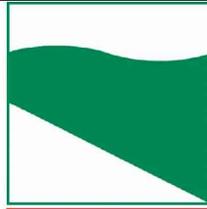




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di Polesine Zibello



<p>Regione</p> <p>Emilia-Romagna</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY www.engeo.it</p> <p>Direzione tecnica Dott. Geol. Carlo Caleffi Dott. Geol. Francesco Cerutti</p> <p>Collaboratori Dott. Geol. Matteo Baisi Dott. Geol. Alessandro Ferrari Dott.ssa Ing. Giulia Mainardi Dott.ssa Geol. Alessandra Cantoni Dott. Andrea Conti</p>	<p>Data</p> <p>Aprile 2020</p>
--------------------------------------	---	--------------------------------

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

INDICE

1.	Introduzione	2
1.1	Motivazione dello studio di terzo livello	3
1.2	Articolazione dello studio	4
2.	Indagini e analisi	6
2.1	Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono	6
2.2	Indagine mediante sismocono	10
3.	Analisi di risposta sismica locale	13
3.1	Pericolosità sismica di base	13
3.2	Segnali in input	14
3.3	Modello geofisico del sottosuolo	15
3.3.1	Litologia e Vs e bedrock sismico	15
3.3.2	Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidità (G/G ₀) in funzione della deformazione	16
3.4	Procedura di analisi RSL	18
3.4.1	Metodo lineare equivalente	18
3.4.2	Soluzione alla singola iterazione mediante FEM	20
3.4.3	Smorzamento	21
3.4.4	Procedimento iterativo	22
3.4.5	Interpretazione dei risultati	22
3.5	Analisi dei risultati	22
3.5.1	Risposta sismica locale SCPTU1-2018 Zibello	25
3.5.2	Risposta sismica locale SCPTU2-2018 Polesine	28
3.5.3	Risposta sismica locale SCPTU1-2019 Pieveottoville	32
3.6	Considerazioni sui risultati delle analisi di terzo livello	36
4.	Verifica del rischio di liquefazione	38
4.1	Premesse	38
4.2	Disaggregazione e magnitudo	42
4.3	Analisi dei risultati	44
5.	Elaborati cartografici	47
5.1	Carte delle indagini	47
5.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica	48
5.3	Carte delle frequenze naturali dei terreni	50
5.4	Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	52
5.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S	55
5.6	Carte di microzonazione sismica	56
5.7	Carte dello scuotimento atteso	58
6.	Bibliografia	59
7.	Allegati	62

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGIST</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	1 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello Studio di microzonazione sismica di terzo livello del Comune di Polesine Zibello, effettuato su incarico del Comune di Polesine Zibello (cfr. Determinazione n° 156 del 04/07/2019) e finanziato con contributi di cui alla Delibera di Giunta Regionale dell'Emilia Romagna 2245/2018.

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza e alla ricostruzione post sisma.

La MS consente di suddividere il territorio esaminato in base alla presenza e alla distribuzione dei fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento, legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche delle singole aree considerate e ai possibili fenomeni di instabilità e deformazione permanente in esse attivati dal sisma. L'insieme di queste conoscenze sul comportamento dei terreni durante un evento sismico, e sui possibili effetti indotti dallo scuotimento, è un indispensabile strumento di prevenzione e di riduzione del rischio sismico, particolarmente efficace, se realizzato e applicato durante la pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte di trasformazione verso aree a minore pericolosità.

Tutte le attività svolte e in particolare l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- Allegato A2 "Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei Comuni con $a_g < 0,125g$ " della deliberazione di Giunta regionale n. 2245 del 27/12/2018 "Approvazione dei criteri e delle indicazioni tecniche e procedurali per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei Comuni caratterizzati da a_g inferiore a $0,125g$ in attuazione all'art. 8 della L.R. n. 19/2008. Approvazione allegati A1 e A2" (da qui in avanti "Allegato A2 della delibera regionale")
- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" - Versione 4.1.1, Roma, novembre 2018 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (da qui in avanti "SRAI")
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (da qui in avanti "ICMS")
- Allegato A della deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2 maggio 2007: Approvazione dell'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", così come modificati dalle deliberazioni di Giunta regionale n. 2193 del 21.12.2015 e n. 630 del 29.04.2019

Nel corso dello studio sono stati redatti oltre alla presente relazione, gli elaborati elencati nel capitolo 5.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	2 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

Essi sono stati predisposti, oltre che in versione cartacea, in versione digitale (pdf, con risoluzione 300 dpi).

I dati cartografici sono forniti anche in formato vettoriale (shapefile).

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della delibera regionale e dagli SRAI (Standard di Rappresentazione e Archiviazione Informatica).

L'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri delle indagini è stato facilitato dall'utilizzo dell'apposito software: "MS – SoftMS" nella versione 4.1.1.

Va chiarito che gli standard e, in generale, i riferimenti tecnici sopra indicati, negli anni, sono stati soggetti a vari aggiornamenti che hanno portato a profonde modifiche, non solo nella metodologia di archiviazione dei dati e nella rappresentazione grafica dei differenti tematismi, ma anche di natura concettuale.

1.1 Motivazione dello studio di terzo livello

Il Comune di Polesine Zibello è già dotato di uno studio di microzonazione sismica di secondo livello di approfondimento, conforme agli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" e agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica", secondo quanto previsto dall'OCDPC 293/2015, come indicato nei verbali della riunione della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (ai sensi dell'OPCM 3907/2010, art. 5, comma 7) del 19 luglio 2018.

Nell'ambito di tale studio, per il territorio urbanizzato e urbanizzabile, definito in accordo con l'Amministrazione Comunale dei principali centri abitati, in cui sono stati reperiti dati geognostici in numero sufficiente da consentire una zonazione, è stata effettuata, tramite le procedure semplificate previste appunto dal secondo livello, una microzonazione con attribuzione di differenti fattori di amplificazione, che hanno lo scopo di consentire una valutazione comparativa della pericolosità sismica.

Tali studi hanno evidenziato come l'assetto geologico e geomorfologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di difficile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche raccolte.

Infatti, anche l'interpretazione delle indagini tomografiche effettuate non risulta sempre facile, poiché non sono presenti elevati contrasti di impedenza, visto che la differenza di velocità V_s tra i depositi coesivi e quelli sabbiosi non è elevata.

Il Comune di Polesine Zibello risulta inoltre caratterizzato da zone suscettibili di instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio e, più precisamente a fenomeni di liquefazione.

Queste zone, caratterizzate dalla presenza di importanti spessori di terreni granulari saturi nei primi 20 m da piano campagna, saranno oggetto della valutazione dell'effettivo grado di pericolosità, attribuendo una consistenza numerica a tale rischio, con la definizione dell'"Indice Potenziale di Liquefazione" LPI.

Conseguentemente, per migliorare il quadro delle conoscenze locali, si è richiesto di effettuare, all'interno del territorio comunale, anche uno studio con approfondimento di terzo livello e poter svolgere

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	3 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

un'analisi della risposta sismica locale in corrispondenza di alcune situazioni stratigrafiche tipo, al fine di dare più chiarezza circa la vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente e a verificare la validità del modello interpretativo applicato al secondo livello.

Per quanto non discusso e dettagliato nella presente relazione (sismicità storica, zonazione sismogenetica, raccolta dati, etc.), si rimanda alla relazione illustrativa dello studio di secondo livello.

1.2 Articolazione dello studio

Lo studio di microzonazione di terzo livello è stato articolato nelle seguenti fasi:

1. raccolta e analisi critica di ulteriori dati pregressi rispetto a quelli già inseriti nello studio di secondo livello;
2. individuazione di 3 aree rappresentative di una situazione stratigrafica tipo definita nell'analisi precedente;
3. realizzazione di 1 prova penetrometrica con sismocono e piezocono SCPTU fino a 15 m o rifiuto, per la misura in foro delle Vs, utilizzata anche per la verifica a liquefazione;
4. realizzazione di 9 prove penetrometriche con piezocono CPTU, spinte fino alla profondità di 15 m o rifiuto, per le verifiche a rischio liquefazione
5. aggiornamento con i dati delle nuove indagini e secondo gli indirizzi tecnici e gli standard più recenti delle seguenti cartografie:
 - Carta delle indagini
 - Carta geologico-tecnica
 - Carte delle frequenze naturali dei terreni
 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica
 - Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)
6. valutazione della risposta sismica locale, per i 3 siti individuati, mediante codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STACEC;
7. calcolo dei fattori di amplificazione, per i tre siti indagati, per un tempo di ritorno $TR=475$ anni, con smorzamento $\zeta =5\%$, relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:
 - $FA_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
 - $FA_{SA} = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T :
 - $SA1$ per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - $SA2$ per $0,4s \leq T \leq 0,8s$,

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	4 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

- SA3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$,
 - SA4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;
 - $FH_{SI} = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:
 - SI1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - SI2 per $0,5s \leq T \leq 1,0s$,
 - SI3 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.
8. redazione delle cartografie di microzonazione sismica Livello 3 relative agli 8 parametri indicati al punto 7, oltre che allo scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso al sito per gli intervalli di periodi:
- $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - H_{SM}),
 - $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM 0,4-0,8 s}$),
 - $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM 0,7-1,1 s}$),
 - $0,5s \leq T \leq 1,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM 0,5-1,5 s}$),
9. verifica a liquefazione su 17 verticali mediante il programma Cliq 2.0 della Geologismiki.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	5 di 62

2. INDAGINI E ANALISI

Di seguito vengono descritte le indagini e le analisi specifiche effettuate nel corso dello studio di microzonazione sismica di terzo livello.

