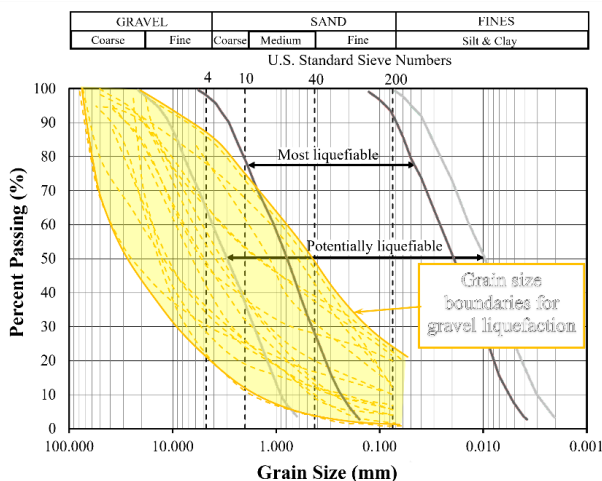


Fig. 1.2 – Curve granulometriche riferite a siti oggetto di liquefazione in terreni ghiaiosi (linee gialle, modificato da *Rollins et al., 2021*) sovrapposte ai fusi granulometrici di normativa per la determinazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni con $U_c > 3.5$ (da *Salvatore et al., 2022*).

In Fig. 1.3 si riportano i principali abachi disponibili in letteratura (Bray & Sancio, 2004; Andrews & Martin, 2000; Idriss & Boulanger, 2008) per una prima valutazione della suscettibilità alla liquefazione dei terreni a grana fine, mediante la determinazione dei limiti di Atterberg, del contenuto d'acqua e del contenuto in fine.

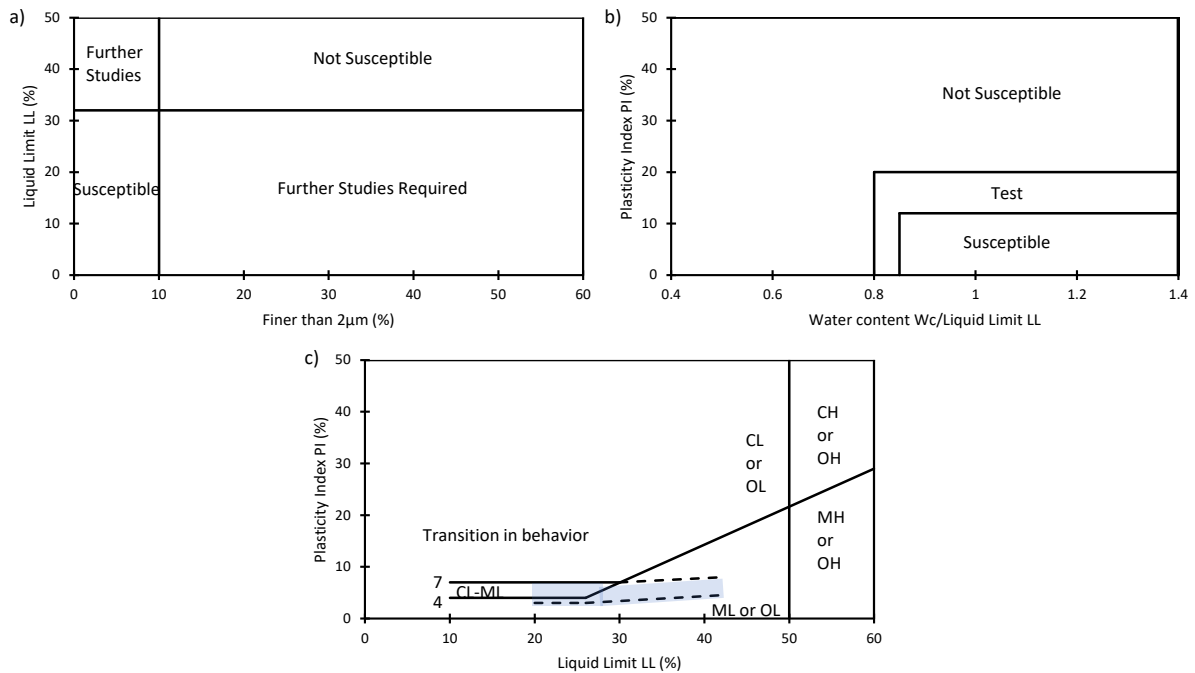


Fig. 1.3 – Abachi per la stima della suscettibilità di un terreno alla liquefazione attraverso prove geotecniche di laboratorio: a) Andrews e Martin (2000); b) Bray e Sancio (2006); c) Idriss e Boulanger (2008).

Ai fattori predisponenti ai fenomeni di liquefazione sopra descritti vanno aggiunti l'occorrenza di eventi sismici con magnitudo attesa $M_w \geq 5$, rimossa dalle NTC 2018, ma presente sulle Linee guida MS (2018), ed un'accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero $a_{max} \geq 0.1g$, presente sia nelle NTC 2018 che nelle Linee guida MS (2018).

Le NTC 2018 indicano inoltre come suscettibili nei confronti della liquefazione quei depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata da prove penetrometriche dinamiche $SPT (N_1)_{60} < 30$ o da prove penetrometriche statiche $CPT q_{CIN} < 180$.

Per la definizione di entrambi i parametri si faccia riferimento all'Allegato 1.

La verifica dei fattori predisponenti alla liquefazione viene effettuata negli studi di MS1, attraverso la raccolta e l'analisi critica di elaborati geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, nonché di sondaggi e test in-situ esistenti nell'area, al fine di stimare profondità e andamento della falda acquifera oltre che la granulometria prevalente dei depositi nei primi 20 m di sottosuolo, che rappresenta uno dei principali fattori nella determinazione del tipo di prova in sito da utilizzare. Inoltre, dovranno essere considerati gli eventuali fenomeni di liquefazione legati ad eventi storici avvenuti nel territorio di interesse.

In caso che le informazioni disponibili non siano sufficienti, è opportuno effettuare nuove prove in situ e in laboratorio "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ) (v.1.0 Roma, 2018)".

I dati raccolti vanno sintetizzati nella carta delle indagini e nella carta geologico tecnica, arrivando così alla descrizione dei litotipi che costituiscono il sottosuolo e alla definizione delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) nell'area di interesse.

Utilizzando come base la carta geologico tecnica ed in generale i risultati dell'analisi dei dati, vengono individuate le zone di attenzione per la liquefazione (Z_{ALQ}), definite nelle Linee guida MS (2018) come le zone nelle quali i dati indicano la presenza di condizioni predisponenti all'instabilità in esame e riportata nella carta delle MOPS secondo quanto indicato negli standard di rappresentazione e archiviazione informatica nella versione più aggiornata.

Il livello 2 degli studi di microzonazione sismica è finalizzato allo studio delle zone stabili soggette ad amplificazioni locali, in questo livello non sono previsti approfondimenti per le Z_{ALQ} (Linee guida MS, 2018), che vanno quindi riportate tali e quali dal livello 1 nella mappa di livello 2 con l'aggiunta del relativo fattore di amplificazione.

Gli approfondimenti di microzonazione sismica di livello 3 sono richiesti per le zone instabili potenzialmente interessate da liquefazione (Z_{ALQ}) individuate nel livello 1, al fine di caratterizzare e definire le zone suscettibili di liquefazione (Z_{SLQ}) e le zone di rispetto per la liquefazione (Z_{RLQ}), utilizzando rispettivamente metodi di analisi semplificati o avanzati.

Per questo fine è necessario pianificare nuove indagini idonee e distribuite in modo omogeneo, tali da poter ridefinire la geometria dell'area potenzialmente interessata dalla liquefazione, e svolgere le analisi con metodi semplificati (si veda l'Allegato 1).

I risultati ottenuti consentono di calcolare, per ogni verticale di indagine, l'indice del potenziale di liquefazione (LPI) come definito da Sonmez (2003). Considerati gli elementi geologici e la distribuzione areale dei valori degli indici, è possibile distinguere le zone in Z_{SLQ} e Z_{RLQ} , utilizzando la suddivisione in classi riportata in Tabella 1.3 dell'Allegato 1.

Si definiscono Z_{SLQ} le aree che presentino una distribuzione dei valori dell'indice pari a $2 < LPI \leq 15$. Queste zone devono essere ulteriormente distinte nella rappresentazione cartografica, tramite opportuno sovrascigno, in zona a media ($2 < LPI \leq 5$) e ad alta ($5 < LPI \leq 15$) pericolosità.

Per le aree che presentino un $LPI > 15$ è necessario rivalutare l'LPI medio con ulteriori dati e/o analisi dinamiche semplificate o avanzate. Le zone che dopo queste ulteriori analisi risultino avere un $LPI \leq 15$ saranno riclassificate come Z_{SLQ} , mentre quelle che manterranno un $LPI > 15$ saranno definite come Z_{RLQ} .

Le Z_{SLQ} e Z_{RLQ} definite saranno riportate negli elaborati del livello 3 degli studi di microzonazione sismica come indicato dagli standard di rappresentazione.

Per tutto ciò che non è descritto nel presente documento si faccia riferimento agli standard di rappresentazione e alle linee guida per la liquefazione nazionali.

6.1.2 ZONE DI ATTENZIONE PER FRANE SISMOINDOTTE

Per quanto attiene agli approfondimenti conoscitivi e alla gestione delle aree di instabilità di versante sismoindotte si rimanda alle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) (v.1.0 Roma, 2017)".

Si specifica che, come indicato dalle suddette Linee guida, per la disciplina d'uso si rimanda alla normativa del PAI di riferimento.

Tutti i perimetri delle frane PAI verranno recepiti direttamente come livello 3 (ZR_{FR} - Zone di rispetto per l'instabilità di versante).

Nel caso vengano individuate delle frane non inserite oppure con necessità di una ripermimetrazione maggiorativa di frane già esistenti nel PAI o nel catasto Frane regionale, è obbligatoria la compilazione dell'allegato in appendice 8 degli "STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.2 - Roma, dicembre 2020", l'applicazione delle linee guida, la comunicazione e l'invio dei dati al Servizio competente.

Per la metodologia da utilizzare in caso di frane di crollo si rimanda al documento "Linee guida per la Redazione di Carte di Suscettibilità e di Pericolosità (Progetto MASSMOVE, 2013 e Valagussa et alii, 2014; Appendice A4)", ovvero obbligatoriamente alla Generalità di Giunta Regionale del Friuli Venezia Giulia n. 1965 del 25 ottobre 2013 - Linee guida "Standard minimi per la stesura di carte di pericolosità per frane di scivolamento e di crollo quale strumento per la prevenzione dei dissesti franosi".

In caso non venga eseguito lo studio di MS3 le ZR_{FR} delle frane in terra e delle frane in roccia di nuova caratterizzazione, o per gli areali caratterizzati da pericolosità PAI P1 e P2, saranno caratterizzate anche da un fattore di amplificazione, così come definito a pag. 33 delle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità di versante sismoindotte (FR) (v.1.0 Roma, 2017)".

6.1.3. ZONE DI ATTENZIONE PER CEDIMENTI DIFFERENZIALI

Il fenomeno definito negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008)" come "cedimento differenziale" (CD) può essere ricondotto al fenomeno di "densificazione indotta dall'azione sismica" (DAS) in materiali sciolti non suscettibili a liquefazione.

Rientrano in questa categoria i materiali sciolti prevalentemente granulari (sabbie e limi sabbiosi) sopra falda (asciutti o parzialmente saturi) che, in particolari condizioni geologico-geotecniche, subiscono compressione volumetrica, ovvero riduzione dell'indice dei vuoti, quando soggetti ad azioni sismiche sufficientemente elevate.

I cedimenti differenziali definiti in ICMS vengono qui trattati in maniera semplificata riconducendo l'analisi al cedimento assoluto di varie verticali. Il passaggio dal cedimento assoluto a quello differenziale (o a parametri di distorsione angolare più significativi per il danno potenzialmente arrecato alle strutture) richiederebbe l'individuazione di una distanza planimetrica non univoca nell'ottica di studi di MS, questi ultimi infatti, principalmente orientati alla pianificazione territoriale e alla disciplina d'uso del suolo, valgono per un largo spettro di categorie strutturali e infrastrutturali nonché di tipo di fondazione.

Non viene pertanto richiesto il loro calcolo, ma negli studi di secondo e terzo livello dovrà essere comunque evidenziata la sussistenza del fenomeno rimandando la verifica a quanto previsto dalle NTC 2018 e a studi specifici.

Nella medesima categoria rientrano anche i fenomeni di sinkhole, già presenti all'interno del censimento ISPRA, e le eventuali nuove evidenze.

In tali zone verranno comunque eseguite le modellazioni numeriche 1D e 2D per determinare i fattori di amplificazione (FA e FV) e gli spettri di risposta elastici.

6.1.4. ZONE DI ATTENZIONE PER FAGLIE ATTIVE E CAPACI (FAC)

Per quanto riguarda le “faglie attive e capaci” (FAC) la MS1 definisce in modo cautelativo i perimetri delle Zone di Attenzione (ZA) in caso di sisma, è necessario quindi confermare o meno la coerenza di tale pericolosità, e con essa i perimetri anzidetti, secondo le metodiche di cui ai capitoli 1, 2, 4 e 5 delle “Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC) (v.1.0 Roma, 2015)”.

Anche con riferimento al data base delle faglie attive recentemente pubblicato sul sito della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia (<https://www.regione.fvg.it/rafvfg/cms/RAFVG/ambiente-territorio/geologia/FOGLIA35/>), si ritiene obbligatorio procedere ad un riesame approfondito di tali strutture da parte del professionista in modo da rivedere l'attribuzione delle diverse faglie attive o potenzialmente attive e capaci e successivamente delineare le eventuali aree di rispetto anche per le FPAC in ottica cautelativa.

Il geologo dovrà inserire all'interno della CGT le faglie attive, quelle potenzialmente attive e quelle ad attività quaternaria non determinata e compilare l'allegato in appendice 9 degli “STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.2 - Roma, dicembre 2020”. Per quanto riguarda quest'ultime si dovrà evidenziare, se del caso, l'eventuale pericolosità all'interno della relazione finale.

Per quanto riguarda le faglie attive e potenzialmente attive si richiede che la faglia sia graficamente rappresentata come nel database delle faglie attive e capaci.

Si riprendono a questo proposito le “Linee guida FAC (versione 1.0, pag. 5)” che citano: “Nel caso in cui almeno due delle condizioni preliminari di seguito citate risultino verificate (ovvero:

- l'area oggetto di studi di MS ricade in area epicentrale di terremoti storici con $M_w > 5.5$ (cfr CPT11);
- la letteratura scientifica disponibile già riporta la presenza di faglie all'interno di formazioni tardo-pleistoceniche-oloceniche;
- sono segnalate evidenze di attività recente delle faglie rilevate sul campo da geologi, durante i rilievi geologico-tecnici per la stesura delle carte di MS;)

è necessario condurre uno studio di dettaglio finalizzato all'individuazione dell'eventuale traccia superficiale di una faglia attive e capace”.

6.1.4.1. FAGLIE POTENZIALMENTE ATTIVE E CAPACI (FPAC)

Come da indicazione delle linee guida ICMS, nella Carta geologico tecnica (CGT) degli studi di microzonazione sismica di livello 1 prodotti in Regione sono state anche individuate le faglie potenzialmente attive e capaci (FPAC). Poiché queste non sono state inserite nelle MOPS, ma sono segnalate nelle CGT, non devono essere definite le relative “Zone di Attenzione” (ZA).

D'altro canto nelle “Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC) (v.1.0 Roma, 2015)”, tali strutture devono essere indagate come le FAC sempre all'interno del terzo livello (si veda Fig. 1.4).

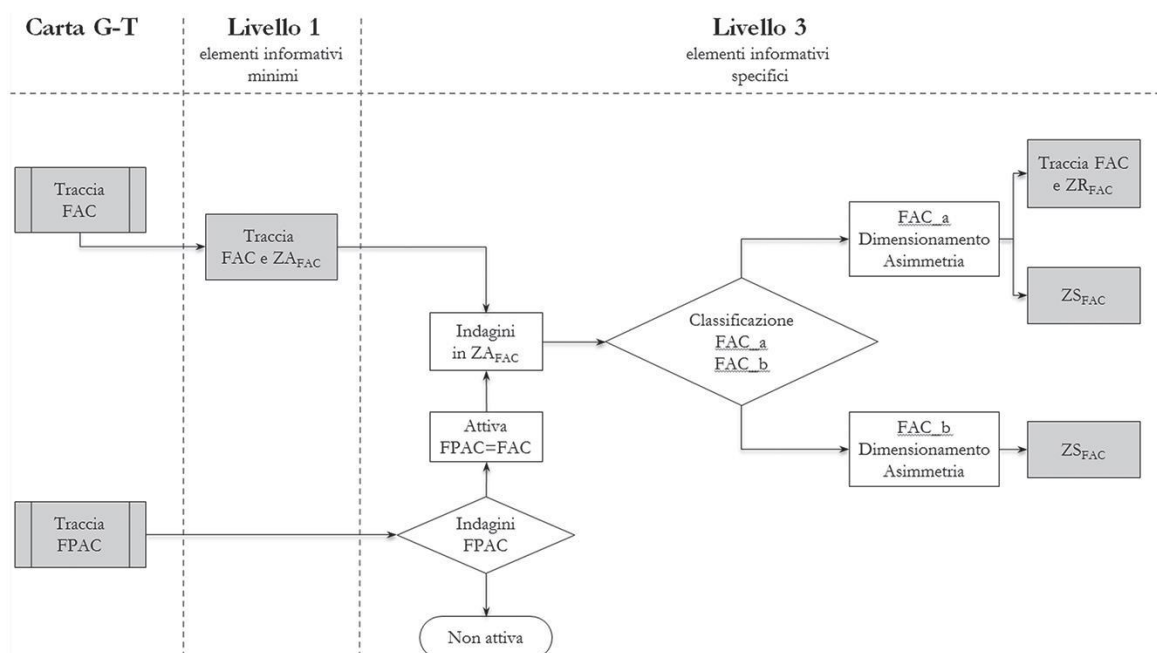


Fig. 1.4 - Procedure di dimensionamento delle zone di faglia nei differenti livelli di approfondimento degli studi di MS (Linee Guida per la gestione del territorio in aree interessate da faglie attive e capaci (FAC) (v.1.0 Roma, 2015)).

La mancanza della ZA determina l'assenza di vincoli territoriali, nonostante la potenziale pericolosità segnalata peraltro dalle stesse linee guida che obbligano all'approfondimento di terzo livello.

Se per la faglia in esame esistono evidenze di capacità nelle zone limitrofe al Comune analizzato, queste ultime devono essere prese in considerazione per la definizione della zona di suscettibilità (ZS).

Metodo di studio

Le linee guida per lo studio di faglie attive e capaci (FAC) definiscono, per l'approfondimento di terzo livello, 4 metodologie di indagine da eseguire con "sequenzialità temporale", che prevedono:

- 1) Indagine morfotettonica che si articolerà in una prima fase di analisi di foto aeree ed ortofoto, carte topografiche di dettaglio e DEM ad alta risoluzione;
- 2) Nelle aree in cui saranno riconosciute anomalie morfologiche che possono indicare crescita di faglie attive (come ad esempio scarpate, anomalie del drenaggio, superfici basculate) si provvederà ad eseguire un rilevamento geomorfologico di dettaglio sul terreno, al fine di valutare l'effettiva presenza e la tipologia di queste strutture e definire le stesse alla meso e macro scala e individuare possibili siti per l'analisi geofisica e paleosismologica;
- 3) Le indagini geofisiche saranno eseguite sulla base dei risultati ottenuti in precedenza, la scelta del tipo di analisi geofisica (ad esempio tomografia elettrica, sismica a rifrazione o riflessione, Ground Penetrating radar) sarà effettuata sulla base della tipologia dei terreni e del sito da indagare (area urbanizzata o agricola).

Attraverso l'analisi geofisica verranno indagati in profondità i primi 20-30 m di spessore dei sedimenti recenti e identificate anomalie laterali ipoteticamente associabili alla presenza di un elemento di faglia;

- 4) Nei siti precedentemente selezionati in base alle risultanze delle indagini morfotettoniche e geofisiche verranno scavate delle trincee esplorative per verificare la presenza della discontinuità, ottenere la stratigrafia di dettaglio dei primi metri di sottosuolo, studiare e possibilmente datare gli effetti deformativi legati all'attività recente della faglia.

Lo studio si articolerà nelle seguenti attività:

- scavo di una serie di trincee paleosismologiche localizzate a cavallo della struttura tettonica da indagare, atte alla caratterizzazione deformativa e alla determinazione del timing della struttura indagata.
Le trincee devono essere sufficientemente lunghe (almeno 20-30 m), al fine di investigare tutta la zona di faglia e la fascia di deformazione continua associata, e sufficientemente profonde per poter indagare un intervallo di tempo significativo (2-3 m);
- pulizia e armatura delle pareti della trincea: le pareti delle trincee (verticali o a gradinata, in rispetto alle norme di sicurezza) verranno pulite e attrezzate con apposito reticolato (maglie di 1 m);
- le pareti saranno quindi studiate (con individuazione dei corpi sedimentari e dei loro rapporti), fotografate e ridisegnate in un log in scala 1:10.
Il log dovrà riportare tutti gli elementi stratigrafici e tettonici utili all'interpretazione (livelli, markers, faglie, fratture, campioni);
- eventuale realizzazione di un ortofotomosaico di ciascuna trincea;
- raccolta e datazione di un numero sufficiente di campioni per la datazione.
I metodi di datazione dei paleo-eventi dipenderanno dal tipo di materiale databile e potranno prevedere sia datazioni classiche come C14 con il metodo AMS, sia altri metodi che includono i radionuclidi del Pb e del Cs, il paleomagnetismo, la tefrocronologia, la datazione dei depositi di loess, e, in caso di ritrovamento di reperti idonei, anche la datazione archeologica.

In riferimento al capitolo 4.2 *“Zona di Suscettibilità e Zona di Rispetto ($Z_{S_{FAC}}$ e $Z_{R_{FAC}}$ nel livello 3)”* delle linee guida FAC gli studi di paleosismologia determineranno:

- l'ultimo evento di attivazione e, di conseguenza, il tempo intercorso dall'ultimo evento di attivazione. Questo può permettere di attribuire un terremoto noto avvenuto in tempi storici ad un evento di attivazione della faglia considerata oppure di definire la faglia attiva studiata come “silente”, ossia una struttura tettonica che non ha prodotto forti terremoti in tempi storici, nonostante mostri evidenze geologiche di attività;
- il tempo di ricorrenza, ovvero il tempo che mediamente intercorre fra i diversi eventi di attivazione. Questo parametro, unito a quello precedente, fornisce delle informazioni utili alla definizione della probabilità (in senso statistico) di attivazione della faglia considerata in un futuro di interesse socio-economico;
- il rigetto per evento, ovvero l'entità della dislocazione della superficie topografica per ogni evento di attivazione della faglia. In particolare, questo parametro costituisce un dato fondamentale per la definizione della massima magnitudo attesa di un terremoto generato dall'attivazione della faglia considerata.

6.2 PIANO DI INDAGINI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

L'area indagata sarà quella individuata negli studi di livello 1 e sarà suscettibile di eventuali modifiche da concordare con la Commissione e con il Comune.

Si conferma che la scelta delle tecniche di indagine più appropriate per le diverse situazioni viene effettuata dal professionista responsabile delle attività sul campo, questi, **in accordo con la Commissione tecnica regionale**, predispose il Piano delle indagini tenendo conto del modello geologico di sottosuolo, della distribuzione e della tipologia dei dati già disponibili, della profondità di esplorazione necessaria e delle tipologie di instabilità da indagare.

In particolare per quanto riguarda le indagini aggiuntive per gli studi di livello 3 si recepisce completamente il capitolo 5.1 "PIANO DI INDAGINI PER LA REALIZZAZIONE DEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 2" e, in particolare per le tipologie legate alle zone con instabilità, si fa riferimento alle specifiche tecniche di esecuzione e interpretazione delle prove come suggerito dagli ICMS, dalle specifiche linee guida e dai capitoli 6.1.1., 6.1.2., 6.1.3. e 6.1.4. del presente documento.

Il Piano delle indagini potrà comunque subire modifiche o integrazioni in corso d'opera con adeguata motivazione e previa approvazione da parte della Commissione.

Nel caso in cui gli studi di microzonazione sismica di livello 2 e 3 vengano eseguiti contemporaneamente, il Piano di indagini potrà essere unico.

6.3 ELABORATI PREVISTI DAGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

Vengono elencati nella tabella seguente gli elaborati richiesti per gli studi di microzonazione sismica di livello 3 che dovranno essere realizzati secondo le specifiche tecniche degli standard di rappresentazione e archiviazione informatica, versione 4.x, e secondo quanto specificato nel capitolo 9 "Standard informatici" delle presenti linee guida:

Prodotti	Elementi	Note
Carta delle Indagini	Indagini lineari	
	Indagini puntuali	
Carta geologico tecnica (CGT)	Aggiornamento, sulla base delle nuove evidenze, della Carta geologico tecnica, e delle relative sezioni, prodotta negli studi di microzonazione sismica di livello 1	Realizzare seguendo sempre gli standard nazionali
Carta delle frequenze	Carta delle frequenze (integrazione degli HV rilevati dallo studio di microzonazione sismica di livello 1)	Dovranno essere forniti i dati delle misure realizzate secondo gli standard specificati nel capitolo 9 "Standard informatici"

Carta delle MOPS con eventuali modifiche	Carta delle MOPS modificata, se necessario, sulla base dei nuovi dati e delle elaborazioni raccolte negli studi di livello 3	
Carta di Microzonazione sismica	Zone stabili Parametro di amplificazione uguale a 1	
	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattori di amplificazione da simulazioni numeriche e Spettri di output rappresentativi	Carte di MS rappresentative dei fattori di amplificazione FAPGA, FH (0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s), FA (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s), H _{SM} (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s)
	Zone Suscettibili di instabilità: Zone di Suscettibilità per Instabilità di versante (FR) Zone di Suscettibilità per liquefazioni (LQ) Zone di Suscettibilità per Faglie attive e capaci (FAC) Zone di Rispetto per Instabilità di versante (FR) Zone di Rispetto per Liquefazioni (LQ) Zone di Rispetto per Faglie attive e capaci (FAC)	Parametri quantitativi: FAC=DISL LQ=IL FR=FRT, FRR
Documenti e dati da standard regionali	Dovranno essere forniti i dati delle misure realizzate secondo gli standard specificati nel capitolo 9 "Standard informatici"	
Relazione illustrativa	Comprensiva degli schemi dei rapporti litostratigrafici più significativi per l'area studiata e di almeno due sezioni litotecniche	Nel caso venga presentato uno studio sviluppato secondo più livelli contemporaneamente, la Relazione illustrativa sarà unica

7. MODELLAZIONI NUMERICHE 1D E 2D PER DETERMINARE I FATTORI DI AMPLIFICAZIONE (FA e FV) PER GLI STUDI DI LIVELLO 2 E 3

Gli obiettivi delle analisi numeriche riguardano:

- Spettri di risposta con smorzamento al 5%;
- Fattori di amplificazione (FA e FV) relativi a tre intervalli di periodi (0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s);
- Parametri H_{SM} , H_{0408} e H_{0711} ;

La finalità delle modellazioni è la valutazione dell'azione sismica attesa in superficie a seguito della sollecitazione propagata dalla sorgente sismica. L'azione sismica attesa sarà espressa in termini di accelerogrammi e spettri di risposta da cui si otterranno i fattori di amplificazione come descritto nel paragrafo 2.5.3.3.2 "Determinazione dei fattori FA e FV con input definito da spettro a probabilità uniforme" degli ICMS.

Le modellazioni numeriche saranno effettuate per tutte le microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), sia quelle definite come stabili suscettibili di amplificazione, sia quelle instabili, ad esclusione delle Z_{FR} qualora il corpo di frana abbia spessori inferiori ai 10 m, di quelle Z_{FR} già inserite nelle categorie P3-P4 del PAI, o già acquisite come vincolo territoriale a valle di precedenti studi di MS1 e dei buffer associati a Z_{FAC} o Z_{FPAC} .

La modellazione sarà attuata mediante modelli 1D, qualora le MOPS indagate rispondano al requisito che il sottosuolo sia riconducibile ad una geometria monodimensionale, ossia quando lo stesso può essere descritto con la sola sismostratigrafia del sito di interesse. Questa situazione si verifica in presenza di una successione stratigrafica orizzontale, sufficientemente estesa da non risentire di effetti bidimensionali.

Se le precedenti condizioni non sono verificate, per esempio in presenza di più complesse geometrie del sottosuolo o di superficie topografica articolata (rilievi, valli, morfologie sepolte, ecc.), le quali possono condizionare la propagazione del moto sismico, lo studio passerà al livello 3 e si procederà con le modellazioni 2D.

In entrambi i casi l'approccio numerico consiste nelle seguenti fasi:

- definizione del modello geologico dell'area interessata alla modellazione;
- caratterizzazione dinamica dei terreni coinvolti;
- utilizzo dell'input sismico;
- utilizzo di un codice di calcolo.

Definizione del modello geologico dell'area interessata alla modellazione

Il modello geologico da sottoporre ad analisi di risposta sismica locale dovrà derivare dalla sintesi delle indagini pregresse e dalle nuove acquisizioni effettuate a questo scopo per il sito in esame.

Tale modello potrà essere rappresentato da una o più sezioni geologico-tecniche, nel caso di analisi di tipo bidimensionale, oppure da un profilo sismostratigrafico 1D qualora il modello del sito sia concorde con un assetto stratigrafico di tipo piano-parallelo.

L'assetto sismostratigrafico desunto dalla definizione del modello geologico di riferimento, determinerà la scelta del tipo di approccio da utilizzare per le modellazioni numeriche.

Le simulazioni numeriche possono essere sviluppate con codici lineari o non lineari, se la risposta sismica locale è fortemente non lineare, per esempio con alti livelli di accelerazione e/o terreni molto soffici, è preferibile l'utilizzo di codici non lineari.

Caratterizzazione dinamica dei terreni coinvolti

La descrizione dei parametri di input del modello dovrà essere inclusa nella relazione.

Per ogni MOPS dovrà essere descritto come è stato determinato ogni parametro:

- valori di V_p (velocità di propagazione delle onde di volume);
- valori di V_s (velocità di propagazione delle onde di taglio);
- pesi di volume dei litotipi in oggetto;
- curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato G/G_0 e del rapporto di smorzamento D , in funzione della deformazione di taglio (γ) per ciascuno dei materiali presenti nel modello.

Qualora non si disponga di dati acquisiti ad hoc per le aree in esame si utilizzeranno i parametri presenti nelle banche dati nazionali ed internazionali, motivando debitamente la scelta adottata.

Si raccomanda di porre attenzione alla fase di discretizzazione per la corretta modellazione del sottosuolo.

Nel caso di modello monodimensionale, si tratta di definire in modo oculato lo spessore massimo Δh dei diversi strati presenti nel modello, il valore di Δh è determinato generalmente utilizzando la relazione:

$$\Delta h \leq \left(\frac{1}{8} \div \frac{1}{5}\right) \frac{V_s}{f_{max}}$$

dove V_s è la velocità delle onde di taglio del materiale che costituisce lo strato e f_{max} è la massima frequenza considerata nel modello numerico (in genere 20 Hz). Nel caso di strati molto potenti si dovrà procedere alla scomposizione degli stessi in strati di spessore adeguato.

Per la modellazione 2D, la dimensione degli elementi che compongono la mesh deve rispettare la medesima relazione sopra riportata, dove Δh rappresenta l'altezza degli elementi in modelli a maglie triangolari/quadrangolari e la lunghezza del lato minore in quelli a maglie triangolari.

Utilizzo dell'input sismico

Gli input sismici che dovranno essere utilizzati nelle modellazioni potranno essere forniti dalla Regione oppure scelti dal professionista, in ogni caso, l'incaricato dello studio, in un apposito capitolo della Relazione illustrativa, descriverà la scelta delle serie accelerometriche impiegate come input sismico per quel determinato territorio. Le serie temporali scelte, in numero di 7, saranno rappresentative della pericolosità sismica locale associata ad eventi con tempo di ritorno di 475 anni.

Le storie temporali utilizzate, presenti in banche dati nazionali e/o internazionali, saranno selezionate mediante le condizioni di sismocompatibilità (attinenza nei confronti della pericolosità sismica del sito e dello stile tettonico dell'area) e spettrocompatibilità nei confronti dello spettro target del sito (categoria A-T1), che rappresenta la stima semplificata della pericolosità sismica di base del sito.

Queste 7 serie temporali devono:

- essere rappresentative della sismicità del sito in termini di caratteristiche sismogenetiche della sorgente, condizioni del sito di registrazione, della magnitudo, della distanza dalla sorgente e dell'accelerazione orizzontale attesa al sito;
- essere scalati linearmente in ampiezza, nel caso di segnali provenienti da eventi di piccola magnitudo.

Qualora non sia possibile selezionare 7 accelerogrammi che soddisfino contemporaneamente tutte queste caratteristiche, il professionista darà precedenza alle serie temporali che soddisfino la spettrocompatibilità e che siano registrate su terreni di categoria A-T1.

Le storie temporali selezionate come input sismologico (comunque siano state scelte e scalate) vanno caricate nel software utilizzato per l'analisi di RSL e poste in corrispondenza dell'interfaccia tra substrato e coperture.

Utilizzo di un codice di calcolo

Le modellazioni numeriche potranno essere svolte con codici lineari equivalenti o non lineari, il sottosuolo sarà schematizzato attraverso una successione di strati sovrapposti, orizzontali ed omogenei (modello 1D), o da una o più sezioni geologico-tecniche (modello 2D o 3D), e discretizzato in una maglia di elementi le cui dimensioni devono soddisfare i parametri del modello geologico precedentemente stimato.

Per valutare le incertezze delle modellazioni eseguite sarà opportuno considerare la variazione dei risultati per ogni combinazione dei parametri del modello geologico (profilo delle Vs, decadimento del modulo di taglio normalizzato, smorzamento, ecc.) in relazione alle 7 storie accelerometriche. Per ogni MOPS i fattori di amplificazione negli intervalli di periodo considerati saranno ottenuti dalla media dei 7 accelerogrammi di output delle modellazioni.

8. STRUTTURA DELLA RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Di seguito si indicano i contenuti minimi per la Relazione illustrativa della MS2 e MS3:

1. Introduzione

Lettura critica della MS1: vengono messe in evidenza le problematiche emerse nel primo livello.

2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

Inserire la disaggregazione e definire la coppia magnitudo distanza per gli eventi caratteristici dell'area in esame.

3. Assetto geologico e geomorfologico dell'area

Breve sintesi delle peculiari caratteristiche geologiche e geomorfologiche dell'area.

4. Dati geotecnici e geofisici

Piano delle indagini che servono per sciogliere i dubbi del livello 1.
Elaborazioni dei dati (Misure geotecniche e geofisiche).

5. Modello del sottosuolo

6. Interpretazioni e incertezze

7. Metodologie di elaborazione e risultati

7.1 Studio dell'amplificazione locale

Input sismico

Modellazione numerica (1D o 2-3D)

Calcolo degli FA e FV

Calcolo dei parametri H_{SM} , H_{0408} e H_{0711}

Calcolo degli spettri di risposta (per il livello 3)

Incertezze sulla modellazione numerica

7.2 Analisi delle aree con fenomeni di instabilità

8. Elaborati cartografici (coordinare con pag. 50 e 51 degli standard informatici)

- Carta GT aggiornata;
- Carta delle MOPS aggiornata;
- Carte delle frequenze;
- Carta di amplificazione sismica;
- Descrizione/discussione delle carte di amplificazione sismica;

- Carta delle indagini;
- Carta delle velocità delle onde di taglio;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FAPGA;

- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0.1 - 0.5 s;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0.5 - 1.0 s;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0.5 - 1.5 s;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0.1 - 0.5 s;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0.4 - 0.8 s;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0.7 - 1.1 s;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - HSM0.1 - 0.5 s;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - H0.4 - 0.8 s;
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - H0.7 - 1.1 s;

9. Conclusioni

Sintesi critica dei risultati raggiunti.

Proposte di approfondimento per il 3° livello (solo per studi di 2° livello).

Indicazioni e contributi per la pianificazione territoriale e l'edificazione.

10. Bibliografia

11. Allegati

Sezioni litostratigrafiche.

Documento originale delle nuove indagini.

Eventuale Check List di cui all'appendice 8 e 9 degli "STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.2 - Roma, dicembre 2020".

9. STANDARD INFORMATICI

9.1 SPECIFICHE SUGLI STANDARD NAZIONALI

I riferimenti tecnici da seguire obbligatoriamente sono gli “*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, 2008)*”, comprensivi degli approfondimenti e delle linee guida, ai sensi di quanto previsto dall’art. 5, comma 3 dell’OPCM 3907/2010 e s.m.i..