Le aree di indagini, rappresentate graficamente in Fig. 1, sono state individuate principalmente sulla base degli studi di secondo livello.

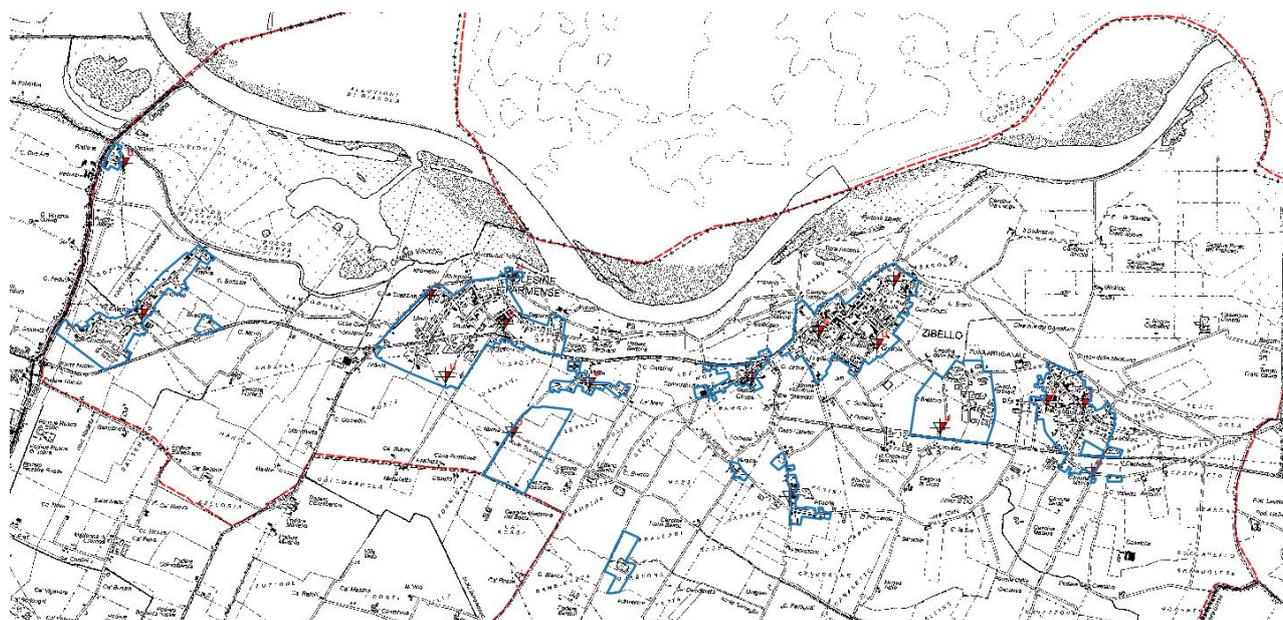


Fig. 1 – Stralcio ubicazione indagini effettuate per l'analisi di III livello

2.1 Prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono

Sono state eseguite 9 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono, e una prova penetrometrica statica con l'aggiunta di cono sismico. Le indagini sono state eseguite utilizzando un penetrometro GeoMill da 200 kN di spinta massima con punta Tecnopenta G1-CPL2IN, montato su autocarro Mercedes Unimog 4X4.

Ciascuna prova è consistita nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta elettrica dotata di piezocono, di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($V = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta, che agisce su una batteria di aste (aste cave con il cavo di trasmissione dati all'interno), alla cui estremità inferiore è collegata la punta con piezocono.

Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura estensimetrico collegato alla punta ed al manicotto dell'attrito laterale, e da un trasduttore di pressione per

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	6 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

la misura della pressione interstiziale dei pori, cioè il carico idraulico istantaneo presente nell'intorno della punta, attraverso un setto poroso opportunamente saturato e disareato.

I dati delle resistenze alla punta, al manicotto laterale, della pressione dei pori e dell'inclinazione della punta vengono registrate su supporti magnetici e successivamente elaborati.

Le dimensioni della punta/manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro di base del cono $\phi = 35.7$ mm
- area della punta conica $A_p = 10$ cm²
- angolo apertura del cono $B = 60^\circ$

Nei diagrammi e nelle tabelle consultabili nell'elaborato 7 "Nuove indagini" dello Studio di Microzonazione sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

- q_c (MPa) = resistenza alla punta (conica);
- f_s (kPa) = resistenza laterale (manicotto);
- U (kPa) = pressione dei pori (setto poroso).

I parametri sopra descritti sono rilevati ad intervalli regolari di 2 cm.

In Fig. 2 e Fig. 3 sono riportati, a titolo esemplificativo, i grafici che rappresentano le variazioni della resistenza alla punta (R_p) e della resistenza laterale (F_s) con la profondità, relativi alle 9 prove penetrometriche CPTU distribuite nelle diverse MOPS.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	7 di 62

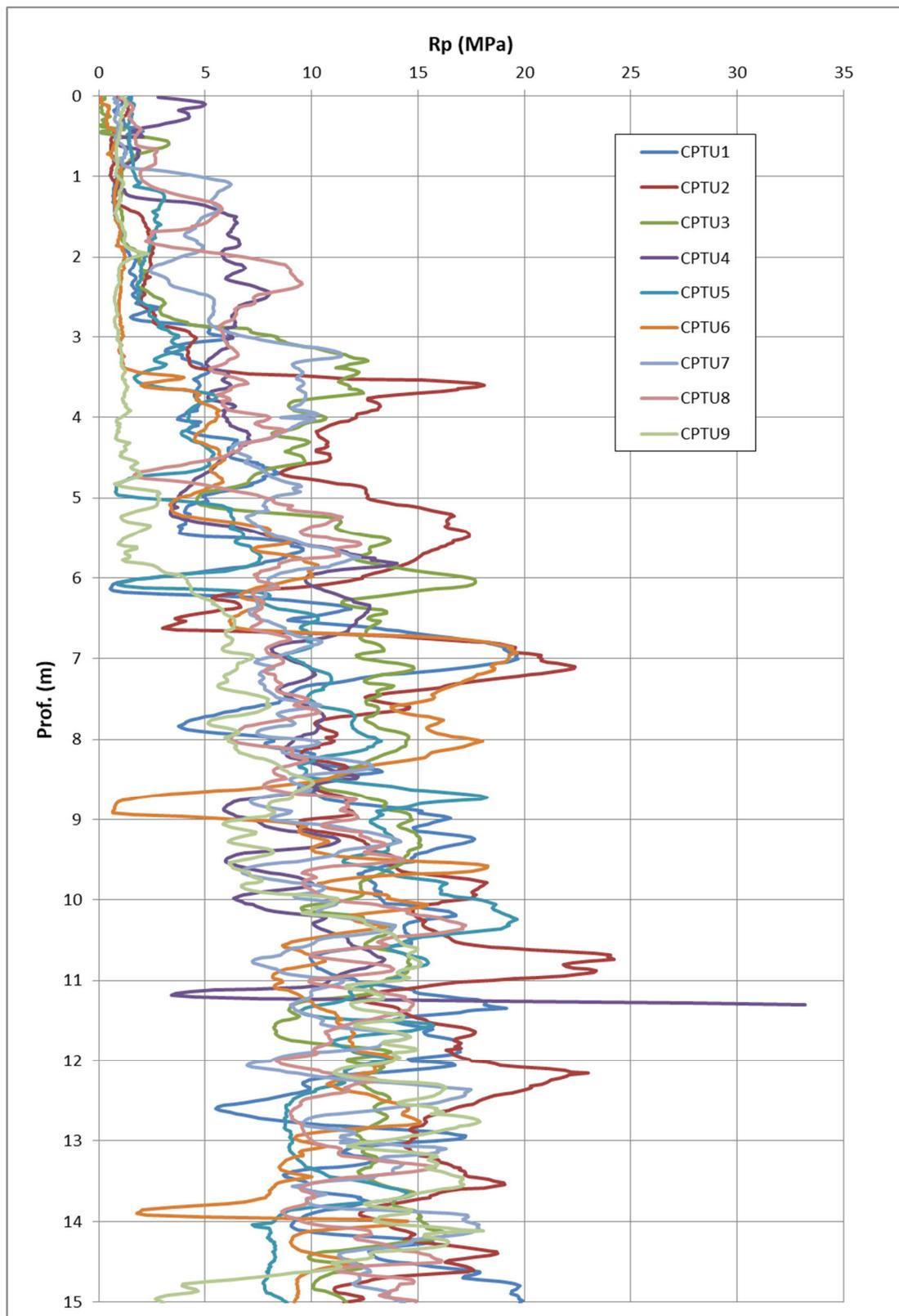


Fig. 2 – Rappresentazione grafica della resistenza alla punta (Rp) con la profondità