In particolare, per quanto concerne le modalità di informatizzazione e la restituzione grafica delle carte in formato vettoriale, sono da seguire obbligatoriamente gli STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.x (ultima versione v.4.2, Roma, dicembre 2020) con i seguenti accorgimenti:

- a) Obbligatorietà del formato vettoriale per tutte le carte e della copia del documento originale delle indagini archiviato singolarmente;
- b) Georeferenziazione degli studi sulla cartografia regionale con le coordinate ad essa associate e successiva conversione nelle coordinate richieste dai suddetti standard;
- c) Redazione con relative implementazioni di informatizzazione delle seguenti carte aggiuntive:
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FPGA
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0105
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0510
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0105
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0408
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0711
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - HSM
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - H0408
 - Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - H0711

Quindi, oltre agli elaborati dei livelli di approfondimento precedenti, per le aree in cui viene effettuato il terzo livello di approfondimento dovranno essere forniti, come requisiti minimi nel caso di analisi di risposta sismica locale, gli spettri di risposta riferiti a tali aree, per un periodo di ritorno $TR = 475$ anni con smorzamento $\xi = 5\%$ e le mappe di amplificazione in termini di PGA, di FH per gli intervalli di integrazione 0.1-0.5 s e 0.5-1.0 s, FA e H_{SM} per i seguenti intervalli di integrazione: 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s.

A corredo devono essere prodotti anche i risultati delle prove per la definizione del modello geologico del sottosuolo e per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sia in campo statico che dinamico.

Qualora gli strumenti di pianificazione consentano la realizzazione di interventi nelle aree instabili, in quelle potenzialmente instabili e in quelle soggette a pericolosità di liquefazione e densificazione, dovranno essere forniti elaborati di quantificazione degli indici di pericolosità, degli spostamenti e dei cedimenti attesi. Tali valutazioni dovranno essere supportate da prove sperimentali in sito e in laboratorio e dovranno essere condotte in conformità ai principi e ai metodi della Geotecnica Sismica.

Nell’Allegato 1 – “LIQUEFAZIONE” sono indicate alcune procedure di riferimento.

Negli ambiti di studio in cui sono presenti aree suscettibili di liquefazione di estensione tale da comprendere più aggregati strutturali o aggregati strutturali estesi, se il numero delle verifiche lo consente, potrà essere effettuata una suddivisione del territorio in base al

valore dell'Indice potenziale di Liquefazione (IL), interpolando i risultati delle verifiche puntuali, in aree con pericolosità di liquefazione bassa ($0 < IL \leq 2$), media ($2 < IL \leq 5$), elevata ($5 < IL \leq 15$) o molto elevata ($IL > 15$).

- d) Consegna dei dati sia in coordinate native che riproiettate (vedi cap. 9.3 CONSEGNA DEI DATI).

Per tutti i documenti prodotti sarà onere dell'incaricato coordinare il proprio studio con quelli limitrofi, siano essi già eseguiti o in fase di espletamento, questo al fine di garantire una minima omogeneità tecnica ed informatica sull'intero territorio regionale.

Di seguito le specifiche dei suddetti accorgimenti:

a) Obbligatorietà del formato vettoriale per tutte le carte e della copia del documento originale delle indagini

Si richiede l'utilizzo della versione 4.x in formato shapefile con l'obbligatorietà del formato vettoriale per tutte le carte e le seguenti variazioni del manuale "STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.2 - Roma, dicembre 2020":

- a pag. 51 a fine paragrafo 1.2 aggiungere "A integrazione di quanto già previsto dagli ICMS, il capitolo 11 "Allegati" della Relazione illustrativa dovrà contenere obbligatoriamente anche il documento originale delle nuove indagini";
- a pag. 57 cancellare la parola "anche" dal primo capoverso; si rende obbligatorio il collegamento esterno alla documentazione originaria da fornire in formato .pdf;
- a pag. 58 cancellare la parola "eventuale" dal secondo capoverso; si rende obbligatorio il collegamento esterno alla documentazione originaria da fornire in formato .pdf e nominata con il codice identificativo {305} ID_INDPU della tabella "Indagini_puntuali" di pag. 57 o con il codice identificativo {355} ID_INDLN della tabella "Indagini_lineari" di pag. 58.

b) Georeferenziazione degli studi

La cartografia di base degli studi sarà la carta tecnica regionale numerica scala 1:5000 e conseguentemente le coordinate chilometriche che l'Amministrazione della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia è tenuta ad utilizzare sono quelle della proiezione cartografica nazionale ETRF2000 (RDN2008 – UTM33, EPSG6708).

Specificatamente per l'applicativo GIS ESRI il file preimpostato da utilizzare per il suddetto sistema di riferimento sarà ETRS_1989_ETRS-TM33.prj mentre in QGIS il Sistema Coordinate sorgente sarà EPSG: 6708 – RDN 2008 / UTM zone 33 (N-E).

In tale proiezione verranno digitalizzati e riversati i dati nativi che solo successivamente saranno riproiettati nel sistema di riferimento di coordinate WGS 84 / UTM zone 33N, corrispondente al codice univoco EPSG: 32633 secondo le specifiche dell'Appendice 6 del manuale "STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.2 - Roma, dicembre 2020".

c) Redazione con relative implementazioni di informatizzazione di carte aggiuntive

Per la redazione delle seguenti carte aggiuntive:

- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FPGA
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0105

- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0510
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0105
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0408
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0711
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - HSM
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - H0408
- Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - H0711

si richiedono le seguenti variazioni del manuale “STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.2 - Roma, dicembre 2020”:

- al paragrafo 1.1.5 per le suddette carte si specifica che:
 - layout, cartiglio e struttura della legenda rimangono i medesimi;
 - i titoli delle carte saranno quelli del precedente elenco puntato;
 - verranno rappresentate le voci degli shapefile poligonale “Stab” e “Instab” unicamente per il parametro indicato nel titolo della carta il cui valore è indicato nel rispettivo campo dei suddetti shape con simbologia e intervalli di classificazione secondo quanto illustrato in Figura 1.1.4.1-1 e Figura 1.1.4.2-2b degli Standard 4.2 e secondo le integrazioni a seguire;
 - il valore puntuale dell'Indice di Liquefazione (IL) verrà descritto anche in base alla pericolosità di liquefazione: bassa ($0 < IL \leq 2$), moderata ($2 < IL \leq 5$), elevata ($5 < IL \leq 15$) o molto elevata ($IL > 15$) con simbologia e intervalli di classificazione secondo le integrazioni a seguire.

Un esempio di legenda per un'ipotetica Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0.4 - 0.8 s potrebbe riportare quindi:

Zone suscettibili di instabilità

F.A. $0,4s \leq T \leq 0,8s = 2,3 - 2,4$



ZS - Zone di suscettibilità per le liquefazioni $2 < IL \leq 5$



ZS - Zone di suscettibilità per le liquefazioni $5 < IL \leq 15$

F.A. $0,4s \leq T \leq 0,8s = 2,5 - 3,0$



ZS - Zone di suscettibilità per le liquefazioni $2 < IL \leq 5$



ZS - Zone di suscettibilità per le liquefazioni $5 < IL \leq 15$

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



F.A. $0,4s \leq T \leq 0,8s = 2,3 - 2,4$



F.A. $0,4s \leq T \leq 0,8s = 2,5 - 3$

Valore puntuale dell'Indice di Liquefazione IL (Sonmez, 2003)

- Pericolosità di liquefazione potenzialmente bassa ($0 < IL \leq 2$)
- Pericolosità di liquefazione potenzialmente moderata ($2 < IL \leq 5$)
- Pericolosità di liquefazione potenzialmente elevata ($5 < IL \leq 15$)
- Pericolosità di liquefazione potenzialmente molto elevata ($IL > 15$)

- a pag. 100 e 101 aggiungere i seguenti campi alla tabella della struttura dello shapefile poligonale “Instab”:

Nome del campo	Tipo	Note
HSM	Numerico (precisione singola)	valore dello scuotimento in accelerazione (cm/s ²) atteso al sito per l'intervallo dei periodi $0,1s \leq T \leq 0,5$ (HSM)
H0408	Numerico (precisione singola)	valore dello scuotimento in accelerazione (cm/s ²) atteso al sito per l'intervallo dei periodi $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (H0408)
H0711	Numerico (precisione singola)	valore dello scuotimento in accelerazione (cm/s ²) atteso al sito per l'intervallo dei periodi $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (H0711)

- a pag. 110 aggiungere i seguenti campi alla tabella della struttura dello shapefile poligonale “Stab”:

Nome del campo	Tipo	Note
HSM	Numerico (precisione singola)	valore dello scuotimento in accelerazione (cm/s ²) atteso al sito per l'intervallo dei periodi $0,1s \leq T \leq 0,5$ (HSM)
H0408	Numerico (precisione singola)	valore dello scuotimento in accelerazione (cm/s ²) atteso al sito per l'intervallo dei periodi $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (H0408)
H0711	Numerico (precisione singola)	valore dello scuotimento in accelerazione (cm/s ²) atteso al sito per l'intervallo dei periodi $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (H0711)

- a pag. 113 aggiungere:

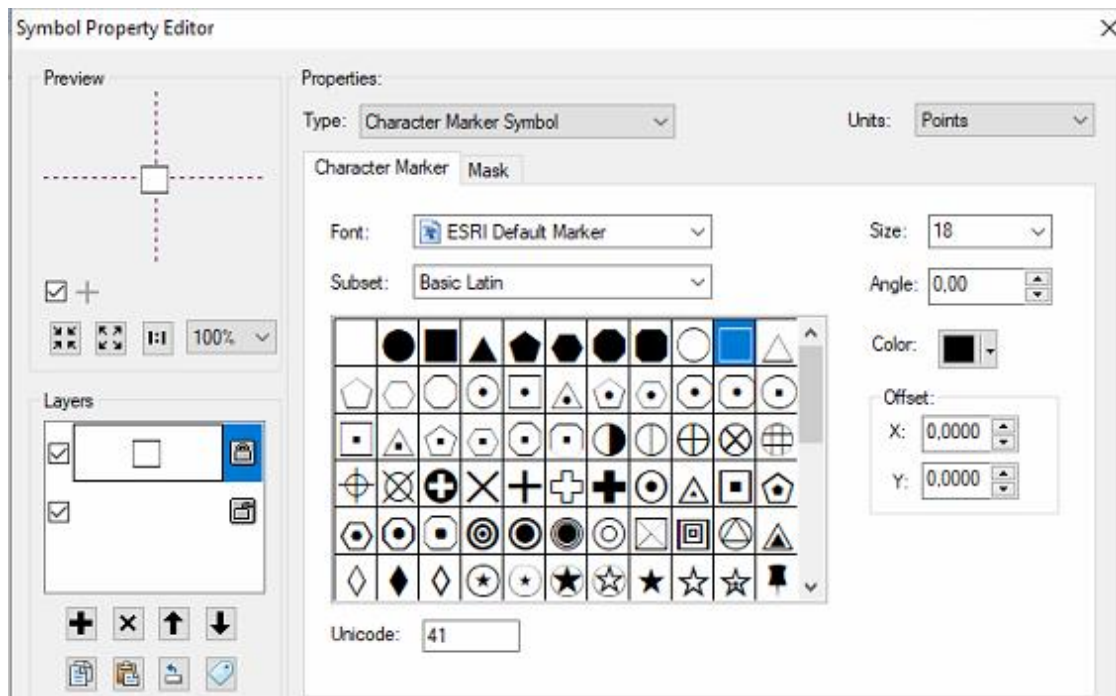
Simbologia (parametro liquefazione, Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FPGA, FH0105, FH0510, FA0105, FA0408, FA0711, HSM, H0408, H0711).

Parametro IL = valore puntuale dell'indice di Liquefazione IL, ovvero l'indagine puntuale con codice ID [304] = AL e cod [403] = IL (Indagine puntuale / Geotecnica in sito / Analisi di liquefazione / AL / Indice di liquefazione / IL) secondo la Tabella di decodifica delle indagini e dei parametri di cui al paragrafo 2.1.9.2 degli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.2, nello specifico pag. 70.

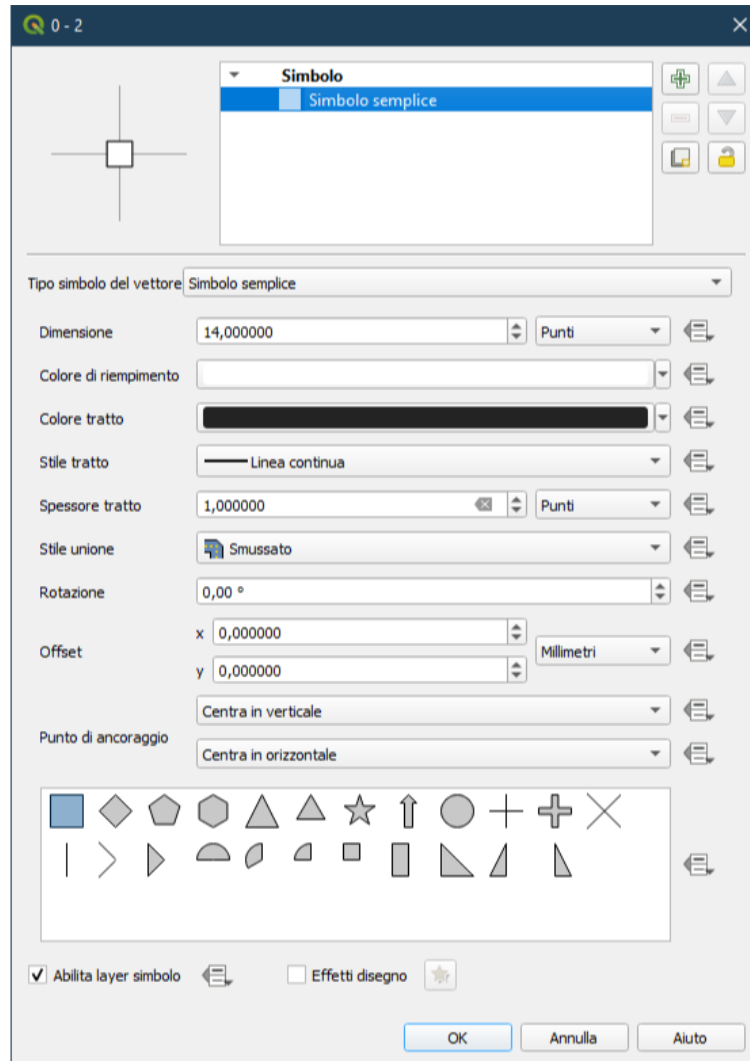
Parametro IL	Simbolo	Codice RGB
$0 < IL \leq 2$		255; 255; 255
$2 < IL \leq 5$	10 □	255; 255; 0
$5 < IL \leq 15$	□	255; 0; 0
$IL > 15$		169; 0; 230

L'etichetta del simbolo indicativamente sarà in Arial con grandezza 8 punti, posta in alto a destra.

In ESRI il simbolo utilizzabile è:



In QGIS indicativamente il simbolo utilizzabile è:



Simbologia (zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e zone instabili, Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FPGA, FH0105, FH0510, FA0105, FA0408, FA0711, HSM, H0408, H0711)

Parametro H	Simbolo e codice RGB
$H_{SM} \leq 0,21g$ $H_{0408} \leq 0,14g$ $H_{0711} \leq 0,09g$	204, 204, 204
$0,22g \leq H_{SM} \leq 0,38g$ $0,15g \leq H_{0408} \leq 0,25g$ $0,10g \leq H_{0711} \leq 0,16g$	0, 255, 255
$0,39g \leq H_{SM} \leq 0,54g$ $0,26g \leq H_{0408} \leq 0,34g$ $0,17g \leq H_{0711} \leq 0,22g$	85, 255, 0
$0,55g \leq H_{SM} \leq 0,70g$ $0,35g \leq H_{0408} \leq 0,45g$ $0,23g \leq H_{0711} \leq 0,29g$	255, 255, 0
$0,71g \leq H_{SM} \leq 0,85g$ $0,46g \leq H_{0408} \leq 0,55g$ $0,30g \leq H_{0711} \leq 0,35g$	255, 170, 0
$0,86g \leq H_{SM} \leq 0,99g$ $0,56g \leq H_{0408} \leq 0,65g$ $0,36g \leq H_{0711} \leq 0,45g$	252, 0, 0
$H_{SM} \geq 1g$ $H_{0408} \geq 0,66g$ $H_{0711} \geq 0,46g$	204, 0, 204

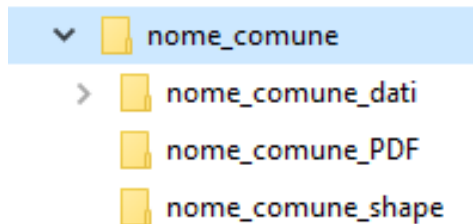
– a pag. 114 aggiungere:

Cartella	File	Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - HSM, H0408, H0711, FA0408, FA0711
MS23	Shapefile poligonale: "Instab"	
	Shapefile poligonale: "Stab"	
Indagini	Shapefile puntuale: "Ind_In"	

9.2 SPECIFICHE SUGLI STANDARD REGIONALI

a) Struttura di archiviazione

La struttura di archiviazione deve essere strutturata come la seguente figura:



Ovvero con i seguenti percorsi:

nome_comune\ nome_comune_dati

nome_comune\ nome_comune_PDF

nome_comune\ nome_comune_shape

Ovviamente alla dicitura “nome_comune” sarà sostituito il nome del comune oggetto della consegna.

b) Cartella nome_comune_dati

Per gli studi di microzonazione di 2 e 3 livello, si richiede ai professionisti incaricati di consegnare anche i dati originali delle misure effettuate o reperite.

Ogni indagine archiviata avrà la seguente dicitura:

- in caso di indagine puntuale nome_comune_ID_INDPU dove ID_INDPU equivale all'omonimo identificativo {305} della tabella “Indagini_puntuali”, di cui alla tabella 2.1.3 degli STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.2 con le decodifiche di cui alla tabella 2.1.9.2;
- in caso di indagine puntuale nome_comune_ID_INDLN dove ID_INDLN equivale all'omonimo identificativo {355} della tabella “Indagini_lineari”, di cui alla tabella 2.1.4 degli STANDARD DI RAPPRESENTAZIONE E ARCHIVIAZIONE INFORMATICA - Versione 4.2 con le decodifiche di cui alla tabella 2.1.9.2.

In particolare tutte le indagini HVSR dovranno contenere nelle testate informative del dato (header) le coordinate del punto di misura georeferenziate, in conformità a tutte le indagini presentate, le unità di misura e il passo di campionamento. Il formato richiesto sarà ASCII (formato SAF, come da protocollo SESAME) o altro formato sismologico standard (SAC, SEG-Y,...).

Analogamente anche tutte le indagini MASW dovranno contenere nelle testate informative del dato (header) le coordinate del punto di misura georeferenziate, in conformità a tutte le indagini presentate, le unità di misura e il passo di campionamento e il formato richiesto sarà ASCII o SEG-Y (o altro formato standard).

c) **Cartella nome_comune_PDF**

Questa cartella è stata predisposta per contenere le seguenti stampe digitali:

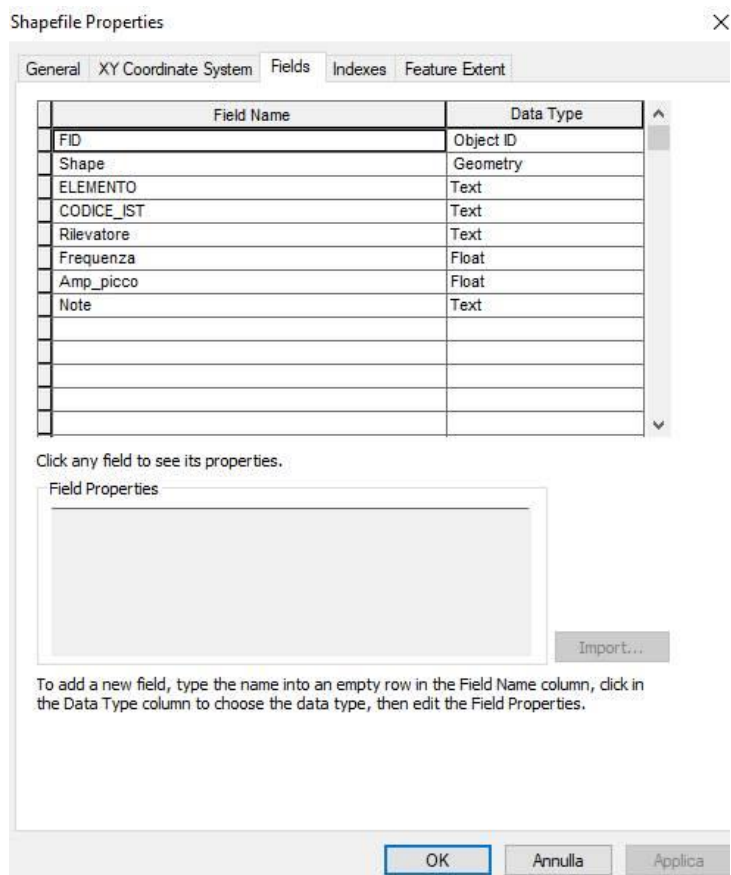
- *Carta_delle_indagini.pdf*
- *Carta_geologico_tecnica.pdf*
- *MS_01.pdf*
- *Relazione_illustrativa_nome_comune.pdf*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FPGA*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0105*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FH0510*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0105*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0408*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - FA0711*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - HSM*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - H0408*
- *Carta di microzonazione sismica (Livello 3) - H0711*

Cartella nome_comune_shape

Conterrà lo shape puntuale “punti misura” Punto_misura.shp. In questo shape dovranno essere riportati tutti i punti di misura delle frequenze naturali dei depositi sulla base di indagini speditive di sismica passiva HVSR o, se disponibili, da indagini di sismica attiva (registrazioni di terremoti). L'affidabilità delle coordinate dovrà essere almeno a scala 1:5000 e sarà dichiarato il risultato della prova (frequenza, ampiezza e tipologia del picco del grafico HVSR o indicazione dell'assenza di picco).

Nello specifico la struttura dello shape Punto_misura.shp, consegnata al Comune dall'Amministrazione regionale per il primo livello, è così articolata:

- **ELEMENTO:** numero elemento della CTRN; campo testo che consta di 6 caratteri;
- **CODICE_IST:** codice ISTAT, ossia numero identificativo del comune; campo testo che consta di 6 caratteri comprensivi dello 0 (zero) iniziale (es.: 093013). In allegato la lista dei comuni con i relativi codici ISTAT;
- **Rilevatore:** cognome e nome, scritti in minuscolo con iniziale maiuscola; campo testo che consta al massimo di 50 caratteri;
- **Frequenza:** misura di frequenza fondamentale in Herz; numero decimale per cui si richiedono due cifre dopo la virgola (precision = 4, scale = 2);
- **Amp_picco:** ampiezza del picco, ossia rapporto HVSE; numero decimale per cui si richiede una cifra dopo la virgola (precision = 3, scale = 1);
- **Tipo_picco:** tipologia del picco definita dalle seguenti lettere maiuscole U = unico, M = multiplo, P = plateau, ossia allargato, N= senza picco; campo testo che consta di un unico carattere;
- **Note:** specifica se il dato è “da bibliografia”, ovvero qualsiasi dato pregresso, o “da rilevamento”, ovvero effettuato appositamente nel contesto dello studio in atto per il livello 2 e/o 3; campo testo che consta al massimo di 30 caratteri.



d) Georeferenziazione degli studi

La cartografia di base degli studi sarà la carta tecnica regionale numerica scala 1:5000 e conseguentemente le coordinate chilometriche che l'Amministrazione della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia è tenuta ad utilizzare sono quelle della proiezione cartografica nazionale ETRF2000 (RDN2008 – UTM33, EPSG6708).

Specificatamente per l'applicativo GIS ESRI il file preimpostato da utilizzare per il suddetto sistema di riferimento sarà ETRS_1989_ETRS-TM33.prj mentre in QGIS il Sistema Coordinate sorgente sarà EPSG: 6708 – RDN 2008 / UTM zone 33 (N-E).

9.3 CONSEGNA DEI DATI

La consegna dei dati nazionali sarà effettuata mediante supporto informatico con struttura di archiviazione dei file in cartelle come a pag. 114 e 115 del sopracitato manuale di rappresentazione e archiviazione informatica, però replicata in due distinte cartelle: la prima conterrà i dati di tale struttura proiettati nelle coordinate native, ovvero ETRF2000 (RDN2008 – UTM33. EPSG6708), e la seconda i dati riproiettati nel sistema WGS 84 / UTM zone 33N (EPSG: 32633).

Nel medesimo supporto informatico verrà consegnata anche la cartella contenente i dati di cui agli standard regionali.

Ad avvenuta validazione della commissione nazionale dovranno essere riconsegnati tutti i dati corretti e validati (sia nativi che riproiettati) rispettando sempre la struttura di archiviazione richiesta.

10. PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO NEGLI STRUMENTI URBANISTICI

Con riferimento al recepimento degli studi di microzonazione sismica negli strumenti urbanistici si rimanda al contenuto del disposto normativo di cui all'art. 16 bis della L.R. 16/2009.

"Art. 16 bis

(Disposizioni in materia di microzonazione sismica)

1. Gli strumenti urbanistici generali, così come definiti dalla [legge regionale 5/2007](#), sono corredati di studi di microzonazione sismica, secondo quanto previsto dal documento "Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica", approvato dalla Conferenza Unificata delle Regioni e delle Province autonome in data 13 novembre 2008, nonché dalle specifiche emanate dalla Regione con deliberazione della Giunta regionale 13 settembre 2013, n. 1661 (Integrazioni agli indirizzi e criteri per la microzonazione sismica per gli studi da realizzarsi nell'ambito del territorio regionale (ai sensi dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907 e seguenti)).

2. Gli studi di cui al comma 1 sono applicati su quelle aree per le quali le condizioni normative consentono almeno uno dei seguenti utilizzi ovvero prevedono la loro potenziale trasformazione a tali fini:

- a)** scopi edificatori a prescindere dalla destinazione d'uso urbanistica;
- b)** realizzazione di infrastrutture;
- c)** interventi di protezione civile.

3. In sede di prima applicazione l'obbligo di recepire nello strumento urbanistico generale gli studi di cui al comma 1, ha efficacia decorsi trentasei mesi dall'entrata in vigore della [legge regionale 18 luglio 2014, n. 13](#) (Misure di semplificazione dell'ordinamento regionale in materia urbanistico-edilizia, lavori pubblici, edilizia scolastica e residenziale pubblica, mobilità, telecomunicazioni e interventi contributivi).

4. L'obbligo del recepimento degli studi di cui al comma 1 e approvati della Commissione tecnica regionale e dalla Commissione tecnica presso il Dipartimento della protezione civile in attuazione dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 13 novembre 2010, n. 3907, attuativa dell'[articolo 11 del decreto legge 28 aprile 2009, n. 39](#) (Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile), convertito, con modificazioni, dalla [legge 24 giugno 2009, n. 77](#), e successive ordinanze attuative, ha efficacia decorsi diciotto mesi dalla data di approvazione.

5. Le varianti agli strumenti urbanistici comunali, predisposte esclusivamente in recepimento degli studi di cui al comma 1, approvati della Commissione tecnica regionale e dalla Commissione tecnica presso il Dipartimento della protezione civile, in attuazione dell'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3907/2010, per l'annualità di finanziamento 2010, e successive ordinanze attuative, costituiscono varianti di livello comunale di cui all'[articolo 63 sexies della legge regionale 5/2007](#)."

Gli studi di MS rivestono una notevole importanza nella pianificazione territoriale, fornendo una base conoscitiva della pericolosità sismica locale, al fine di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico a varie scale, orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti, definire gli interventi ammissibili in una determinata area, programmare le indagini e i livelli di approfondimento, stabilire orientamenti, modalità e priorità di intervento nelle aree urbanizzate.

Nella pianificazione d'emergenza di livello comunale gli studi di MS consentono una migliore e consapevole individuazione degli elementi strategici di un piano di emergenza ed in generale delle risorse di protezione civile.

La conoscenza dei possibili effetti locali indotti da un evento sismico su un territorio contribuisce a:

- scegliere aree e strutture di emergenza ed edifici strategici in zone stabili;
- individuare, in caso di collasso, i tratti "critici" delle infrastrutture viarie e di servizio e le opere rilevanti per le quali potrebbero essere necessarie specifiche valutazioni di sicurezza.

Nella fase della ricostruzione, la microzonazione sismica:

- contribuisce a scegliere le aree per le abitazioni temporanee;
- fornisce elementi ai tecnici e amministratori, sull'opportunità di ricostruire gli edifici non agibili;
- contribuisce a scegliere nuove aree edificabili.

Nella progettazione di nuove opere o di interventi su opere esistenti, gli studi di MS evidenziano la presenza di fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche dell'area e di fenomeni di instabilità e deformazione permanente attivati dal sisma. Questi studi, quindi, possono offrire elementi conoscitivi utili per la progettazione di opere, con differente incisività in funzione del livello di approfondimento e delle caratteristiche delle opere stesse, indirizzando alla scelta delle indagini di dettaglio.

I livelli 1 e 2 di MS forniscono informazioni utili per la pianificazione territoriale, mentre il livello 3 può fornire indicazioni anche per la progettazione delle opere.

L'obbligo del recepimento, negli strumenti urbanistici, degli studi di microzonazione sismica e dei relativi risultati, con l'obiettivo di valutare la compatibilità delle previsioni contenute negli strumenti stessi nell'ottica della riduzione del rischio sismico, incombe non solo sui Comuni bensì anche su tutti gli altri soggetti cui la Legge attribuisce funzioni di pianificazione territoriale, i quali devono necessariamente coordinarsi con i Comuni per l'armonizzazione dei rispettivi strumenti urbanistici con lo strumento urbanistico generale comunale.

Come stabilito dal citato art. 16 bis della L.R. 16/2009, le varianti agli strumenti urbanistici comunali, predisposte esclusivamente in recepimento degli studi di MS approvati dalla Commissione tecnica regionale e ritenuti conformi dalla Commissione tecnica presso il Dipartimento della Protezione civile, costituiscono varianti c.d. "di livello comunale", disciplinate dall'art. 63 sexies della L.R. 5/2007 e non sono soggette alla verifica di conformità e alla conferma di esecutività da parte della Regione.

Il recepimento dello studio di MS può altresì avvenire anche con una variante al Piano o un nuovo Piano da approvarsi con la disciplina di cui all'art. 63 bis della L.R. 5/2007, in tal caso l'adempimento sarà sempre richiesto qualora il Comune non abbia ancora provveduto al recepimento con un'autonoma variante approvata ai sensi dell'art. 63 sexies della L.R. 5/2007.

Gli strumenti urbanistici comunali, nel recepire i contenuti del presente atto di indirizzo, devono essere corredati da uno specifico apparato normativo finalizzato alla riduzione del rischio sismico che deve contenere le indicazioni normative per la corretta applicazione dei risultati della

microzonazione sismica, anche al fine di favorire la programmazione degli approfondimenti conoscitivi da eseguire in fase di progettazione edilizia e di fornire gli elementi utili alla mitigazione del rischio sismico.

10.1 INDICAZIONI PER IL RECEPIMENTO DEGLI STUDI MS NEGLI STRUMENTI URBANISTICI COMUNALI

Considerata la necessità di avviare, anche a seguito delle prime esperienze di studi di microzonazione sismica di livello 2 e 3 in Regione, un percorso condiviso tra Direzioni regionali ed Enti locali al fine di costruire linee di indirizzo metodologiche per il recepimento degli studi negli strumenti urbanistici, anche eventualmente aggiornando il relativo quadro normativo di riferimento, allo stato attuale sono previste solo le seguenti indicazioni di carattere generale, per ciascun livello di approfondimento degli studi.

Livello 1

Gli studi di livello 1 sono propedeutici alla predisposizione di nuovi strumenti urbanistici generali o di loro varianti generali, questi sono altresì necessari qualora una variante allo strumento urbanistico preveda la trasformazione a scopi edificatori di aree non precedentemente indagate negli studi di livello 1 già approvati.

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), prevista negli studi di livello 1, ha la finalità di fornire: i primi indirizzi sulle scelte pianificatorie e di localizzazione orientando le stesse verso aree meno esposte alla pericolosità sismica; i primi indirizzi sugli interventi ammissibili in una determinata area e le relative modalità; la localizzazione degli elementi primari di carattere operativo logistico infrastrutturali in coerenza con la pianificazione dell'emergenza, predisponendo eventuali approfondimenti negli studi di MS di secondo e terzo livello.

Allo stato attuale già 200 studi di MS di primo livello sono stati approvati dalla Commissione tecnica regionale e ritenuti conformi dalla Commissione tecnica presso il Dipartimento della Protezione Civile.

Nel recepire gli studi di livello 1 gli strumenti urbanistici devono:

- integrare il quadro conoscitivo con una tavola che recepisca i perimetri individuati negli studi di MS1 come aree a minore pericolosità locale (Zone Stabili), le aree che necessitano di una seconda fase (Zone stabili suscettibili di amplificazione) o di una terza fase di approfondimento (Zone instabili) al fine di valutare la pericolosità sismica;
- individuare puntualmente le zone territoriali omogenee che ricadono nei perimetri di cui sopra;
- revisionare e integrare le Norme Tecniche di Attuazione relative a ciascuna delle ZTO ricadenti nelle aree in esame con opportune norme finalizzate alla mitigazione del rischio sismico con le quali verranno forniti gli indirizzi e le prescrizioni necessarie alla pianificazione attuativa e alla progettazione delle opere prioritariamente per le parti del territorio maggiormente esposte a pericolosità sismica.

Lo studio di MS1 costituito dalla Relazione illustrativa e dalle tavole di corredo, è allegato come parte integrante della variante al PRGC con la quale viene recepito.

Sul progetto di variante al Piano vigente o sul progetto di nuovo Piano, il Comune deve acquisire il parere del Servizio Geologico, prima della sua adozione, secondo la vigente disciplina di settore.

Livello 2

Lo studio di livello 2 è propedeutico alla predisposizione di nuovi strumenti urbanistici generali, o di loro varianti, qualora nel territorio comunale siano state individuate, negli studi di livello 1, "Zone stabili suscettibili di amplificazione".

Il secondo livello è richiesto, qualora non sia già stato validato dalla Commissione tecnica nazionale uno studio di livello 2 per l'area d'intervento, per la predisposizione e approvazione dei Piani Attuativi Comunali (PAC), sia di iniziativa pubblica che privata, ricadenti nelle "Zone stabili suscettibili di amplificazione locale".

La Carta di microzonazione sismica prevista nel livello 2 ha la finalità di definire nel dettaglio: la quantificazione dell'amplificazione sismica attesa in una determinata area; le aree che necessitano di ulteriori approfondimenti di livello 3, specificandone i limiti territoriali; le indagini e le analisi di approfondimento da effettuare.

Nel recepire gli studi di livello 2 gli strumenti urbanistici dovranno:

- aggiornare il quadro conoscitivo con una tavola che individua puntualmente le aree per le quali sono necessari e obbligatori gli approfondimenti di livello 3;
- revisionare e integrare le norme finalizzate alla riduzione del rischio sismico in cui verranno forniti indirizzi e prescrizioni necessarie alla pianificazione attuativa e alla progettazione delle opere per le parti del territorio maggiormente esposte a pericolosità sismica;
- definire le modalità attuative finalizzate alla riduzione del rischio sismico per i singoli ambiti e per le aree di nuova previsione, introducendo specifici obiettivi di prevenzione sismica.

Lo studio di MS2, costituito dalla Relazione illustrativa e dalle tavole di corredo, è allegato come parte integrante della variante al PRGC con la quale viene recepito.

Sul progetto di variante al Piano vigente o sul progetto di nuovo Piano, il Comune deve acquisire il parere del Servizio Geologico, prima della sua adozione, secondo la vigente disciplina di settore.

Livello 3

Lo studio di livello 3 viene effettuato per la predisposizione e approvazione degli strumenti urbanistici generali, o di loro varianti, al fine di quantificare le amplificazioni attese e gli effetti sismici attesi attraverso metodi avanzati fornendo gli spettri di risposta in accelerazione che caratterizzano la determinata microzona sismica omogenea comunale. Tale analisi consente di accertare gli effettivi fattori che limitano o condizionano le trasformazioni urbane nelle "Zone suscettibili di instabilità" individuate negli studi di livello 1 e nelle aree individuate negli studi di livello 2 in cui vi è l'obbligo di eseguire gli approfondimenti del livello 3.

Il terzo livello è richiesto, qualora non sia già stato validato dalla Commissione tecnica nazionale uno studio di livello 3 che comprenda anche l'area d'intervento, per la predisposizione e approvazione dei PAC, sia di iniziativa pubblica che privata, ricadenti nelle "Zone suscettibili di instabilità".

Lo studio di MS3 è richiesto per gli interventi per i quali la normativa vigente stabilisca che l'approvazione del progetto produca l'effetto di variante agli strumenti urbanistici, quali l'accordo

di programma di cui agli artt. 19 e 20, L.R. 7/2000, la variante di cui all'art. 12, L.R. 3/2001 e il provvedimento autorizzatorio unico regionale di cui agli artt. 27 bis e 27 ter del D.Lgs. 152/2006, ecc.

I progetti per gli edifici di interesse strategico e le opere infrastrutturali la cui funzionalità assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e per gli edifici che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso, dovranno prevedere approfondimenti tipici di uno studio di livello 3 con l'esecuzione di uno studio di Risposta sismica locale.

Nel recepire gli studi di livello 3, negli strumenti urbanistici, si dovranno integrare le Norme Tecniche di Attuazione con una disciplina finalizzata alla riduzione del rischio sismico in modo da orientare le modalità d'intervento nell'ambito delle strategie di mitigazione del rischio sismico e determinando le condizioni affinché la Carta di microzonazione sismica diventi uno strumento di riferimento di cui i progetti delle nuove costruzioni, o quelli di adeguamento e miglioramento del patrimonio edilizio esistente, ne tengano conto al fine di verificare la coerenza di quanto rilevato ai fini progettuali.