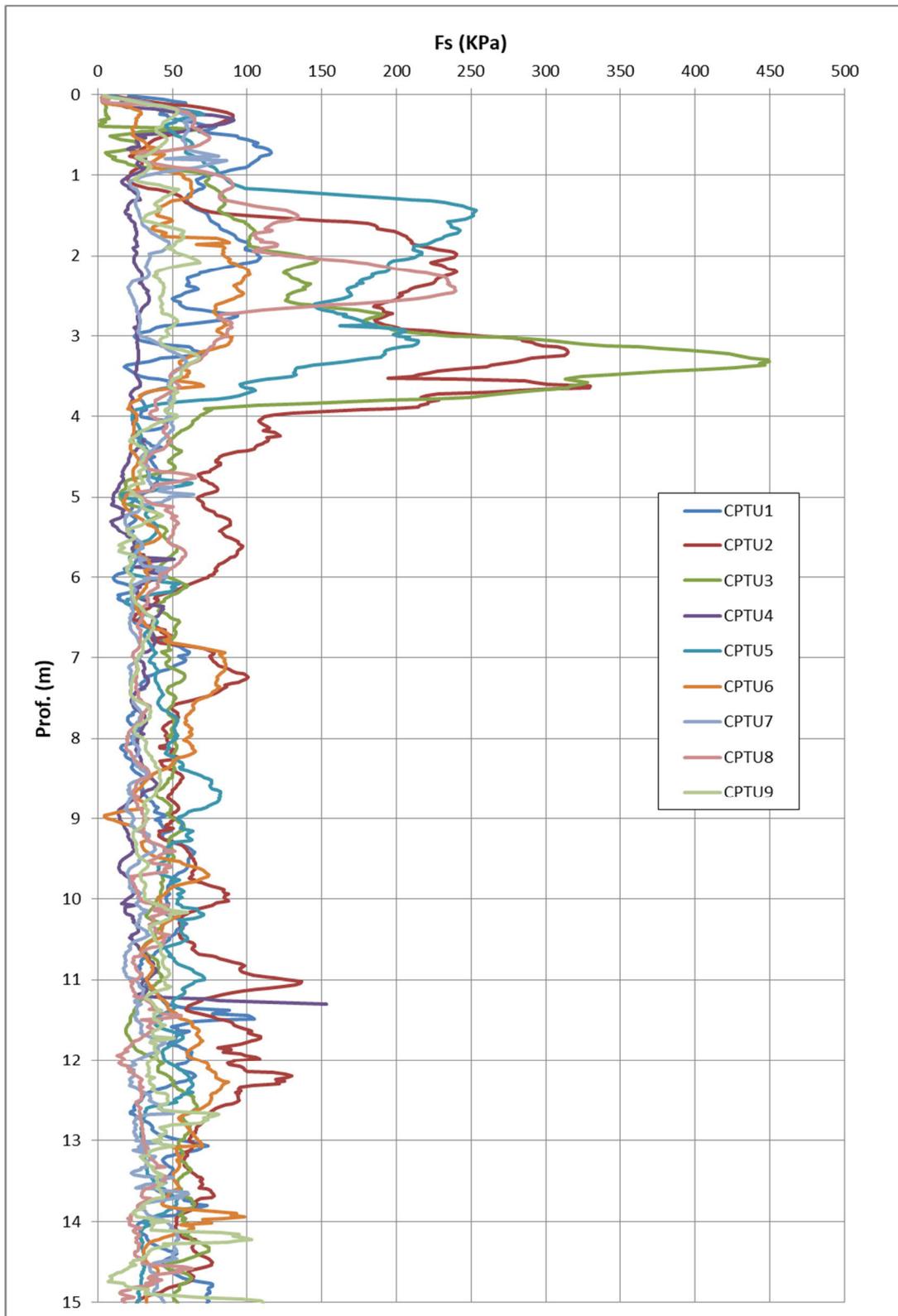


Fig. 3 - Rappresentazione grafica della resistenza laterale (Fs) con la profondità

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

2.2 Indagine mediante sismocono

Per verificare le caratteristiche sismiche dei terreni, in corrispondenza della frazione Pieveottiville è stata realizzata una prova mediante cono sismico, eseguita durante la realizzazione della prova penetrometrica, attrezzando lo strumento con una punta con piezocono e geofoni.

Si precisa che l'elaborazione della risposta sismica locale è stata effettuata su tre prove SCPTU, una realizzata nel corso del presente studio (SCPTU1-2019) ed altre due realizzate per conto dagli scriventi in precedenti studi (SCPTU1-2018 e SCPTU2-2018). Nelle figure seguenti vengono presentati i dati delle tre prove.

Oltre ai normali parametri della prova CPTU registrati ogni 2 cm, nella prova con sismocono, ad ogni metro di profondità, viene sospesa l'infissione, e, a piano campagna, vengono generate delle onde di taglio (onde S) percuotendo orizzontalmente, con una mazza, una trave vincolata al terreno, per avere un sismogramma con una prevalente fase S.

Tramite sensori sismici, presenti all'interno della punta penetrometrica, e adeguato acquisitore dinamico, è possibile rilevare e registrare i segnali prodotti in superficie e, di conseguenza, determinare i tempi necessari alle onde S per percorrere il tratto da piano campagna fino alla profondità a cui si trova il geofono (tempi di arrivo).

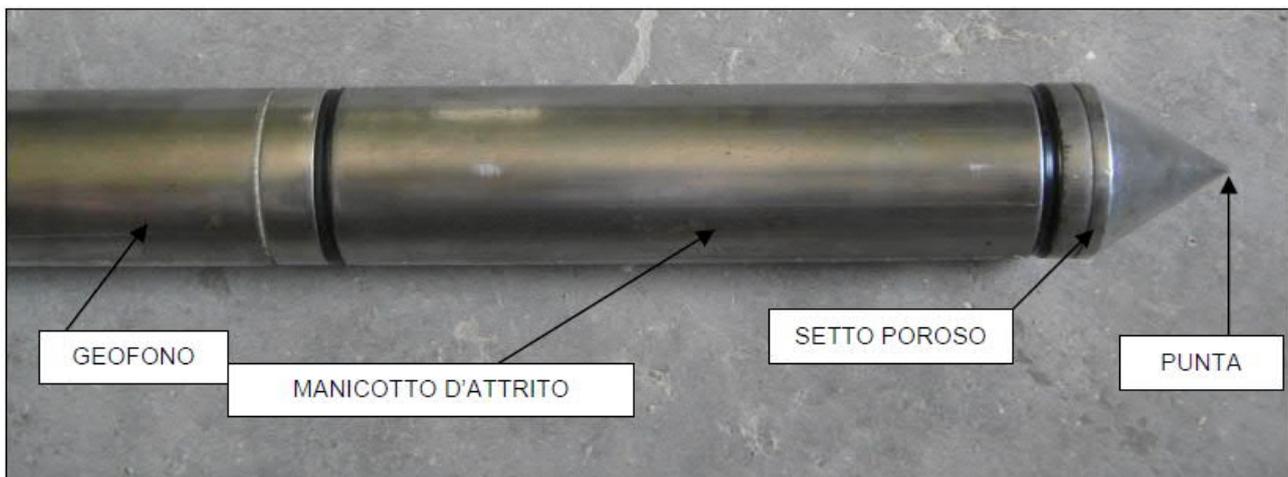


Fig. 4 – Punta del penetrometro elettrico e sismocono

Attraverso il rapporto distanza/tempo di percorrenza, è possibile determinare, direttamente e con grande precisione, le velocità delle onde S, caratterizzando i vari strati di terreno attraversati, fino alla definizione del parametro caratteristico per la classificazione sismica dei suoli, la $V_{S,30}$.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	10 di 62

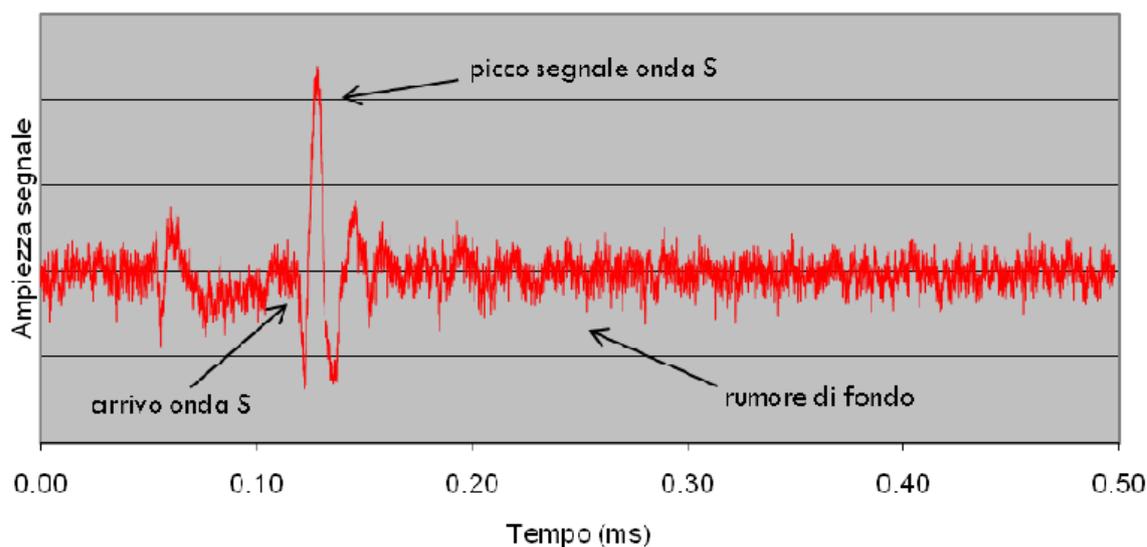


Fig. 5 – Esempio di sismogramma del segnale registrato a 10 m di profondità

In pratica la prova con sismocono è da considerare una prova Down-Hole a tutti gli effetti.