Lo studio di MS3, costituito dalla Relazione illustrativa e dalle tavole di corredo, è allegato come parte integrante della variante al PRGC con la quale viene recepito.

Sul progetto di variante al Piano vigente o sul progetto di nuovo Piano, il Comune deve acquisire il parere del Servizio Geologico, prima della sua adozione, secondo la vigente disciplina di settore.

Aree esentate dall'esecuzione degli studi di livello 2 e 3

La realizzazione degli approfondimenti di livello 2 e 3 non è prevista per:

- i PAC rientranti nelle "Zone Stabili" definite dalla carta delle MOPS di livello 1;
- le varianti al PRGC relative a parcheggi a raso, a nuove realizzazioni e/o adeguamenti o trasformazioni di tracciati stradali quali ad esempio le rotatorie in cui non sia prevista la realizzazione di opere rilevanti quali ad esempio ponti, viadotti, gallerie, sottopassi;
- le varianti al PRGC ovvero l'approvazione dei progetti che costituiscono variante secondo la normativa vigente e che non comportino un aumento della potenzialità edificatoria o una modifica delle strutture esistenti.

Contributo richiesto agli studi di livello 2 e 3 per la pianificazione urbanistica

Considerato che la pianificazione urbanistica e territoriale è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione del territorio tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi, ci si attende dagli studi di approfondimento di secondo e terzo livello un contributo tecnico per ampliare il quadro conoscitivo e la qualità della normativa inserita negli strumenti urbanistici locali, con riferimento ai parametri relativi alle destinazioni d'uso e agli usi ammissibili, alle categorie di interventi ammissibili e ai relativi indici, con specifiche e puntuali indicazioni per ciascuna area indagata.

I progettisti degli studi di MS2 e MS3 dovranno riferirsi ai contenuti delle linee guida nazionali e alle valutazioni della Commissione tecnica regionale per proporre all'interno della Relazione illustrativa, a conclusione delle analisi effettuate, norme e prescrizioni da includere negli strumenti urbanistici al fine di mitigare il rischio sismico.

I risultati e le proposte dei primi studi di MS2 e MS3 applicati sul territorio regionale verranno approfonditi e valutati in sede di Commissione regionale anche in condivisione con il Servizio

Pianificazione paesaggistica, territoriale e strategica, il Servizio Geologico e il Servizio della Protezione civile della Regione, al fine di predisporre eventuali ulteriori disposizioni normative o linee guida per il loro recepimento negli strumenti urbanistici e fornire indicazioni e principi generali per la traduzione dei contenuti degli studi nelle norme di attuazione valide per l'intero territorio regionale.

GLOSSARIO DEGLI ACRONIMI

a_{max}	Accelerazione massima
CD	Cedimenti differenziali
CGT	Carta geologico tecnica
CLE	Condizione Limite per l'Emergenza
CTRN	Carta tecnica regionale numerica
DAS	Densificazione indotta dall'azione sismica
DEM	Digital Elevation Model
FA	Fattore di amplificazione a bassi periodi come definito in ICMS 2008
FAC	Faglie attive e capaci
FH0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FH0510	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s
f_{max}	Frequenza massima
FPAC	Faglie potenzialmente attive e capaci
FPGA	Valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA
FR	Frane sismoindotte (Instabilità di versante)
FV	Fattore di amplificazione ad alti periodi come definito in ICMS 2008
H_{0408}	Valore del parametro Hsm calcolato nell'intervallo di integrazione 0.4-0.8 s
H_{0711}	Valore del parametro Hsm calcolato nell'intervallo di integrazione 0.7-1.1 s
H_{SM}	Parametro di pericolosità da microzonazione sismica, H=hazard, SM=seismic microzonation, come definito in ICMS 2022
HVSR	Horizontal to Vertical Spectral Ratios
ICMS	Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica
ID	Instabilità differenti
IL	Indice potenziale di Liquefazione
ISPRA	Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
log	Riproduzione grafica in scala 1:10 della parete di una trincea

LPI	Indice del potenziale di liquefazione
LQ	Liquefazione
MASW	Multichannel Analysis of Surface Waves
MOPS	Microzone omogenee in prospettiva sismica
MS	Microzonazione sismica
MS1	Microzonazione sismica di livello 1
MS2	Microzonazione sismica di livello 2
MS3	Microzonazione sismica di livello 3
Mw	Magnitudo momento
NTC	Norme tecniche per le costruzioni
PAC	Piani attuativi comunali
PAI	Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico
PRGC	Piano regolatore generale comunale
RSL	Risposta sismica locale
Uc	Fattore di uniformità
Vp	Velocità di propagazione delle onde di volume
Vs	Velocità di propagazione delle onde di taglio
ZA	Zone di Attenzione
ZA _{FAC}	Zone di Attenzione per Faglie attive e capaci
ZA _{FPAC}	Zone di Attenzione per Faglie potenzialmente attive e capaci
ZA _{FR}	Zone di Attenzione per instabilità di versante
ZA _{LQ}	Zone di Attenzione per la liquefazione
ZR	Zone di Rispetto
ZR _{FR}	Zone di Rispetto per instabilità di versante
ZR _{LQ}	Zone di Rispetto per la liquefazione
ZS	Zone di Suscettibilità
ZS _{LQ}	Zone Suscettibili di liquefazione

ALLEGATO 1 – LIQUEFAZIONE

Il presente allegato è stato curato da:

- dott.ssa Sara Amoroso, afferente dell'Università degli Studi "Gabriele d'Annunzio" di Chieti-Pescara e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Roma 1;
- dott. Luca Minarelli, afferente dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Sezione di Roma 1;
- dott. Alessandro Pagliaroli, afferente dell'Università degli Studi "Gabriele d'Annunzio" di Chieti-Pescara e dell'Istituto di Geologia Ambientale e Geoingegneria (IGAG) – Consiglio Nazionale delle Ricerche;
- dott.ssa Nadia Salvatore, afferente dell'Università degli Studi "Gabriele d'Annunzio" di Chieti-Pescara e dell'Università degli Studi di Catania.

STIMA DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE NEGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3

Nel seguito si fa riferimento ai metodi semplificati/empirici e a quelli di analisi dinamica semplificata generalmente adottati negli studi di suscettibilità alla liquefazione per studi di Microzonazione Sismica di livello 3. La trattazione dei metodi di analisi dinamica avanzata richiede l'approfondimento di molteplici aspetti, sia sulla modellazione numerica in campo dinamico che sui relativi modelli costitutivi in tensioni efficaci (semplificati e avanzati), che vanno oltre lo scopo di questo documento.

1. Fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione e rapporto di sforzo ciclico

Il Fattore di Sicurezza nei confronti della liquefazione (FS_L) può essere espresso come:

$$FS_L = (CRR_{7.5}/CSR) * MSF * K_\sigma \quad (1)$$

dove:

$CRR_{7.5}$ è il Rapporto di Resistenza Ciclica normalizzato per un terremoto di magnitudo M_W 7.5 ed una pressione di confinamento di 1 atmosfera, CSR è il Rapporto di Sforzo Ciclico, MSF è il fattore di scala della magnitudo, e K_σ è il fattore di correzione legato alle tensioni efficaci agenti.

Nei metodi semplificati il CSR è dato da:

$$CSR = 0.65 * (\sigma_{v0}/\sigma'_{v0}) * (a_{max}/g) * r_d \quad (2)$$

con σ_{v0} = tensione verticale totale, σ'_{v0} = tensione verticale efficace, g = accelerazione di gravità, a_{max} = accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero, r_d = coefficiente di riduzione degli sforzi di taglio in seguito alla deformabilità del deposito.

Nei metodi di analisi dinamica semplificata, il CSR è invece calcolato con l'espressione seguente:

$$CSR = 0.65 * (\tau_{max}/\sigma'_{v0}) \quad (3)$$

in cui τ_{max} = tensione tangenziale massima alla profondità di interesse calcolata mediante un'analisi di risposta sismica locale in tensioni totali.

1.1. Metodi per la stima della sollecitazione sismica

Per la stima della sollecitazione sismica nell'ambito dei metodi semplificati occorre stimare l'accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero a_{max} e la magnitudo momento M_W . La a_{max} , definita come l'accelerazione massima in superficie in condizioni di campo libero, è ricavabile da metodi approssimati (es. basati sulle categorie di sottosuolo delle NTC (2018)) o dalle analisi di risposta sismica locale in tensioni totali. Per la stima di M_W si fa riferimento a quanto consigliato nella Linee Guida MS (2018) e qui di seguito sintetizzato.

1.1.1. Magnitudo massima ($M_{W,max}$) dal catalogo DBMI15

Attraverso questo metodo, completamente deterministico, si considera la magnitudo massima registrata nel catalogo DBMI15 (Locati et al., 2022; <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>) riferita all'area di interesse. Nonostante il catalogo aggiornato riporti 3219 eventi e 123756 dati di intensità, il metodo presenta delle incertezze legate sia alla conversione empirica intensità-magnitudo, sia alla caratterizzazione dell'evento storico in sé. Non viene inoltre esplicitamente considerata la distanza sito-sorgente che, a parità di magnitudo, può produrre sollecitazioni tangenziali molto differenti. Non sempre poi nel catalogo sono riportate le località di interesse (es. località troppo piccole) quindi in tal caso la ricerca può essere estesa a località maggiori adiacenti.

1.1.2. Magnitudo massima ($M_{W,max}$) delle zone sismogenetiche e disaggregazione

Il metodo, come riportato nelle Linee Guida MS (2018), prevede l'utilizzo della zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti et al., 2004). Se l'area di interesse ricade in una delle 36 zone sismogenetiche, si assume come valore di M_W il valore della $M_{W,max}$ associato alla zona.

Nell'eventualità in cui il sito non ricada in alcuna zona sismogenetica, si determinano le minime distanze (R_i) del sito dalle zone sismogenetiche circostanti (i). Quindi si confronta, per ciascuna zona, la magnitudo della zona (M_i) con la magnitudo fornita dalla relazione:

$$M_{S_i} = 1 + 3 * \log(R_i) \quad (4)$$

Nel caso in cui esiste almeno una zona per cui M_{S_i} è minore rispetto al valore di M_i corrispondente, si assume come valore di M_W quello più alto tra le zone sismogenetiche circostanti.

Altrimenti, se tutte le M_{S_i} calcolate (Eq. 4) hanno valori superiori alle rispettive M_i , la M_W deve essere determinata con il metodo della disaggregazione, che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un'area.

La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo – distanza (M-R), come descritta nelle Linee Guida MS (2018), che fornisce i valori medi e modali di M e R, per ciascun comune italiano come riportato nella tabella Comuni_MR del CD-ROM allegato all'ICMS (2008). La disaggregazione è fornita per 9 periodi di ritorno: 30, 50, 72, 100, 140, 200, 475, 1000 e 2500 anni.

1.1.3. Metodo con codice di calcolo SASHA

Il metodo, implementato nel codice SASHA (D'Amico e Albarello, 2008), è descritto nelle Linee Guida MS (2018) – Parte II – Appendice A1 e consiste in una "analisi di disaggregazione" volta ad identificare gli eventi sismici del passato più rappresentativi della pericolosità locale. Il codice identifica, per ciascuna località capoluogo comunale, i valori delle intensità macrosismiche associate

ad un dato tempo di ritorno (per la MS il riferimento è 475 anni) e gli eventi storici che hanno maggiormente contribuito a tale pericolosità sismica. Fra questi eventi viene quindi selezionato quell'evento che ha fornito il maggior contributo. Di questo evento sono restituiti magnitudo macrosismica e distanza epicentrale come da catalogo sismico di riferimento.

Una mappa a scala nazionale con la magnitudo e la distanza di riferimento calcolata in accordo alla metodologia descritta è disponibile nel materiale supplementare allegato alle Linee Guida MS (2018). La Regione Friuli Venezia Giulia fornisce per questo metodo le mappe e le tabelle regionali con i parametri di riferimento (Figg. 1.1, 1.2, Tab. 1.1).

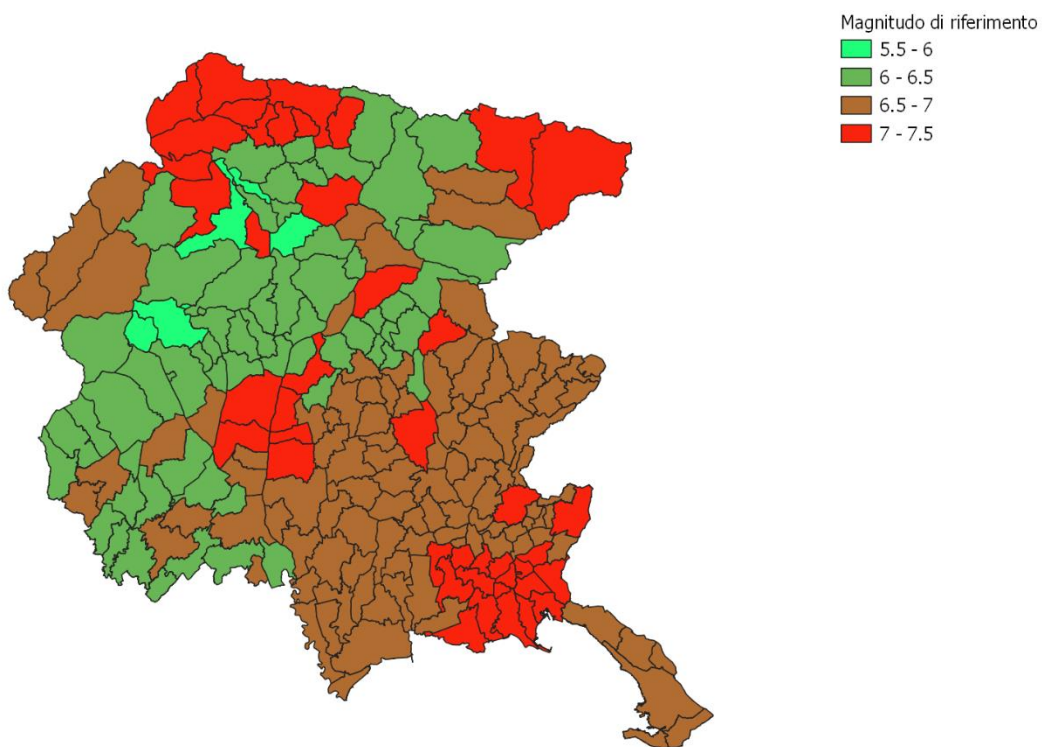


Fig. 1.1 – Mappa della magnitudo di riferimento della Regione Friuli Venezia Giulia

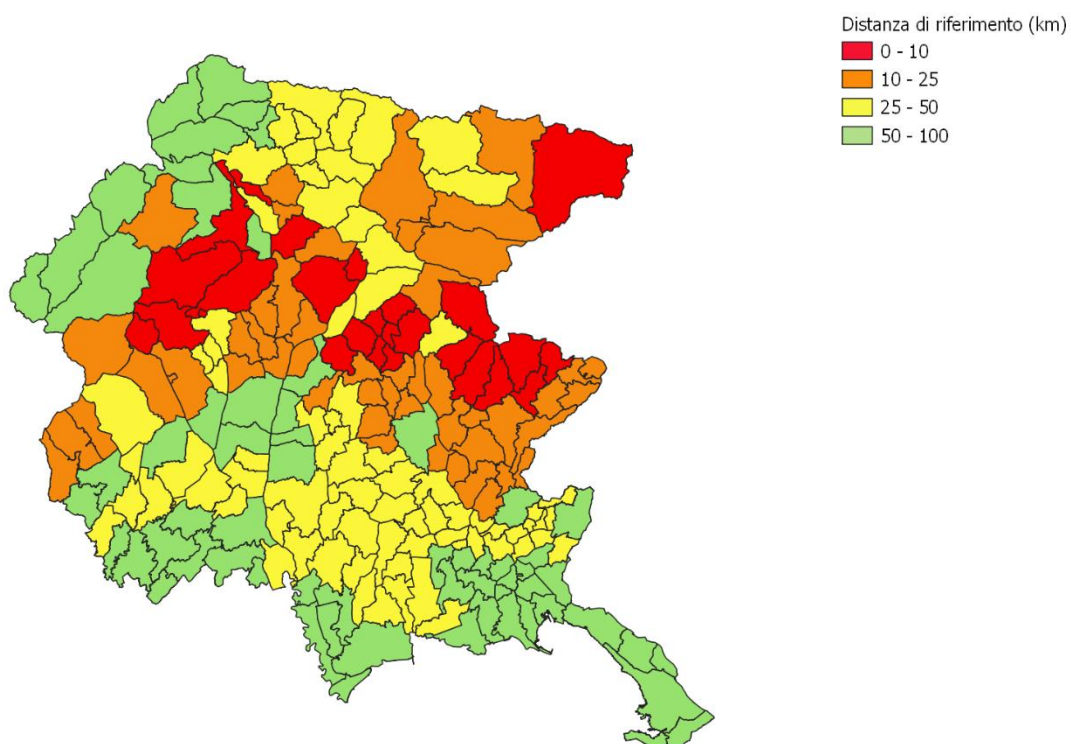


Fig. 1.2 – Mappa della distanza di riferimento della Regione Friuli Venezia Giulia

Tabella 1.1: Valori di riferimento $M_W - D$ per il calcolo del potenziale di liquefazione

CodISTAT	Denominazione	Nfelt	lrif	Mrif	Drif
6030001	Aiello del Friuli	7	7	7.02	80
6030002	Amaro	15	9	6.98	32
6030003	Ampezzo	21	8	7.02	60
6030004	Aquileia	8	7	7.02	91
6030005	Arta Terme	20	8	6.46	27
6030006	Artegna	17	8	6.46	3
6030007	Attimis	10	8	6.98	10
6030008	Bagnaria Arsa	5	7	7.02	79
6030009	Basiliano	6	8	6.98	32
6030010	Bertiolo	7	7	6.98	41
6030011	Bicinicco	6	7	6.98	32
6030012	Bordano	14	9	6.46	8
6030013	Buja	19	9	6.46	4
6030014	Buttrio	10	8	6.98	22
6030015	Camino al Tagliamento	7	7	6.98	48
6030016	Campofornido	9	8	6.98	29
6030018	Carlino	4	7	6.98	48
6030019	Cassacco	8	8	6.46	9
6030020	Castions di Strada	5	7	6.98	37
6030021	Cavazzo Carnico	14	8	6.46	15
6030022	Cercivento	30	8	7.02	42
6030023	Cervignano del Friuli	7	7	7.02	86
6030024	Chiopris-Viscone	6	7	6.98	31
6030025	Chiusaforte	14	9	6.98	25
6030026	Cividale del Friuli	25	8	6.98	12
6030027	Codroipo	25	7	6.98	44
6030028	Colloredo di Monte Albano	9	8	6.98	23