In Fig. 6 viene riportato il grafico in funzione della profondità della velocità delle sole onde S registrate in tutte le prove SCPTU effettuate nel comune di Polesine Zibello per gli studi di microzonazione sismica.

	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	11 di 62

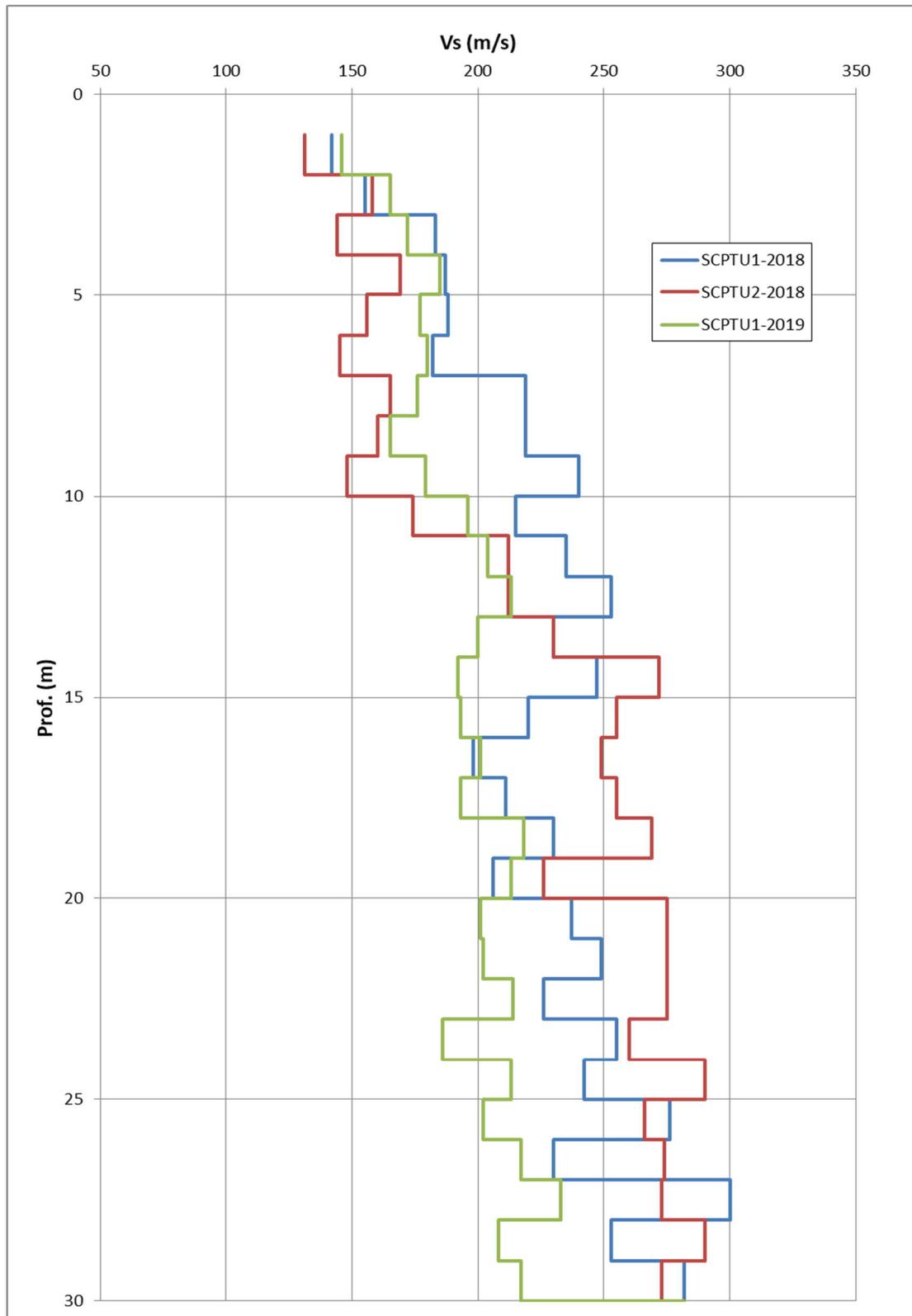


Fig. 6 – Valori di Vs in funzione della profondità misurati per le diverse prove SCPTU

3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

La valutazione della risposta sismica locale per i siti del comune di Polesine Zibello è stata effettuata per le sole azioni orizzontali, considerando i dati delle prove puntuali statiche con cono sismico, integrate a stratigrafie desunte dal database del Servizio Geologico della Regione Emilia-Romagna. Tali dati sono risultati di fondamentale importanza per l'individuazione del possibile bedrock sismico, ovvero, dello strato con velocità $V_s > 800$ m/s oppure un passaggio tra due materiali caratterizzato da un elevato contrasto di impedenza sismica.

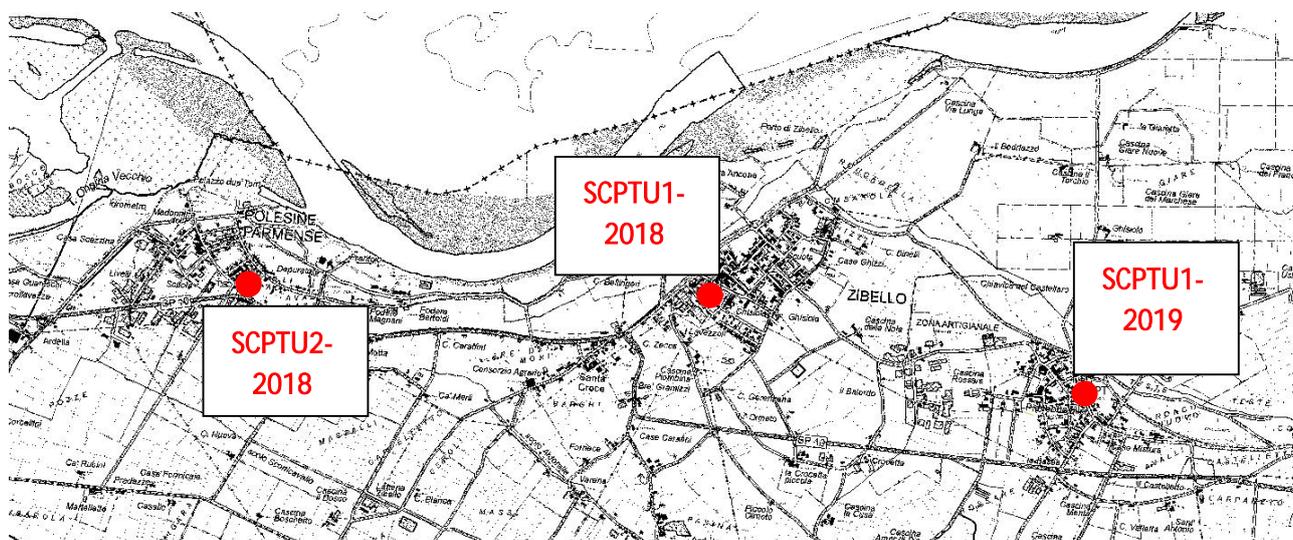


Fig. 7 – Ubicazione delle prove SCPTU in corrispondenza delle quali è stata effettuata la RSL

3.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica, i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna e confermati nella nuova DGR 630/2019.

In particolare l'Allegato A4 contiene:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati;
- le indicazioni per il calcolo dei valori di a_{refg} (10% di probabilità di superamento in 50 anni) di ogni sito indagato;

Per le verticali d'indagine su cui è stata eseguita la risposta sismica locale, in Tab. 1 viene riportato il parametro a_{refg} , con 10% di probabilità di superamento in 50 anni, utilizzato.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	13 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

Sito	$a_{ref,g}(a_g/g)$
SCPTU1-2018	0.102
SCPTU2-2018	0.102
SCPTU1-2019	0.102

Tab. 1 – Valori $a_{ref,g}$ (10% di probabilità di superamento in 50 anni)

3.2 Segnali in input

Quali segnali di input sismico sono stati utilizzati, oltre a quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015¹, anche quelli forniti dal software SEISM-HOME² di Eucentre.

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nelle banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, mentre, nel caso di SEISM_HOME, il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2018, sempre con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Il software SEISM-HOME fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008. Per il sito indagato sono stati utilizzati i sismi riferiti al nodo più vicino: il 14493.

Nel complesso, quindi, per ogni verticale analizzata, sono stati utilizzati 10 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale (Tab. 2 e Fig. 8). Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER.