6030029	Comeglians	13	8	7.02	52
6030030	Corno di Rosazzo	6	7	6.98	22
6030031	Coseano	11	8	6.98	34
6030032	Dignano	12	8	7.02	72
6030033	Dogna	10	8	6.98	29
6030034	Drenchia	7	8	6.98	15
6030035	Enemonzo	15	8	6.46	26
6030036	Faedis	10	8	6.98	8
6030037	Fagagna	14	8	6.98	28
6030039	Flaibano	11	8	7.02	72
6030040	Forni Avoltri	20	7	7.02	58
6030041	Forni di Sopra	19	8	6.98	70
6030042	Forni di Sotto	13	8	6.04	15
6030043	Gemona del Friuli	34	9	7.02	46
6030044	Gonars	7	7	6.98	37
6030045	Grimacco	7	8	6.98	13
6030046	Latisana	18	7	6.98	58
6030047	Lauco	20	8	6.46	25
6030048	Lestizza	6	7	6.98	35
6030049	Lignano Sabbiadoro	3	7	6.98	61
6030051	Lusevera	10	9	6.46	11
6030052	Magnano in Riviera	17	9	6.46	5
6030053	Majano	16	9	6.46	7
6030054	Malborghetto Valbruna	7	8	7.02	11
6030055	Manzano	6	7	6.98	24
6030056	Marano Lagunare	9	7	6.98	52
6030057	Martignacco	13	8	6.98	24
6030058	Mereto di Tomba	9	8	6.98	34
6030059	Moggio Udinese	21	9	6.46	19
6030060	Moimacco	8	8	6.98	13
6030061	Montenars	12	9	6.46	5
6030062	Mortegliano	10	7	6.98	35
6030063	Moruzzo	11	8	6.98	25
6030064	Muzzana del Turgnano	4	7	6.98	48
6030065	Nimis	12	9	7.02	47
6030066	Osoppo	19	9	6.98	28
6030067	Ovaro	17	8	6.46	33
6030068	Pagnacco	10	8	6.98	20

6030069	Palazzolo dello Stella	6	7	6.98	52
6030070	Palmanova	20	7	6.98	34
6030071	Paluzza	24	8	7.02	40
6030072	Pasian di Prato	8	8	6.98	25
6030073	Paularo	14	8	6.46	32
6030074	Pavia di Udine	0	8	6.98	27
6030075	Pocenia	6	7	6.98	48
6030076	Pontebba	16	8	6.46	33
6030077	Porpetto	4	7	6.98	41
6030078	Povoletto	6	8	6.98	14
6030079	Pozzuolo del Friuli	7	8	6.98	30
6030080	Pradamano	7	8	6.98	21
6030081	Prato Carnico	17	8	7.02	56
6030082	Precenico	6	7	6.98	53
6030083	Premariacco	8	8	6.98	16
6030084	Preone	18	9	7.02	56
6030085	Prepotto	6	8	6.98	17
6030086	Pulfero	8	8	6.98	5
6030087	Ragogna	11	9	6.46	13
6030088	Ravaschetto	13	8	7.02	48
6030089	Raveo	13	9	5.59	0
6030090	Reana del Rojale	9	8	6.46	14
6030091	Remanzacco	6	8	6.98	15
6030092	Resia	11	9	6.46	21
6030093	Resiutta	13	9	6.46	19
6030094	Rigolato	10	8	7.02	53
6030095	Rive d'Arcano	10	8	6.46	15
6030097	Ronchis	6	7	6.98	55
6030098	Ruda	3	7	7.02	83
6030099	San Daniele del Friuli	21	8	7.02	62
6030100	San Giorgio di Nogaro	8	7	6.98	44
6030101	San Giovanni al Natisone	9	7	6.98	25
6030102	San Leonardo	7	8	6.98	11
6030103	San Pietro al Natisone	8	8	6.98	9
6030104	Santa Maria la Longa	6	7	6.98	31
6030105	San Vito al Torre	3	7	6.98	34
6030106	San Vito di Fagagna	11	8	6.98	30
6030107	Sauris	15	8	7.02	67

6030108	Savogna	7	8	6.98	9
6030109	Sedegliano	11	7	7.02	76
6030110	Socchieve	4	8	5.59	5
6030111	Stregna	6	8	6.98	14
6030112	Sutrio	20	8	6.46	32
6030113	Taipana	9	9	6.98	9
6030114	Talmassons	6	7	6.98	39
6030116	Tarcento	26	9	6.46	8
6030117	Tarvisio	11	8	7.02	9
6030118	Tavagnacco	4	8	6.98	20
6030120	Terzo d'Aquileia	4	7	6.98	45
6030121	Tolmezzo	35	8	7.02	45
6030122	Torreano	5	8	6.98	7
6030123	Torviscosa	4	7	6.98	43
6030124	Trasaghis	19	9	6.46	6
6030126	Treppo Grande	12	8	6.46	7
6030127	Tricesimo	12	8	6.98	17
6030128	Trivignano Udinese	7	7	6.98	29
6030129	Udine	56	8	7.02	62
6030130	Varmo	6	7	6.98	49
6030131	Venezzone	19	9	6.98	27
6030132	Verzegnis	6	9	5.84	2
6030133	Villa Santina	20	8	6.46	25
6030135	Visco	7	7	6.98	35
6030136	Zuglio	19	8	6.46	26
6030137	Forgaria nel Friuli	10	9	6.46	11
6030138	Campolongo Tapogliano	4	7	7.02	79
6030188	Rivignano Teor	7	7	6.98	47
6030189	Sappada	13	7	7.02	66
6030190	Fiumicello Villa Vicentina	4	7	7.02	87
6030191	Treppo Ligosullo	9	8	7.02	38
6031001	Capriva del Friuli	6	7	6.98	29
6031002	Cormons	13	7	7.02	69
6031003	Doberdò del Lago	2	7	7.02	82
6031004	Dolegna del Collio	6	7	6.98	19
6031005	Farra d'Isonzo	3	7	6.98	33
6031006	Fogliano Redipuglia	8	7	7.02	79
6031007	Gorizia	26	7	7.02	71

6031008	Gradisca d'Isonzo	9	7	6.98	35
6031009	Grado				
6031010	Mariano del Friuli	4	7	6.98	32
6031011	Medea	5	7	6.98	31
6031012	Monfalcone	11	7	7.02	86
6031013	Moraro	5	7	6.98	30
6031014	Mossa	6	7	6.98	30
6031015	Romans d'Isonzo	4	7	6.98	34
6031016	Ronchi dei Legionari	6	7	7.02	83
6031017	Sagrado	8	7	7.02	78
6031018	San Canzian d'Isonzo	5	7	7.02	86
6031019	San Floriano del Collio	7	7	6.98	27
6031020	San Lorenzo Isontino	6	7	6.98	31
6031021	San Pier d'Isonzo	4	7	7.02	82
6031022	Savogna d'Isonzo	5	7	6.98	34
6031023	Staranzano	11	7	7.02	86
6031024	Turriaco	5	7	7.02	85
6031025	Villesse	4	7	7.02	80
6032001	Duino-Aurisina	5	7	6.98	53
6032002	Monrupino	3	7	6.98	61
6032003	Muggia	4	7	6.98	71
6032004	San Dorligo della Valle	4	7	6.98	74
6032005	Sgonico	1	7	6.98	57
6032006	Trieste	56	7	6.98	66
6093001	Andreis	16	8	5.78	8
6093002	Arba	10	8	6.46	27
6093004	Aviano	27	7	6.46	46
6093005	Azzano Decimo	11	7	6.98	66
6093006	Barcis	14	8	6.32	14
6093007	Brugnera	9	7	6.48	46
6093008	Budoia	10	8	6.12	13
6093009	Caneva	13	8	6.12	14
6093010	Casarsa della Delizia	15	8	6.32	42
6093011	Castelnovo del Friuli	11	8	6.46	17
6093012	Cavasso Nuovo	19	8	6.46	27
6093013	Chions	0	7	6.48	63
6093014	Cimolais	14	8	6.98	77
6093015	Claut	28	8	6.98	71

6093016	Clauzetto	12	9	6.46	16
6093017	Cordenons	8	7	6.46	43
6093018	Cordovado	5	7	6.98	58
6093019	Erto e Casso	7	8	6.98	82
6093020	Fanna	19	8	6.46	29
6093021	Fiume Veneto	7	7	6.98	62
6093022	Fontanafredda	2	8	6.98	72
6093024	Frisanco	9	8	5.78	3
6093025	Maniago	31	8	6.04	18
6093026	Meduno	12	8	6.46	26
6093027	Monteale Valcellina	13	8	6.04	21
6093028	Morsano al Tagliamento	3	7	6.46	45
6093029	Pasiano di Pordenone	8	7	6.48	53
6093030	Pinzano al Tagliamento	8	9	6.46	15
6093031	Polcenigo	11	8	6.12	11
6093032	Porcia	11	8	6.46	49
6093033	Pordenone	43	7	6.46	47
6093034	Prata di Pordenone	9	7	6.48	51
6093035	Pravissdomini	2	7	6.48	58
6093036	Roveredo in Piano	12	7	6.46	46
6093037	Sacile	20	7	6.98	77
6093038	San Giorgio della Richinvelda	8	8	7.02	78
6093039	San Martino al Tagliamento	12	8	6.98	48
6093040	San Quirino	7	8	6.98	61
6093041	San Vito al Tagliamento	19	7	6.98	54
6093042	Sequals	14	8	6.46	24
6093043	Sesto al Reghena	5	7	6.48	67
6093044	Spilimbergo	26	8	7.02	72
6093045	Tramonti di Sopra	16	9	6.04	2
6093046	Tramonti di Sotto	16	9	6.04	3
6093047	Travesio	10	8	6.46	20
6093049	Vito d'Asio	10	9	6.46	12
6093050	Vivaro	12	8	6.98	52
6093051	Zoppola	12	7	6.32	37
6093052	Vajont	3	8	6.04	20
6093053	Valvasone Arzene	11	8	6.98	49

1.1.4. Criteri del *cut-off* magnitudo-distanza

Questi criteri empirici definiscono la massima distanza dall'epicentro di un sisma oltre la quale i fenomeni di liquefazione possono essere ragionevolmente esclusi. Le Linee Guida MS (2018) consigliano l'utilizzo di varie curve limite (o di *cut-off*) magnitudo M_W – distanza R di seguito richiamate. Queste curve possono essere usate in abbinamento ai metodi visti precedentemente per verificare se, per un dato valore di magnitudo, la distanza (a seconda del metodo applicato calcolata dalla sorgente/epicentro o derivante da disaggregazione) è effettivamente tale da poter indurre liquefazione. I criteri magnitudo-distanza, oltre ad essere affetti dall'incertezza del valore di M_W da dati storici, presentano notevoli incertezze dovute anche alle formule di stima dell'attenuazione con la distanza, per cui le diverse curve limite possono portare a diverse stime della distanza massima cui si verifica la liquefazione.

Le più utilizzate, come riportato dalle Linee Guida MS (2018), sono quelle derivanti dalle relazioni empiriche riportate nelle Eqs. 5, 6 e 7 e proposte rispettivamente da Seed et al. (1984), Ambraseys (1988), Galli (2000).

$$M_W = (\log(R) + 1.14)/0.463 \quad (5)$$

$$M_W = 4.64 + 2.65 * 10^{-3} * R + 0.99 * \log(R) \quad (6)$$

$$M_W = 2.75 + 2.0 * \log(R) \quad (7)$$

con la distanza R espressa in km.

Nel caso dell'Eq. 7 il metodo utilizza un database contenente esclusivamente eventi accaduti in Italia.

1.2. Metodi per la stima del rapporto di resistenza ciclica

I terreni oggetto di analisi di liquefazione, come precedentemente accennato, devono essere caratterizzati in base al profilo stratigrafico ricostruito lungo la verticale fino ad una profondità tipica di 20 m. Per la stima del Rapporto di Resistenza Ciclica normalizzato per un terremoto di magnitudo M_W 7.5 ($CRR_{7.5}$) si utilizzano prevalentemente i risultati di prove geotecniche in sito, come la prova penetrometrica dinamica SPT (Standard Penetration Test), la prova penetrometrica dinamica con maglio cinese DPT (Dynamic Penetration Test), la prova penetrometrica statica preferibilmente con punta elettrica CPTE (Cone Penetration Test) o con piezocono CPTU (Piezocone Test), la prova con dilatometro piatto DMT (Flat Dilatometer Test), o di metodi geofisici in foro (prove cross-hole CH, down-hole DH, cono sismico SCPT o piezocono sismico SCPTU, dilatometro sismico SDMT), che permettano la misura della velocità delle onde di taglio V_S , che permettano di ottenere un profilo di misura dettagliato per la velocità delle onde di taglio V_S (Fig. 1.3).

Considerando la tipologia di terreno prevalente nel profilo stratigrafico dei primi 20 m, si consiglia l'utilizzo delle prove in sito DPT (Cao et al., 2013; Rollins et al., 2021) e V_s (Rollins et al., 2022) per terreni ghiaiosi; SPT (Youd et al., 2001; Idriss & Boulanger, 2008; Boulanger & Idriss, 2014), CPT (Youd et al., 2001; Idriss & Boulanger, 2008; Boulanger & Idriss, 2014), DMT (Monaco et al., 2005; Tsai et al., 2009; Robertson, 2012; Marchetti, 2016), DMT e CPT (Marchetti, 2016), V_s (Andrus & Stokoe, 2000; Kayen et al., 2013) per i terreni sabbiosi.

Per i terreni a grana fine si faccia riferimento alle considerazioni fatte nel capitolo precedente, per quanto sia possibile valutarne la suscettibilità alla liquefazione attraverso i metodi semplificati proposti da Idriss & Boulanger (2008) e successivamente attraverso analisi di laboratorio avanzate, che non sono tuttavia oggetto del presente documento e non verranno perciò trattati.

Per la definizione di terreno ghiaioso e sabbioso si può fare riferimento agli standard di classificazione dei terreni ASTM D2487-17 (2017).

Di seguito si riportano i principali metodi utilizzati per la stima del *CRR* per ogni tipologia di prova. È raccomandabile applicare, per ogni tipologia di prova, più metodi per una stima più affidabile del *CRR* in sito (Robertson & Wride, 1998; Youd et al., 2001; Idriss & Boulanger, 2008).

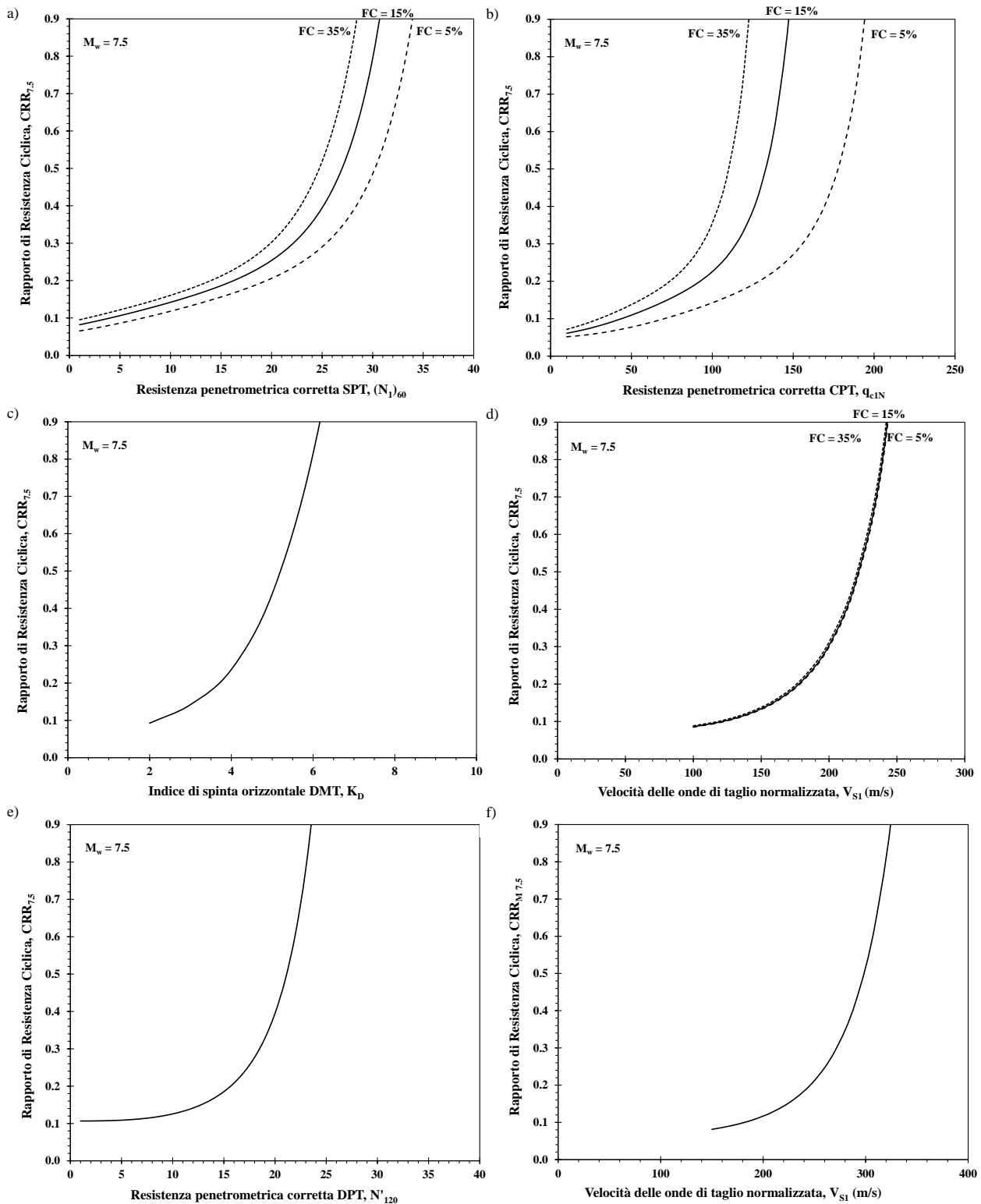


Fig. 1.3 – Abacchi per la determinazione del Rapporto di Resistenza Ciclica in terreni sabbiosi: a) da prove SPT (Idriss & Boulanger, 2008); b) da prove CPT (Idriss & Boulanger, 2008); c) da prove DMT (Monaco et al., 2005); d) da velocità delle onde di taglio V_s (Kayen et al. 2013); abacchi per la determinazione del Rapporto di Resistenza Ciclica in terreni ghiaiosi: e) da prove DPT (Rollins et al., 2021); f) da velocità delle onde V_s (Rollins et al., 2022).

1.2.1. Terreni sabbiosi

1.2.1.1. Metodi basati sui risultati di prove penetrometriche dinamiche (SPT)

Attraverso la prova SPT è possibile individuare una relazione tra la resistenza alla liquefazione del terreno e la resistenza penetrometrica N_{SPT} (numero di colpi per 30 cm di penetrazione). Il $CRR_{7.5}$ sarà tuttavia funzione non solo della resistenza penetrometrica corretta (Eq. 8), ma anche del contenuto di fine (FC). Dovranno essere perciò inclusi nell'analisi solo quei terreni di natura prevalentemente sabbiosa, escludendo gli strati con $FC > 50\%$.