Segnali Seism-Home
SLV1_TR475_ID14493_ESD_000764xa.cor
SLV2_TR475_ID14493_ESD_000182xa.cor
SLV3_TR475_ID14493_ESD_000234ya.cor
SLV4_TR475_ID14493_NGA_0788x.txt
SLV5_TR475_ID14493_NGA_1033y.txt
SLV6_TR475_ID14493_KNET1_SAG0010503201053.NS
SLV7_TR475_ID14493_ITACA_20090406_013239ITDPC_MTR__NSC.DAT
RER 000046xa.xy
RER 000126xa.xy
RER 000354xa.xy

Tab. 2 – Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL

¹ Disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica

² Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	14 di 62

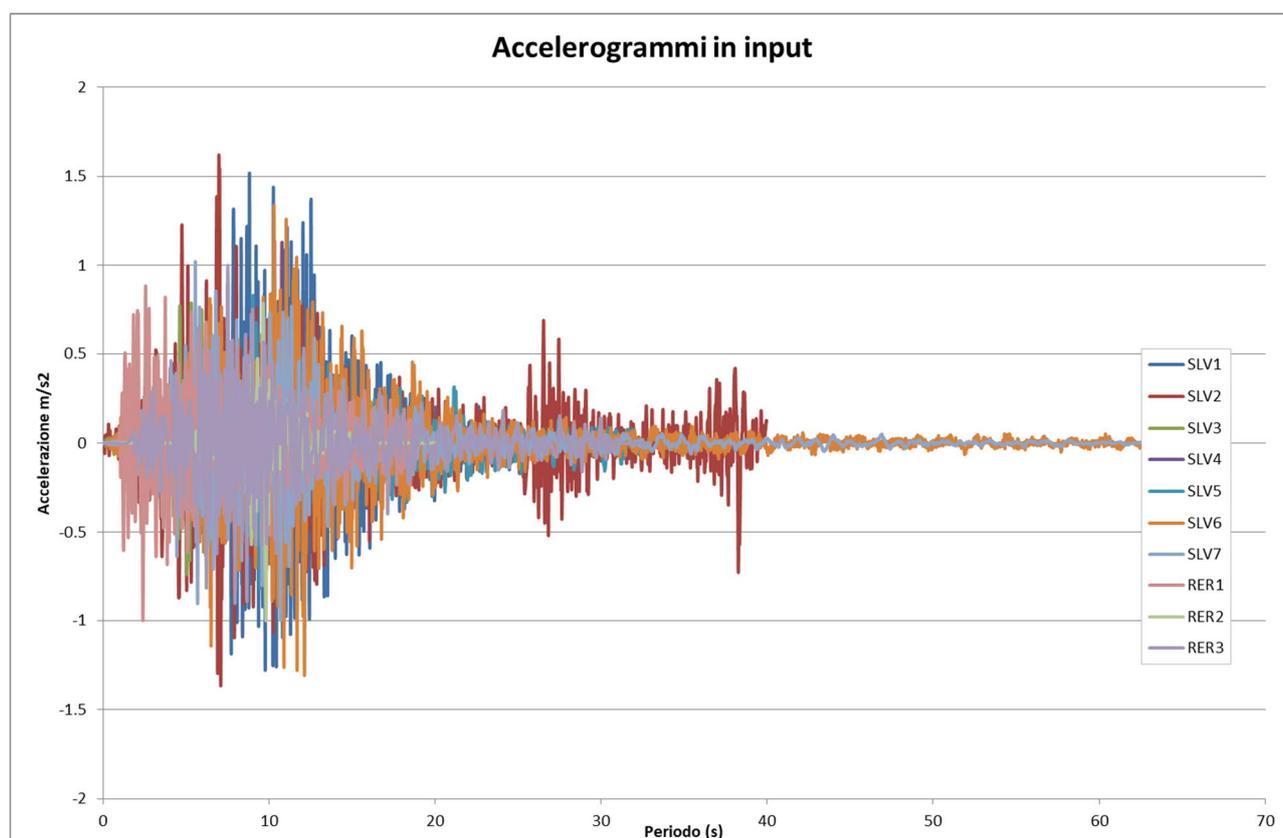


Fig. 8 – Segnali di input nell’analisi di RSL

3.3 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un’accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio (V_s);
- curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G_0) in funzione della deformazione e densità in situ.

Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il bedrock sismico, che dovrebbe essere uno strato con velocità $V_s > 800$ m/s.

3.3.1 Litologia e V_s e bedrock sismico

La valutazione di risposta sismica locale è stata effettuata in corrispondenza delle verticali di indagine SCPT1-2018 (034048P64SCPT64), SCPT2-2018 (034029P18SCPT18) e SCPTU1-2019 (034048P88SCPT88) considerando le stratigrafie derivanti dall’interpretazione dei risultati della stessa.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	15 di 62

Considerato che le prove non hanno raggiunto il contrasto di impedenza più significativo evidenziato dalle prove HVSR, la stratigrafia è stata estesa, sulla base di dati stratigrafici di pozzi, fino a tale profondità.

In tutte le verticali analizzate, sotto uno spessore variabile di argille (4-11 m) sono state riscontrate sabbie fino al bedrock. Va segnalato che in questo caso, si intende come bedrock un livello che presenta velocità di 550 m/s, cioè con un contrasto di impedenza pari circa 2 rispetto alle sabbie soprastanti. Tale dato è stato ricavato dalle prove HVSR realizzate per lo studio di microzonazione di secondo livello.

Per quanto riguarda la velocità delle onde S in funzione della profondità, si è fatto riferimento alle misure ottenute dalle prove penetrometriche con sismocono, fino alla massima profondità indagata. Per i livelli inferiori, come detto, si è fatto riferimento alle prove HVSR.

Mediante il processo sopra descritto, si giunge alla discretizzazione della Vs in funzione della profondità. Nei paragrafi seguenti verrà illustrato il modello sismostratigrafico per ciascuna verticale analizzata.

3.3.2 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G₀) in funzione della deformazione

Per le caratteristiche del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza, G/G₀) in funzione della deformazione di taglio γ si è fatto riferimento a curve ottenute sperimentalmente dagli scriventi, in siti limitrofi l'area interessata dallo studio e curve da letteratura.

Tali curve sono state ricostruite, partendo da dati di laboratorio, applicando le leggi di variazione dei parametri D e G/G₀ mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).

Le leggi di variazione proposte da Yokota sono le seguenti:

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha\gamma^\beta}$$

$$D = \eta e^{-\lambda \frac{G}{G_0}}$$

Dove:

G/G₀ = modulo di taglio normalizzato

D = rapporto di smorzamento

γ = deformazione di taglio

$\alpha, \beta, \eta, \lambda$ = parametri sperimentali del modello

In Fig. 9 e Fig. 10 sono riportate le curve sintetiche ottenute utilizzando i fattori caratteristici $\alpha, \beta, \eta, \lambda$ (riassunti sinteticamente in Tab. 3) utili all'applicazione delle formule espresse sopra.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGIST</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	16 di 62

	G_0 (MPa)	α	β	η	λ
Limo con argilla	51.5	29.78	0.93	24.74	3.36
Limo con sabbia argilloso	75.23	23.94	1.32	24.11	2.68
Sabbia - Idriss (1990)		12.95	0.91	23.13	2.52

Tab. 3 – Riepilogo dei dati bibliografici

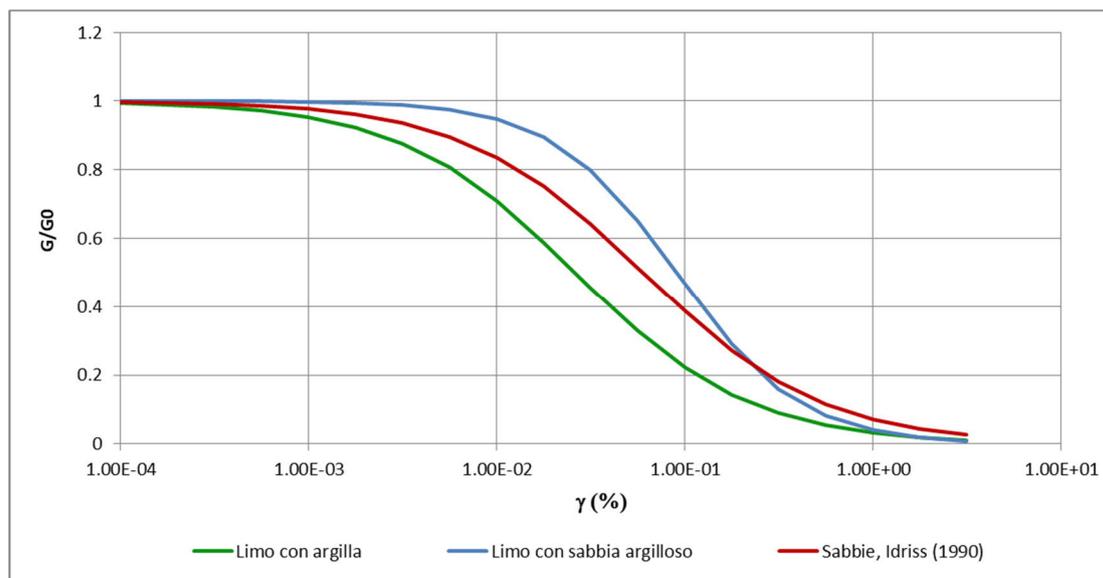


Fig. 9 – Grafico delle Curve di interpolazione di G/G_0 per i terreni in esame

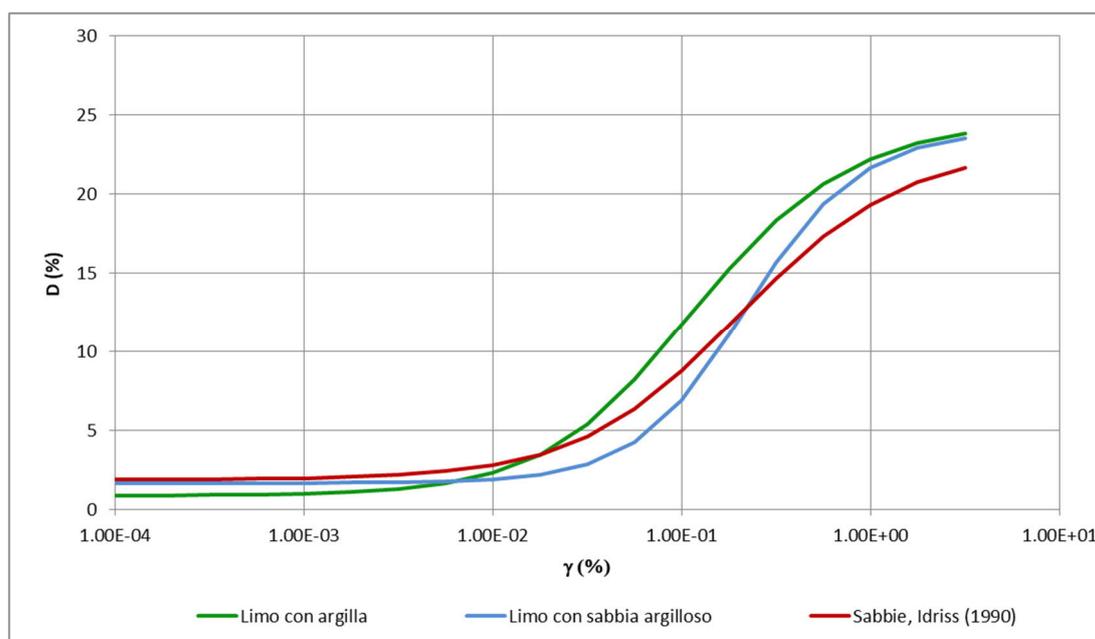


Fig. 10 - Grafico delle Curve di interpolazione di D per i terreni in esame

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

3.4 Procedura di analisi RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STACEC.

Il codice di calcolo LSR2D consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.

Qualora la stratigrafia in esame non presenti problematiche di carattere bidimensionale, come nel caso in esame, è comunque possibile studiare il problema monodimensionale grazie ad una discretizzazione di una striscia unitaria di terreno e all'applicazione di un sistema di vincoli sul modello FEM tale da consentire solo deformazioni di taglio.

3.4.1 Metodo lineare equivalente

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Fig. 11. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

$$\tau = G\gamma + \eta\dot{\gamma}$$

dove:

- G = Modulo di taglio;
- η = viscosità del mezzo;

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGIST</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	18 di 62

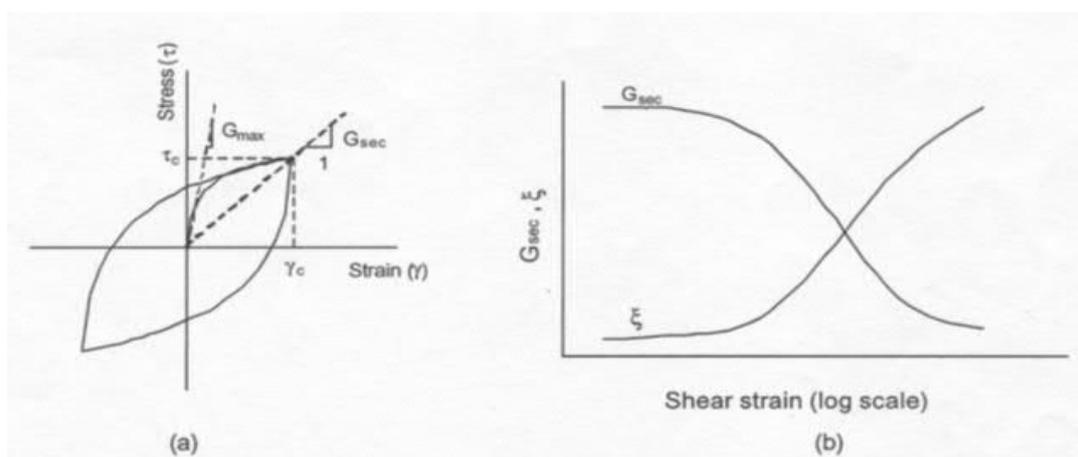


Fig. 11 - Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Fig. 11. Il modulo di taglio equivalente, G , è preso considerando il modulo di taglio secante G_s .

È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva $G_s - \gamma$ non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva $\tau - \gamma$ e sussiste la seguente relazione:

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento D , definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- ΔW^{dissp} = quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- W^{max} = massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico;

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Fig. 11b).

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	19 di 62

3.4.2 Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (Fig. 12) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Ma_g$$

dove:

M = matrice di massa del sistema;

C = matrice di smorzamento del sistema;

K = matrice di rigidità del sistema;

\ddot{u}, \dot{u}, u = rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;

a_g = vettore di accelerazione alla base;

Tale equazione vale per ogni istante di tempo t_n e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni t_n viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\begin{aligned} \dot{u}_n &= \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n] \\ u_n &= u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n] \end{aligned}$$

dove:

Δt = incremento temporale tra l'istante di tempo t_n e $t_n - 1$

β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25

γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	20 di 62

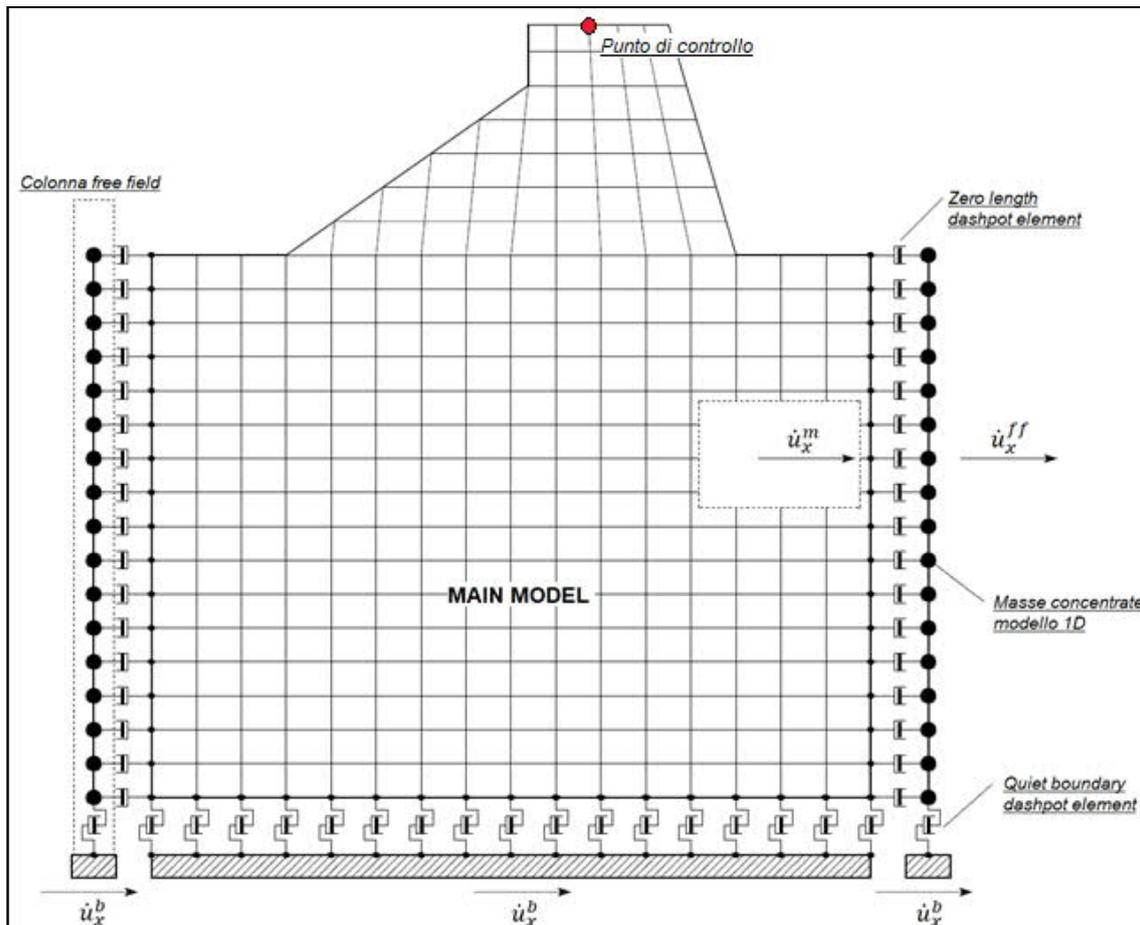


Fig. 12 - Discretizzazione FEM del terreno

3.4.3 Smorzamento

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- α_q e β_q = coefficienti di smorzamento alla Reyleigh;

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

da cui si ottiene (Hudson, 1994):

$$D_q = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q \omega \right)$$

dove:

- ω_1 = frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$ con $n = \omega_i / \omega_1$ (approssimato all'intero pari più grande) e ω_i frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

3.4.4 Procedimento iterativo

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico, è il seguente:

1. definizione di curve $G = G(\gamma)$ e $D = D(\gamma)$ per i diversi strati;
2. inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni (G_0 e D_0);
3. calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato (γ_1);
4. aggiornamento dei valori $G_1 = G(\gamma_1)$ e $D_1 = D(\gamma_1)$;
5. iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$).