1.2.1.1.1. Youd et al. (2001)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2 è necessario applicare dei fattori di correzione al valore di N_{SPT} , ottenendo un valore di resistenza alla penetrazione corretto per un'efficienza energetica del 60%,

N_{60} :

$$N_{60} = N_{SPT} * C_E * C_B * C_R * C_S \quad (8)$$

con

$$C_E = E_{HammerSPT}/60\% \quad (9)$$

dove $E_{HammerSPT}$ è l'energia trasferita dal maglio SPT all'asta al momento del colpo, in percentuale.

I fattori correttivi C_E, C_B, C_R, C_S sono descritti nella Tabella 1.2:

Tabella 1.2: Fattori correttivi per la resistenza alla penetrazione N_{SPT} (Robertson & Wride, 1998).

Fattore	Caratteristiche dell'attrezzatura di prova	Correzione
Rapporto energetico C_E	Maglio ad anello	0.5 – 1
	Maglio di sicurezza	0.7 – 1.2
	Maglio a rilascio automatico	0.8 – 1.3
Diametro foro C_B	65-115 mm	1.0
	150 mm	1.05
	200 mm	1.15
Lunghezza asta C_R	< 3 m	0.75
	3-4 m	0.8
	4-6 m	0.85
	6-10 m	0.95
	10-30 m	1.0
Metodo campionamento C_S	Campionatore standard	1.0
	Campionatore senza rivestimento	1.1 – 1.3

Per tenere in considerazione della profondità di esecuzione della prova il parametro N_{60} viene inoltre corretto rispetto alla profondità di esecuzione della prova con il fattore C_N , come definito da Liao & Whitman (1986) ottenendo il valore $(N_1)_{60}$ corretto rispetto ad una pressione di 100 kPa e un'efficienza energetica del 60%:

$$(N_1)_{60} = N_{60} * C_N \quad (10)$$

con

$$C_N = (100/\sigma'_{v0})^n \leq 1.7 \quad (11)$$

con $n = 0.5$

Il parametro $(N_1)_{60}$ viene ulteriormente corretto per ottenere un valore equivalente riferito a sabbie pulite, $(N_1)_{60CS}$:

$$(N_1)_{60CS} = \alpha + \beta * (N_1)_{60} \quad (12)$$

con

$$\alpha = 0 \text{ e } \beta = 1 \text{ se } FC \leq 5\% \quad (13a)$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (190/FC^2)] \text{ e } \beta = 0.99 + (FC^{1.5}/1000) \text{ se } 5\% < FC < 35\% \quad (13b)$$

$$\alpha = 5 \text{ e } \beta = 1.2 \text{ se } FC \geq 35\%. \quad (13c)$$

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Youd et al. (2001), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60CS}} + \frac{(N_1)_{60CS}}{135} + \frac{50}{(10 * (N_1)_{60CS} + 45)^2} - \frac{1}{200} \text{ se } (N_1)_{60CS} < 30 \quad (14)$$

Se $(N_1)_{60CS} \geq 30$ il terreno si considera troppo denso per essere soggetto a liquefazione.

Per il calcolo del CSR secondo l'Eq. 2, si utilizzino le seguenti relazioni di Liao & Whitman (1986) per la stima di r_d :

$$r_d = 1 - 0.00765 * z \text{ se } z \leq 9.15 \text{ m} \quad (15a)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 * z \text{ se } 9.15 < z \leq 23 \text{ m} \quad (15b)$$

dove z = profondità dal piano campagna. Per il calcolo di FS_L secondo l'Eq. 1 Youd et al. (2001) introducono inoltre le seguenti formule per la stima di MSF e K_σ :

$$MSF = 10^{2.24} / M_W^{2.56} \quad (16)$$

$$K_\sigma = (\sigma'_{v0}/100)^{(f-1)} \text{ se } \sigma'_{v0} > 100 \text{ kPa} \quad (17a)$$

$$K_\sigma = 1 \text{ se } \sigma'_{v0} \leq 100 \text{ kPa} \quad (17b)$$

con

$$f = 0.8 \text{ se } D_R < 40\% \quad (18a)$$

$$f = 0.8 - 0.005 * (D_R - 40) \text{ se } 40\% \leq D_R \leq 80\% \quad (18b)$$

$$f = 0.6 \text{ se } D_R > 80\% \quad (18c)$$

È possibile calcolare la densità relativa D_R secondo quanto proposto da Rollins et al. (2020):

$$D_R = ((N_1)_{60CS}/60)^{0.5} \quad (19)$$

1.2.1.1.2. Idriss & Boulanger (2008)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2 Idriss & Boulanger (2008) utilizzano il parametro $(N_1)_{60}$ precedentemente definita da Youd et al. (2001), come visto nell'Eq. 8 e 10.

Per il calcolo del C_N si utilizzi l'Eq. 11 con

$$n = 0.784 - 0.521 * D_R \quad (20)$$

e D_R come da Eq. 19.

Il valore equivalente riferito a sabbie pulite, $(N_1)_{60CS}$, viene invece definito, introducendo la correzione per il fine $\Delta(N_1)_{60}$:

$$(N_1)_{60CS} = (N_1)_{60} + \Delta(N_1)_{60} \quad (21)$$

con

$$\Delta(N_1)_{60} = \exp[1.63 + (9.7/(FC + 0.01)) - (15.7/(FC + 0.01))^2] \quad (22)$$

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Idriss & Boulanger (2008), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{(N_1)_{60CS}}{14.1} + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{126} \right)^2 - \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{23.6} \right)^3 + \left(\frac{(N_1)_{60CS}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right] \quad (23)$$

Per il calcolo del CSR secondo l'Eq. 2 si utilizzino le seguenti relazioni di Idriss (1999) per la stima di r_d :

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) * M_W] \text{ se } z \leq 34 \text{ m} \quad (24)$$

con:

$$\alpha(z) = -1.012 - 1.126 * \sin(z/11.73 + 5.133) \quad (25a)$$

$$\beta(z) = 0.106 + 0.118 * \sin(z/11.28 + 5.142) \quad (25b)$$

Per il calcolo di FS_L secondo l'Eq. 1 Idriss & Boulanger (2008) introducono inoltre le seguenti formule per la stima di MSF e K_σ :

$$MSF = 6.9 * \exp(-M_W/4) - 0.058 \leq 1.8 \quad (26)$$

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma * \ln(\sigma'_{v0}/100) \leq 1.1 \quad (27)$$

con

$$C_\sigma = 1/(18.9 - 2.55 * (N_1)_{60}^{0.5}) \leq 0.3 \text{ e } (N_1)_{60} \leq 37 \quad (28)$$

1.2.1.1.3. Boulanger & Idriss (2014)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2 Boulanger & Idriss (2014) utilizzano le stesse equazioni viste per il metodo di Idriss & Boulanger (2008), tranne per l'Eq. 26 che diventa:

$$MSF = 1 + (MSF_{max} - 1) * [8.64 * \exp(-M_W/4) - 1.325] \leq 1.8 \quad (29)$$

con

$$MSF_{max} = 1.09 + ((N_1)_{60CS}/31.5)^2 \leq 2.2 \quad (30)$$

1.2.1.2. Metodi basati sui risultati di prove penetrometriche statiche (CPT)

Attraverso la prova CPT è possibile individuare una relazione tra la resistenza alla liquefazione del terreno e la resistenza penetrometrica q_c (resistenza alla penetrazione statica misurata alla punta). La procedura si basa sulla valutazione di un indice di comportamento del terreno I_c definito dalle seguenti equazioni (Robertson, 1990; Zhang et al., 2002):

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5} \quad (31)$$

con la resistenza alla penetrazione normalizzata Q definita come:

$$Q = [(q_c - \sigma_{v0})/100] * [100/\sigma'_{v0}]^n \quad (32)$$

e il rapporto di attrito normalizzato F dato da:

$$F = [f_s/(q_c - \sigma_{v0})] * 100 \quad (33)$$

dove f_s è la resistenza all'attrito del manicotto.

Imponendo inizialmente $n = 1.0$ in Eq. 32, si procede iterativamente al calcolo di Q , F e I_c finché $\Delta n < 0.01$. Se $\sigma'_{v0} > 300 \text{ kPa}$ (Robertson & Wride 1998, Zhang et al., 2002)

$$\text{se } I_c \leq 1.64, n = 0.5 \quad (34a)$$

$$\text{se } 1.64 < I_c < 3.30, n = (I_c - 1.64) * 0.3 + 0.5 \quad (34b)$$

$$\text{se } I_c \geq 3.30, n = 1 \quad (34c)$$

$$\text{Se } \sigma'_{v0} > 300 \text{ kPa}, n = 1 \quad (34d)$$

Quindi, essendo il valore di $I_c = 2.6$ approssimativamente il limite tra terreni classificabili da limi argillosi ad argille limose e quelli classificabili da sabbia limose a limi sabbiosi, per le analisi di liquefazione vanno considerati solo i dati derivanti da prova CPT con $I_c \leq 2.6$. Bisogna però tener conto del fatto che questo limite può essere opportunamente spostato tra 2.4 e 2.8 in base alle caratteristiche del terreno, come evidenziato da Boulanger & Idriss (2014).

1.2.1.2.1. Youd et al. (2001)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2 Youd et al. (2001) hanno ottenuto un valore di q_c normalizzato applicando il fattore correttivo per la profondità di esecuzione della prova C_N (Eq. 11) assumendo $n = 0.5$:

$$q_{c1N} = C_N * (q_c/100) \quad (35)$$

Il parametro q_{c1N} viene ulteriormente corretto per ottenere un valore equivalente riferito a sabbie pulite:

$$(q_{c1N})_{CS} = K_c * q_{c1N} \quad (36)$$

con

$$K_c = 1 \text{ se } I_c \leq 1.64 \quad (37a)$$

$$K_c = -0.403 * I_c^4 + 5.581 * I_c^3 - 21.63 * I_c^2 + 33.75 * I_c \text{ se } 1.64 < I_c \leq 2.60 \quad (37b)$$

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Youd et al. (2001), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = 0.833 * [(q_{c1N})_{CS}/1000] + 0.05 \text{ se } (q_{c1N})_{CS} < 50 \quad (38a)$$

$$CRR_{7.5} = 93 * [(q_{c1N})_{CS}/1000]^3 + 0.08 \text{ se } (q_{c1N})_{CS} \geq 50 \quad (38b)$$

Per il calcolo del CSR si utilizzino le Eq. 2 e 15, mentre per il MSF si utilizzi l'Eq. 16. Per il K_σ si utilizzi l'Eq. 17, con D_R dato dalla relazione proposta da Kulhawy & Mayne (1990) e semplificata per sabbie medie, pulite e non cementate:

$$D_R = (q_{c1NCS}/350)^{0.5} \quad (39)$$

1.2.1.2.2. Idriss & Boulanger (2008)

Come per il metodo di Youd et al. (2001), per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2 è necessario normalizzare la resistenza in punta come in Eq. 34, considerando per il parametro C_N (Eq. 11) il valore di n visto nell'Eq. 20, con D_R come da Eq. 39.

Il parametro q_{c1N} viene ulteriormente corretto per ottenere un valore equivalente riferito a sabbie pulite $(q_{c1N})_{CS}$ come:

$$q_{c1NCS} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (40)$$

con

$$\Delta q_{c1N} = [5.4 + (q_{c1N}/16)] \exp[1.63 + (9.7/(FC + 0.01)) - (15.7/(FC + 0.01))^2] \quad (41)$$

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Idriss & Boulanger (2008), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{q_{c1NCS}}{540} + \left(\frac{q_{c1NCS}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1NCS}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1NCS}}{114} \right)^4 - 3 \right] \quad (42)$$

Per il calcolo del CSR si utilizzano le Eq. 2, 24 e 25, mentre per il MSF l'Eq. 26. Per il K_σ si fa riferimento all'Eq. 27 considerando che l'Eq. 28 diventa:

$$C_\sigma = 1/(37.3 - 8.27 * (q_{c1N})^{0.264}) \leq 0.3 \quad (43)$$

1.2.1.2.3. Boulanger & Idriss (2014)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2 si utilizzano le stesse equazioni viste per il metodo di Idriss & Boulanger (2008), tranne per l'Eq. 41 che diventa:

$$\Delta q_{c1N} = [11.9 + (q_{c1N}/14.6)] \exp[1.63 + (9.7/(FC + 2)) - (15.7/(FC + 2))^2] \quad (44)$$

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Boulanger & Idriss (2014), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{q_{c1NCS}}{113} + \left(\frac{q_{c1NCS}}{1000} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1NCS}}{140} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1NCS}}{137} \right)^4 - 2.8 \right] \quad (45)$$

Per il MSF si applica l'Eq. 29, con l'Eq. 30 che diventa:

$$MSF_{max} = 1.09 + (q_{c1NCS}/31.5)^2 \leq 2.2 \quad (46)$$

1.2.1.3. Metodi basati sui risultati di prove con dilatometro piatto (DMT)

Attraverso la prova DMT è possibile individuare una relazione tra la resistenza alla liquefazione del terreno e il parametro di resistenza normalizzato K_D (indice di spinta orizzontale). Come per la prova CPT, la procedura si basa sulla valutazione di un indice di comportamento meccanico del terreno, definito come indice del materiale I_D secondo le equazioni proposte da Marchetti (1980), Marchetti & Crapps (1981):

$$I_D = (p_1 - p_0)/(p_0 - u_0) \quad (47)$$

dove p_0 è la prima lettura corretta (Eq. 48a), p_1 è la seconda lettura corretta (Eq. 48b) e u_0 la pressione neutra all'equilibrio (Eq. 48c):

$$p_0 = 1.05 * (A - Z_M + \Delta A) - 0.05 * (B - Z_M - \Delta B) \quad (48a)$$

$$p_1 = B - Z_M - \Delta B \quad (48b)$$

$$u_0 = p_2 = C - Z_M + \Delta A \quad (48c)$$

dove A è la lettura della pressione necessaria per controbilanciare la pressione del terreno ed iniziare il movimento della membrana del dilatometro piatto (pressione di distacco o lift-off), B è la lettura della pressione necessaria per ottenere una dilatazione del centro della membrana contro il terreno di 1.1 mm, ΔA e ΔB sono i parametri correttivi determinati mediante la calibrazione della membrana, Z_M è la deviazione dallo zero del manometro, C è la pressione di "richiusura" della membrana.

Essendo definito per $I_D = 1.2$ il limite tra limi e limi sabbiosi, nelle analisi di liquefazione si suggerisce di considerare i dati DMT corrispondenti ad un $I_D \geq 1.2$. Come per le prove CPT, Bisogna il valore soglia può essere opportunamente spostato ad 1.0 in base alle caratteristiche del terreno, come evidenziato da Robertson (2009).

L'indice di spinta orizzontale K_D è definito dalla seguente equazione:

$$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0} \quad (49)$$

I metodi DMT non prevedono una correzione riferita a sabbie pulite e non hanno una propria formulazione dei parametri r_d ed MSF , per i quali è necessario utilizzare le equazioni viste per i metodi CPT nel paragrafo 1.2.1.2. K_σ è assunto pari a 1.

1.2.1.3.1. Monaco et al. (2005)

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Monaco et al. (2005), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = 0.0107 * K_D^3 - 0.1741 * K_D^2 + 0.2169 * K_D - 0.1306 \quad (50)$$

1.2.1.3.2. Tsai et al. (2009)

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Tsai et al. (2009), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \left[\left(\frac{K_D}{8.2} \right)^3 - \left(\frac{K_D}{6.5} \right)^2 + \left(\frac{K_D}{2.5} \right) - 3.1 \right] \quad (51)$$

1.2.1.3.3. Robertson (2012)

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Robertson (2012), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = 93 * (0.025 * K_D)^3 + 0.08 \quad (52)$$

1.2.1.3.4. Marchetti (2016)

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Marchetti (2016), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{25 * K_D}{540} + \left(\frac{25 * K_D}{67} \right)^2 - \left(\frac{25 * K_D}{80} \right)^3 + \left(\frac{25 * K_D}{114} \right)^4 - 3 \right] \quad (53)$$

1.2.1.3.5. Chiaradonna & Monaco (2022)

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Chiaradonna & Monaco (2022), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \exp(0.001109 * K_D^4 - 0.00569 * K_D^3 + 0.000625 * K_D^2 + 0.221 * K_D - 2.8) \quad (54)$$

1.2.1.4. Metodi basati sui risultati di prove combinate CPT-DMT

Questa prova permette di correlare, attraverso media geometrica, il $CRR_{7.5}$ ottenuto attraverso il metodo di Idriss & Boulanger (2008) per CPT (paragrafo 1.2.1.2.2) con quello ottenuto col metodo di Marchetti (2016) per DMT (paragrafo 1.2.1.3.4). Per questo dovranno essere considerati solo quei dati che presentino un valore di $I_c \leq 2.6$ per la prova CPT e un valore di $I_D \geq 1.2$ per quella DMT.

1.2.1.4.1. Marchetti (2016)

La correlazione tra q_{c1NCS} e K_D sarà data da:

$$q_{c1NCS} = 25 * K_D \quad (55)$$

Il valore finale di $CRR_{7.5}$ sarà, così come proposto da Marchetti (2016), la media geometrica tra le Eq. 42 e l'Eq. 53:

$$CRR_{7.5} = [(CRR_{7.5} \text{ da } q_{c1NCS} - \text{Eq. 41}) * (CRR_{7.5} \text{ da } K_D - \text{Eq. 52})]^{0.5} \quad (56)$$

1.2.1.5. Metodi basati sulle misure di velocità delle onde di taglio (V_S)

Attraverso i profili di velocità delle onde di taglio V_S è possibile individuare una relazione tra la resistenza alla liquefazione del terreno e la velocità di propagazione delle onde stesse, partendo dal presupposto che $CRR_{7.5}$ e V_S sono influenzati in modo simile, anche se non proporzionale, dalle caratteristiche del terreno.

La tecnica, che presenta diversi vantaggi pratici, va usata con cautela: (1) le misure di V_S sono riferite a piccole deformazioni, mentre la liquefazione avviene a medio-grandi deformazioni; (2) l'identificazione dei depositi non liquefacibili richiede comunque il prelievo di campioni per la classificazione del terreno; (3) i metodi geofisici non sempre consentono l'identificazione di strati sottili caratterizzati da bassi valori di V_S ; (4) la V_S nelle sabbie risente poco di alcuni fattori, come il rapporto di sovraconsolidazione, che invece influenzano fortemente la resistenza a liquefazione (Lai et al., 2009).

Una volta misurata, la V_S deve essere normalizzata alla pressione efficace di riferimento di 100 kPa:

$$V_{S1} = V_S * (100/\sigma'_{v0})^{0.25} \quad (57)$$

Dovranno comunque essere inclusi nell'analisi solo quei terreni di natura prevalentemente sabbiosa, escludendo gli strati con $FC > 50\%$.

1.2.1.4.2. Andrus & Stokoe (2000)

Il $CRR_{7.5}$, così come proposto da Andrus & Stokoe (2000), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = [0.022 * (V_{S1}/100)^2 + 2.8 * (1/(V_{S1}^* - V_{S1}) - (1/V_{S1}^*))] \quad (58)$$

dove V_{S1}^* è il limite superiore di V_{S1} per il verificarsi della liquefazione assunto pari a:

$$V_{S1}^* = 215 \text{ m/s per } FC \leq 5\% \quad (59a)$$

$$V_{S1}^* = 215 - 0.5*(FC-5) \text{ m/s per } 5\% < FC < 35\% \quad (59b)$$

$$V_{S1}^* = 200 \text{ m/s per } FC \geq 35\% \quad (59c)$$

Per il calcolo di r_d si utilizzi l'Eq. 14, per l'MSF (Idriss, 1999) si avrà che:

$$MSF = 6.9 * \exp(-M_W/4) - 0.06 \text{ per } M_W > 5.2 \quad (60a)$$

$$MSF = 1.82 \text{ per } M_W \leq 5.2 \quad (60b)$$

1.2.1.4.3. Kayen et al. (2013)

Il $CRR_{7,5}$, così come proposto da Kayen et al. (2013), sarà dato da:

$$CRR_{7,5} = \exp \left[\frac{(0.0073 * V_{S1})^{2.8011} - 2.6168 * \ln(M_W) - 0.0099 * \ln(\sigma'_{v0}) + 0.0028 * FC + 0.4809 * 0.15}{1.946} \right] \quad (61)$$

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2, la V_S misurata deve essere corretta come in Eq. 57. La formula per il calcolo di r_d diventa:

$$r_d = (1 + X_1)/(1 + X_2) \quad (62)$$

dove

$$X_1 = \frac{-23.013 - 2.949 * a_{max} + 0.999 * M_W + 0.0525 * V_{S,12m}^*}{16.258 + 0.201 * e^{0.341 * (-z + 0.0785 * V_{S,12m}^* + 7.586)}} \quad (63a)$$

e

$$X_2 = \frac{-23.013 - 2.949 * a_{max} + 0.999 * M_W + 0.0525 * V_{S,12m}^*}{16.258 + 0.201 * e^{0.341 * (0.0785 * V_{S,12m}^* + 7.586)}} \quad (63b)$$

con z = profondità in metri, misurata nel punto medio dello strato critico e $V_{S,12m}^* = V_S$ media misurata nei primi 12.2 m della verticale.

Il MSF viene calcolato come:

$$MSF = 15 * M_W^{-1.342} \quad (64)$$

Si consideri $K_\sigma = 1$.

1.2.2. Terreni ghiaiosi

1.2.2.1. Metodi basati sui risultati di prove penetrometriche dinamiche (SPT)

I metodi basati sui risultati delle prove SPT sono quelli già illustrati nel paragrafo 1.2.1.1, ma sono sconsigliati perché la presenza di clasti di dimensioni superiori a quelli considerati per la messa a punto della prova, sviluppata per le sabbie, può portare a sovrastimare la resistenza alla penetrazione del terreno (AGI, 2005).

1.2.2.2. Metodi basati sui risultati di prove penetrometriche dinamiche con maglio cinese pesante (DPT)

Attraverso la prova DPT (Cao et al., 2013; Rollins et al., 2021) è possibile individuare una relazione tra la resistenza alla liquefazione del terreno e la resistenza penetrometrica N_{DPT} (numero di colpi per 10 cm di penetrazione). Il CRR sarà tuttavia funzione non solo della resistenza penetrometrica corretta (Eq. 66), ma anche del contenuto di fine (FC). Dovranno essere perciò inclusi nell'analisi solo quei terreni di natura prevalentemente ghiaiosa che presentino un valore di $FC \leq 50\%$.

Il vantaggio nell'utilizzo della prova DPT in terreni ghiaiosi si trova innanzitutto nella maggiore capacità di penetrazione in questo tipo di terreni rispetto alla prova SPT, che tende a sovrastimare la D_R in caso di presenza di materiale grossolano. Inoltre, la prova DPT può essere considerata continua, con una risoluzione decisamente più alta della SPT e una capacità di individuare alternanze di strati anche sottili maggiore rispetto ad una V_S .

Per le specifiche dell'attrezzatura richiesta per la prova DPT e le modalità di esecuzione si può far riferimento all'Allegato 1 e ai relativi riferimenti bibliografici.

1.2.2.2.1. Cao et al. (2013)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2 Cao et al. (2013) utilizzano il parametro N_{DPT} definito in precedenza corretto rispetto al rapporto energetico ER_{DPT} secondo le relazioni:

$$N_{120} = N_{DPT} * 3 * ER_{DPT} \quad (65a)$$

$$ER_{DPT} = (E_{HammerDPT}/E_{ChineseDPT}) \quad (65b)$$

dove $E_{HammerDPT}$ è l'energia trasferita dal maglio DPT all'asta al momento del colpo, in percentuale. Essendo C_N come da Eq. 11 assumendo $n = 0.5$, avremo che:

$$N'_{120} = N_{120} * C_N \quad (66)$$

Considerato che il dataset utilizzato da Cao et al. (2013) fa riferimento ad un singolo evento sismico (M_w 7.9), l'abaco proposto da Cao et al. (2013) è stato normalizzato a M_w 7.5, come suggerito da Rollins et al. (2021):

$$CRR_{7.5} = \exp\left[\frac{(-8.4 + 0.35 * N'_{120} - \ln((1 - 0.15)/0.15))}{2.12}\right] / 0.87 \quad (67)$$

A questo punto è possibile calcolare la densità relativa come riportato da Rollins et al. (2020):

$$D_R = (N'_{120}/70)^{0.5} \quad (68)$$

Per il calcolo di r_d si utilizzi l'Eq. 15 e per il MSF l'Eq. 16 Si consideri $K_\sigma = 1$.

1.2.2.2.2. Rollins et al. (2021)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2 il parametro N'_{120} è determinato con le stesse equazioni viste per il metodo di Cao et al. (2013) nel paragrafo 1.2.2.2.1.

Il $CRR_{7.5}$, proposto da Rollins et al. (2021) sulla base di un dataset di 137 siti (17 terremoti avvenuti in 7 differenti), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \exp[(-1.32 + 0.0008 * N'_{120} - \ln((1 - 0.15)/0.15))/5.2] \quad (69)$$

Per il calcolo della densità relativa D_R si utilizzi l'Eq. 68, mentre per r_d si utilizzino le Eq. 24 e 25, mentre l'Eq. 16 diventa:

$$MSF = 7.258 * \exp(-0.264 * M_w) \quad (70)$$

Si consideri $K_\sigma = 1$.

1.2.2.3. Metodi basati sulle misure di velocità delle onde di taglio (V_S)

Attraverso i profili di velocità delle onde di taglio V_S è possibile individuare una relazione tra la resistenza alla liquefazione del terreno e la velocità di propagazione delle onde stesse, partendo dal presupposto che $CRR_{7.5}$ e V_S sono influenzati in modo simile, anche se non proporzionale, dalle caratteristiche del terreno. Dovranno essere inclusi nell'analisi solo quei terreni di natura prevalentemente ghiaiosa che presentino un valore di $FC \leq 50\%$. I limiti della prova sono gli stessi visti nel paragrafo 1.2.1.4.

1.2.2.3.1. Cao et al. (2011)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2, la V_S misurata deve essere corretta come in Eq. 57.

Considerato che il dataset utilizzato da Cao et al. (2011) fa riferimento ad un singolo evento sismico ($M_W = 7.9$), l'abaco proposto da Cao et al. (2011) è stato normalizzato a $M_W = 7.5$, come suggerito da Rollins et al. (2022):

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{-11.97 + 0.039 * V_{S1} - \ln((1 - 0.15)/0.15)}{1.77} \right] / 0.87 \quad (71)$$

Per il calcolo di r_d si utilizzi l'Eq. 15 e per il MSF l'Eq. 16. Si consideri $K_\sigma = 1$.

1.2.2.3.2. Rollins et al. (2022)

Per arrivare al calcolo delle Eq. 1 e 2, la V_S misurata deve essere corretta come in Eq. 57.

Il $CRR_{7.5}$, proposto da Rollins et al. (2021) sulla base di un dataset di 137 siti (17 terremoti avvenuti in 7 differenti), sarà dato da:

$$CRR_{7.5} = \exp \left[\frac{3.88 * 10^{-7} * V_{S1}^3 - 12 - \ln((1 - 0.15)/0.15)}{4.95} \right] \quad (72)$$

La formula per il calcolo di r_d è quella proposta nell'Eq. 24. Si ha che:

$$MSF = 10.667 * \exp(-0.316 * M_W) \quad (73)$$

Si consideri $K_\sigma = 1$.

1.3. Indici di severità alla liquefazione

Una volta ottenuto il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione FS_L con uno dei metodi sopra indicati è possibile ricavare le classi di suscettibilità alla liquefazione attraverso gli indici di severità alla liquefazione. Nel presente documento viene presentato esclusivamente l'indice di potenziale liquefazione LPI come indice per determinare il potenziale di liquefazione nelle analisi con metodi semplificati, poiché richiesto nelle Linee guida MS (2018). Si ricorda tuttavia che in letteratura sono presenti diversi altri indici, come ad esempio (non esaustivo) L'Ishihara-inspired LPI (LPI_{ISH}) (Maurer et al., 2015), il liquefaction severity number (LSN) (Tonkin & Taylor, 2013), l'induced damage measurement (I_{AM}) (Di Ludovico et al., 2020).

1.3.1. Indice del potenziale di liquefazione (*LPI*)

L'Indice del Potenziale di Liquefazione *LPI*, proposto da Iwasaki et al. (1981), consiste in un parametro integrale calcolato lungo una verticale di 20 m, tenendo conto sia dello spessore dello strato liquefacibile che della sua vicinanza alla superficie libera, secondo la relazione:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) * w(z) * dz \quad (74)$$

con, come modificato da Sonmez (2003) e indicato sulle Linee Guida MS (2018) e l'Eurocode EC8 (2004):

$$F(z) = 1 - FS_L \text{ per } FS_L \leq 1.0 \quad (75a)$$

$$F(z) = 0 \text{ per } FS_L > 1.0 \quad (75b)$$

$$w(z) = 10 - 0.5 * z \text{ per } z \leq 20m \quad (75c)$$

Considerando le indicazioni delle Linee Guida MS (2018) e dell'Eurocode EC8 (2004) si utilizzino le classi di potenziale di liquefazione definite da Sonmez (2003):

Tabella 1.3: Classi pericolosità dell'indice *LPI* rispetto al potenziale di liquefazione (Somnez, 2003).

LPI	Potenziale di liquefazione
0	Non liquefacibile
0 – 2	Basso
2 – 5	Moderato
5 – 15	Alto
> 15	Molto alto

Sempre per quanto indicato nelle Linee Guida MS (2018), attraverso l'*LPI* è poi possibile fornire una stima della pericolosità e quindi definire le zone di suscettibilità alla liquefazione ZS_{LQ} , distinte nella rappresentazione cartografica in zone a media se $2 < LPI \leq 5$ e ad alta pericolosità se $5 < LPI \leq 15$, e le zone di rispetto ZR_{LQ} se $LPI > 15$. In quest'ultimo caso è indicato compiere ulteriori indagini per confermare la zona. Per ulteriori dettagli si veda il volume relativo alle Linee Guida MS (2018).

Bibliografia

- Ambraseys N.N. (1988) – *Engineering seismology*. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, **17** (1), 1-105.
- Andrus R.D., Stokoe K.H. (2000) – *Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity*. J. Geotech. Geoenvironmental Eng., **126** (11), 1015-1025.
- ASTM D2487-11 (2017) – *Standard practice for classification of soils for engineering purposes (Unified Soil Classification System)*. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA, 10 p.p.
- Boulanger R.W., Idriss I.M. (2014) – *CPT and SPT based liquefaction triggering procedure*. Report No. UCD/CGM-14/01, Center for Geotechnical Modelling, Department of Civil and Environmentally Engineering, Univ. California, California, 134 p.p.
- Cao Z., Youd T.L., Yuan X. (2011) – *Gravelly soils that liquefied during 2008 Wenchuan, China earthquake, $M_s=8$* . Soil Dyn. Earthq. Eng., **31**, 1132-1143.
- Cao Z., Youd T.L., Yuan X. (2013) – *Chinese dynamic penetration test for liquefaction evaluation in gravelly soils*. J. Geotech. Geoenviron. Eng., **139** (8), 1320-1333.
- Chiaradonna A., Monaco P. (2022) – *Assessment of liquefaction triggering by seismic dilatometer tests: comparison between semi-empirical approaches and non-linear dynamic analyses*. Proceedings of the 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Sydney.
- D'Amico V., Albarello D. (2008) - *SASHA: a computer program to assess seismic hazard from intensity data*. Seism. Res. Lett., 79, 5, 663-671.
- Di Ludovico M., Chiaradonna A., Bilotta E., Flora A., Prota A. (2020) – *Empirical damage and liquefaction fragility curves from 2012 Emilia earthquake data*. Earthq. Spectra, **36** (2), 507-536.
- Eurocode EC8 (2004) – *Design of structures for earthquake resistance: foundations, retaining structures and geotechnical aspects*. European Committee for Standardization (CEN), Brussels.
- Galli P. (2000) – *New empirical relationship between magnitude and distance for liquefaction*. Tectonophysics, **324**, 169-187.
- Idriss, I. M. (1999) – *An update to the Seed-Idriss simplified procedure for evaluating liquefaction potential*. In Proceedings, TRB Workshop on New Approaches to Liquefaction, Publication No. FHWA-RD-99-165, Federal Highway Administration, January.
- Idriss I.M., Boulanger R.W. (2008) – *Soil liquefaction during earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 237 p.p.
- ICMS (2008) – *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della protezione civile. Roma. 124 pp.

- Iwasaki T., Tokida K., Tatsuoka F. (1981) – *Soil liquefaction potential evaluation with use of the simplified procedure*. Proc. International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, **12**, 209-214.
- Kayen R., Moss R.E.S., Thompson E.M., Seed R.B., Cetin K.O., Der Kiureghian A., Tanaka Y., Tokimatsu K. (2013) – *Shear-wave velocity-based probabilistic and deterministic assessment of seismic soil liquefaction potential*. J. Geotech. Geoenviron. Eng., **139**, 3, 407-419.
- Kulhawy F.H., Mayne P.W. (1990) – *Manual on estimating soil properties for foundation design*. EPRI EL-6800, project 1493-6 final report, EPRI, Palo Alto, CA, USA. 308 pp.
- Liao S.S.C., Whitman R.V. (1986) – *Catalogue of liquefaction and non-liquefaction occurrences during earthquakes*. Res. Rep., Dept. of Civ. Eng., Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass. USA.
- Linee guida MS (2018) – *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ)*. Versione 1.0. Commissione tecnica per la microzonazione sismica. Roma. 32 pp.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A. (2022) - *Database Macrosismico Italiano (DBMI15)*. Versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>.
- Marchetti S. (1980) – *In situ tests by flat dilatometer*. J. Geotech. Eng. Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, **106** (GT3), 299-320.
- Marchetti S., Crapps D. K. (1981) – *Flat dilatometer manual*. Internal report of GPE
- Marchetti S. (2016) – *Incorporating the stress history parameter K_D of DMT into the liquefaction correlations in clean uncemented sands*. J. Geotech. Geoenviron. Eng., **142** (2).
- Maurer B.W., Green R.A., Taylor O.D.S. (2015) – *Moving towards an improved index for assessing liquefaction hazard: lesson from historical data*. Soil and Foundations., **55** (4), 778-787.
- Meletti C., Galadini F., Valensise G., Stucchi M., Basili R., Barba S., Vannucci G., Boschi E. (2004) - *Zonazione sismogenetica ZS9 [Data set]*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).
- Monaco P., Marchetti S., Totani G., Calabrese M. (2005) – *Sand liquefaction assessment by Flat Dilatometer Test (DMT)*. in Proc. 16th Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Sept. 2005.
- Robertson P.K. (1990) – *Soil classification using the cone penetration test*. Can. Geotech. J., **27** (1), 151-158.
- Robertson P. K., Wride C. E. (1998) – *Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test*. Can. Geotech. J., **35** (3), 442–459.
- Robertson P.K. (2009) – *CPT-DMT correlations*. J. Geotech. Geoenviron. Eng., **135** (11), 1762-1771.
- Robertson, P. K. (2012) - *Mitchell lecture. Interpretation of in-situ tests-Some insight*. Proc., 4th Int. Conf. on Site Characterization ISC-4, Balkema, Rotterdam, Netherlands, **1**, 3–24.

- Rollins K.M., Amoroso S., Milana G., Minarelli L., Vassallo M., Di Giulio G. (2020) – *Gravel liquefaction assessment using the dynamic cone penetration test based on field performance from the 1976 Friuli Earthquake*. J. Geotech. Geoenviron. Eng., **146** (6).
- Rollins K.M., Roy J., Athanasopoulos-Zekkos A., Zekkos D., Amoroso S., Cao Z. (2021) – *A new dynamic cone penetration test-based procedure for liquefaction triggering assessment of gravelly soils*. J. Geotech. Geoenviron. Eng., **147** (12).
- Rollins K.M., Roy J., Athanasopoulos-Zekkos A., Zekkos D., Amoroso S., Cao Z., Milana G., Vassallo M., Di Giulio G. (2022) – *A new V_S -based liquefaction triggering procedure for gravelly soils*. J. Geotech. Geoenviron. Eng., **148** (6).
- Seed R.B., Harder L.F. (1984) – *SPT-based analysis of cyclic pore pressure generation and undrained residual strength*. in Proceedings, Seed Memorial Symposium, 1990, J. M. Duncan, ed., BiTech Publishers, Vancouver, British Columbia, pp. 351–76.
- Sonmez H. (2003) – *Modification of the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol, Turkey)*. Environ. Geol., **44**, 862-871.
- Tonkin & Taylor (2013). *Liquefaction vulnerability study*. Tonkin and Taylor Report 52020.0200. February 2013. Report for New Zealand Earthquake Commission. http://www.eqc.govt.nz/sites/public_files/documents/liquefaction-vulnerability-study-final.pdf.
- Tsai P.H., Lee D.H., Kung G.T.C., Juang C.H. (2009) – *Simplified DMT-based methods for evaluating liquefaction resistance of soils*. Eng. Geol., **103**, 13-22.
- Youd T.L., Idriss I.M. (2001) – *Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of soils*. J. Geotech. and Geoenviron. Eng., **127** (4), 287-313.
- Zhang G., Robertson P.K., Brachman R.W.I. (2002) – *Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for lever ground*. Can. Geotech. J., **39**, 1168-1180.

IL SEGRETARIO GENERALE

IL PRESIDENTE