3.4.5 Interpretazione dei risultati

Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM.

Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

3.5 Analisi dei risultati

I risultati delle analisi condotte con il codice di calcolo LSR 2D (Local Sismic Response 2D) Ver. 4.5 di STACEC, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire per il sito in esame:

- La funzione di trasferimento del segnale sismico dal bedrock alla superficie;
- Gli accelerogrammi di output;
- Lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	22 di 62

- La curva di variazione dell'accelerazione con la profondità;
- Il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FA_{PGA}), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- I fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in accelerazione (FA_{SA}) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.5-1.5 e 0.7-1.1 s;
- I fattori di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in velocità (FH_S) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s.

Tali fattori di amplificazione in accelerazione e velocità sono ottenuti direttamente dal programma di calcolo confrontando lo spettro medio degli accelerogrammi in input con quello ottenuto dagli accelerogrammi in output (Fig. 13 e Fig. 14).

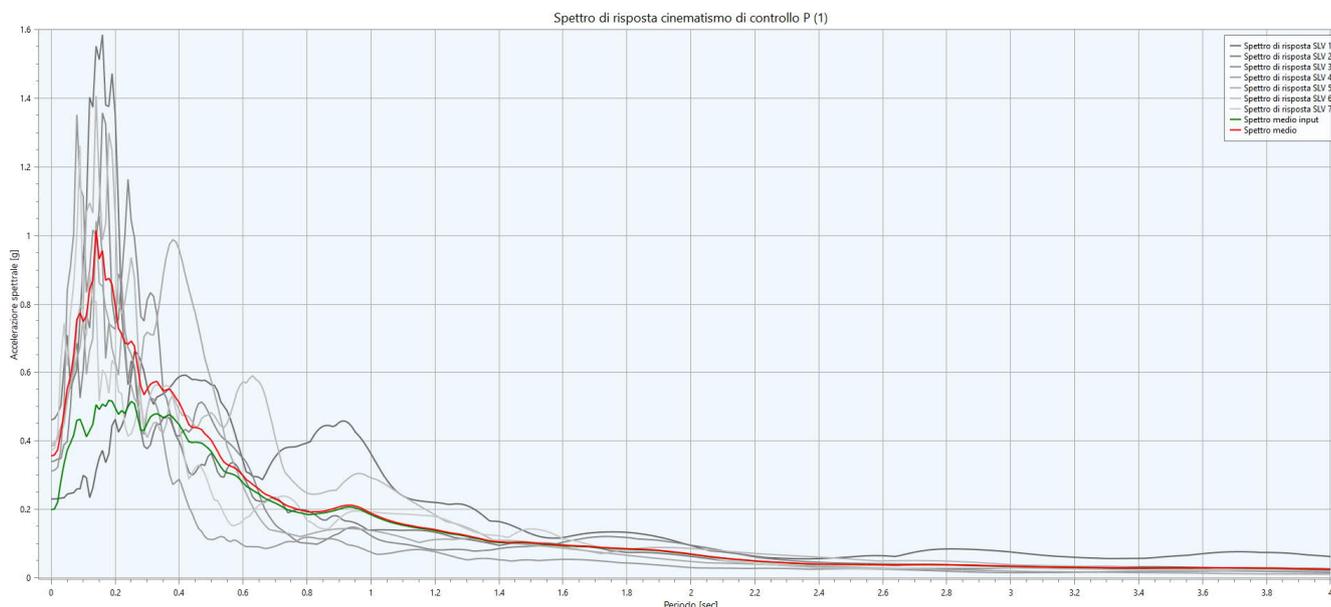


Fig. 13 – Esempio output di confronto tra lo spettro medio in accelerazione in input (verde) e lo spettro medio in accelerazione in output (rosso)

Nelle tabelle dei fattori di amplificazione, oltre a quelli ottenuti con la procedura di RSL, sono riportati, per confronto, anche i fattori di amplificazione ottenuti applicando gli abachi proposti dalla Regione Emilia Romagna (abaco Pianura 2) e le differenze percentuali tra i valori.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	23 di 62

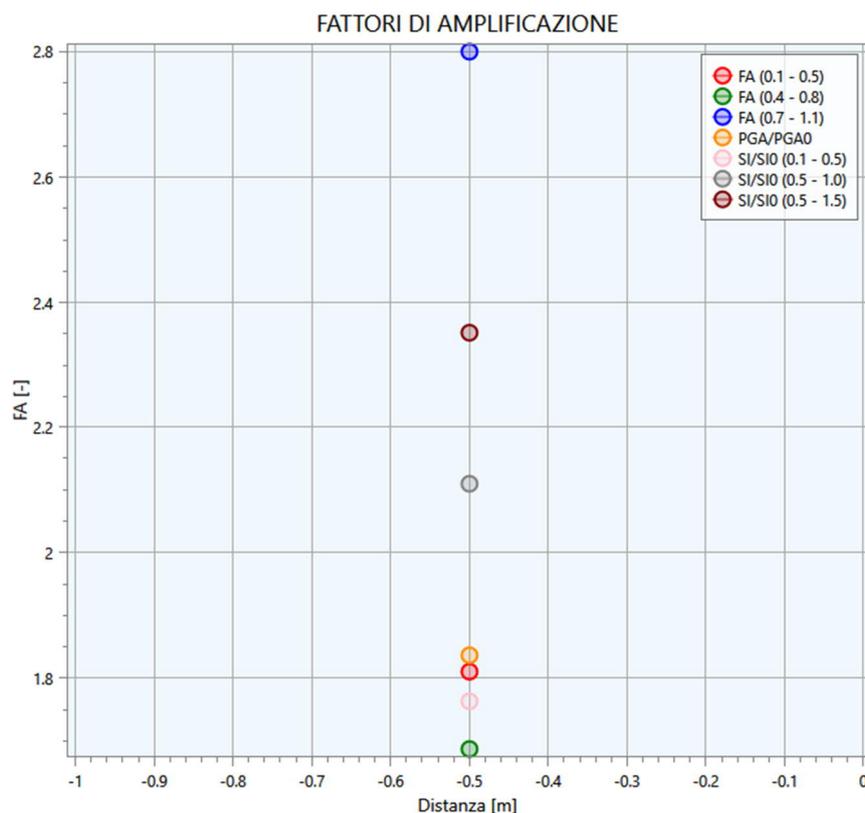


Fig. 14 – Esempio output fattori di amplificazione in termini di accelerazione e velocità ottenuti dal confronto di Fig. 13

Di seguito vengono sinteticamente riportati i risultati delle analisi di risposta sismica locale per tutti i siti indagati.

Dapprima si fornisce la rappresentazione sintetica del modello sismostratigrafico adottato e quindi vengono rappresentati:

- Il grafico dello spettro elastico in accelerazione da RSL confrontato con quello semplificato derivato dalle NTC per la categoria di sottosuolo corrispondente e con lo spettro su suolo rigido fornito dalla Regione Emilia Romagna.
- Il grafico della variazione dell'accelerazione con la profondità.
- La tabella con i vari fattori di amplificazione calcolati.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	24 di 62

3.5.1 Risposta sismica locale SCPTU1-2018 Zibello

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess. (m)	Curve G/G ₀ e D	γ (kN/m ³)	Vs (m/s)
Limo superficiale	3	Limo con argilla	17.5	140
Limo sabbioso	5	Limo con sabbia argilloso	18.0	180
Sabbia limosa	32	Idriss (1990), Sand	18.5	240
Bedrock	-		22.0	550

Tab. 4 – Modello geofisico

Come si evince dalla prova SCPTU1-2018 034048P64SCPT64 riportata in Fig. 15, il bedrock sismico non è stato individuato. Tuttavia, facendo riferimento alle stratigrafie dei pozzi presenti nel database regionale, si discretizza il bedrock ad una profondità di 32 m, al quale viene attribuita una velocità da letteratura di 550 m/s.

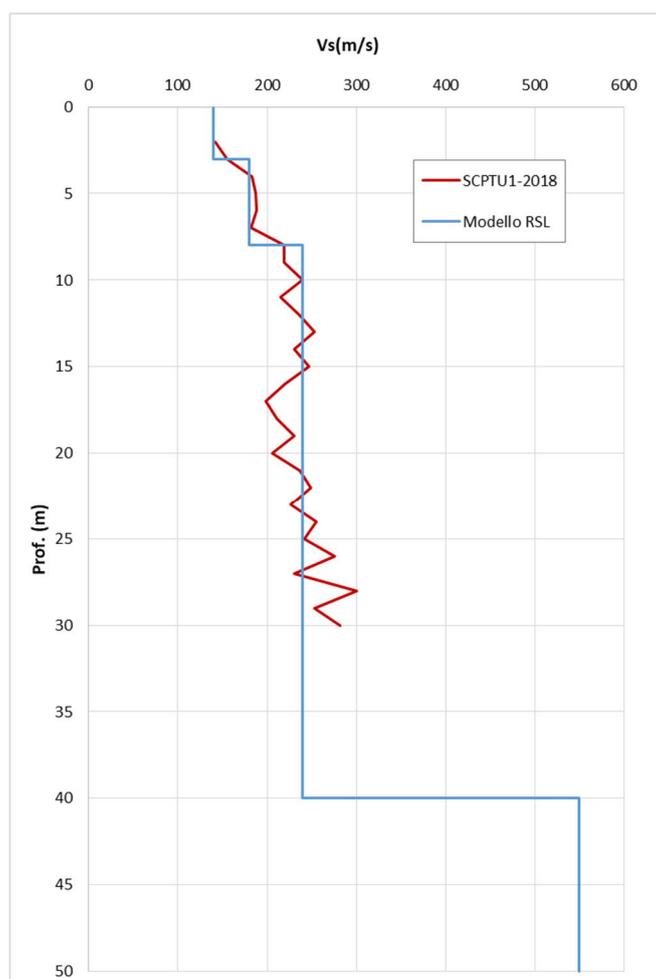


Fig. 15 – Discretizzazione della Vs da prova SCPTU1-2018 034048P64SCPT64

Di seguito si riportano i grafici di output dell'analisi di risposta sismica locale:

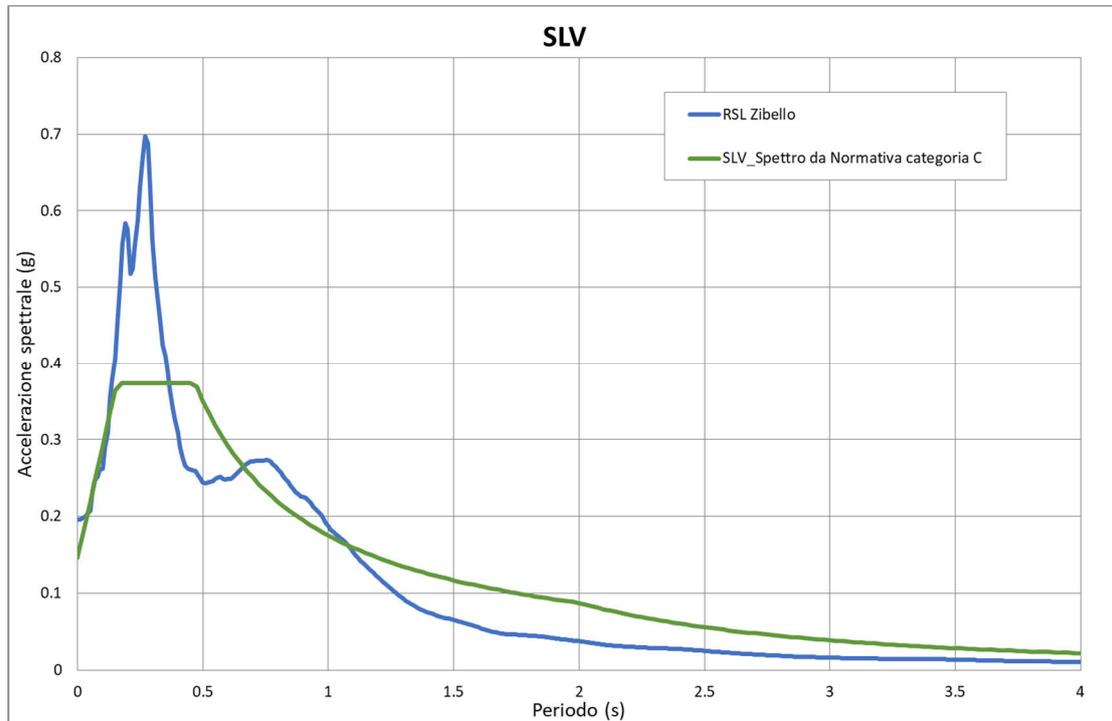


Fig. 16 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per il sito e lo spettro di riferimento da normativa

Lo spettro di RSL risulta molto superiore a quello di categoria C fino a circa 0.4 secondi, per poi invertire la tendenza e risultare inferiore a partire da 1.1 s.

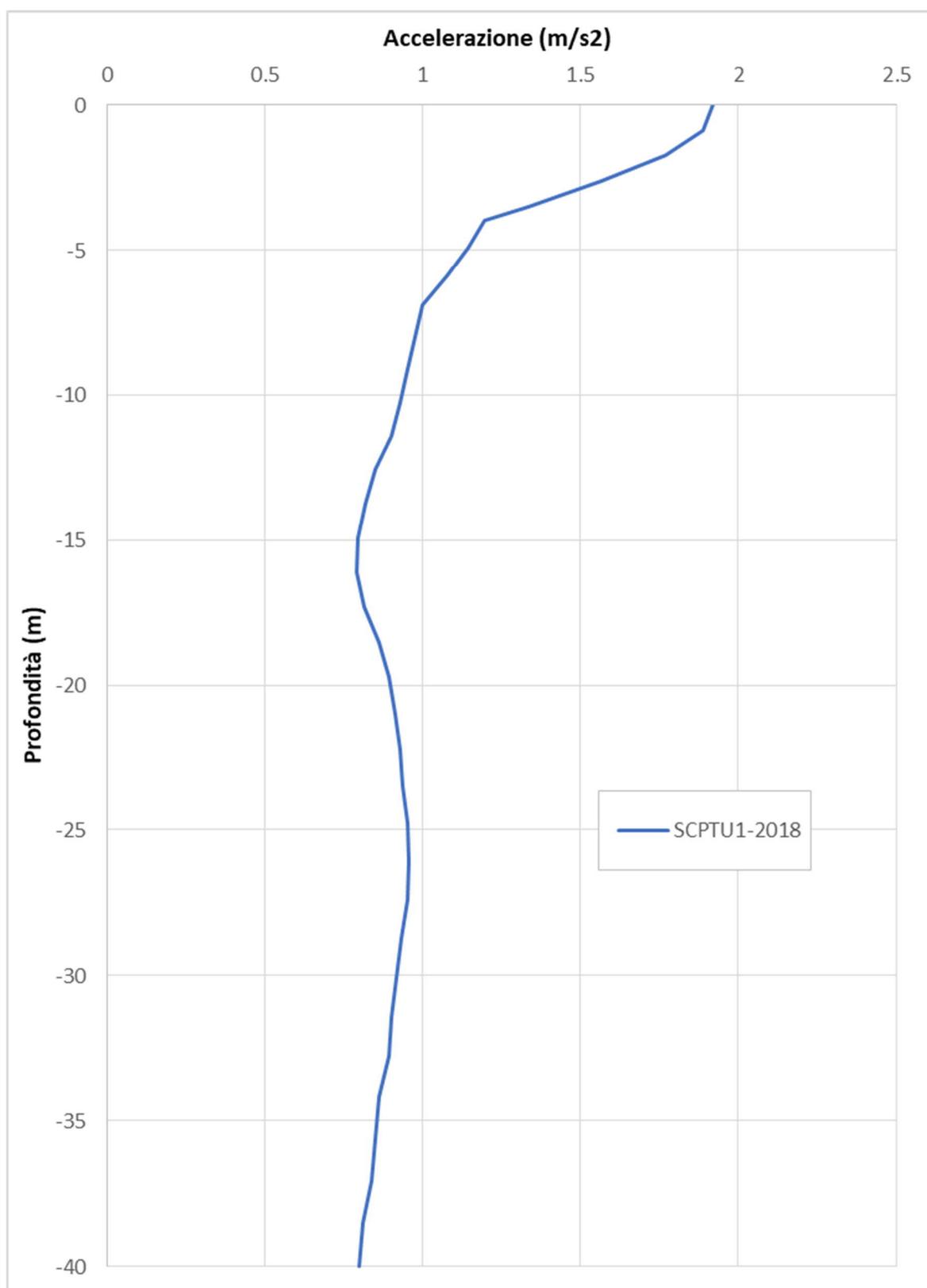


Fig. 17 – Variazione dell'accelerazione con la profondità

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

In Tab. 5 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per diversi intervalli di periodo.

	RSL	Abachi RER	diff %
FA _{PGA}	1.99	1.7	17.1
FA _{SA1 0.1-0.5}	2.04	1.8	13.3
FA _{SA2 0.4-0.8}	2.13	2.7	-21.1
FA _{SA3 0.7-1.1}	2.81	3.2	-12.2
FA _{SA4 0.5-1.5}	2.4	3.1	-22.6
FH _{SI1 0.1-0.5}	2	2	0.0
FH _{SI 0.5-1.0}	2.51	3	-16.3
FH _{SI 0.5-1.5}	2.37	3.3	-28.2

Tab. 5 - Fattori di amplificazione SCPTU1-2018 Zibello

3.5.2 Risposta sismica locale SCPTU2-2018 Polesine

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess. (m)	Curve G/G ₀ e D	γ (kN/m ³)	Vs (m/s)
Limo superficiale	2	Limo con argilla	17.5	120
Limo	9	Limo con sabbia argilloso	18.0	155
Sabbia limosa	29	Idriss (1990), Sand	18.5	260
Bedrock	-	-	22.0	550

Tab. 6 – Modello geofisico

Come si può constatare dalla prova SCPTU2-2018 034029P18SCPT18 riportata in Fig. 18, il bedrock sismico non è stato individuato. Tuttavia, anche in questo caso, facendo riferimento alle stratigrafie dei pozzi presenti nel database regionale, si discretizza il bedrock a partire da una profondità di 29 m, al quale viene attribuita una velocità da letteratura di 550 m/s.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	28 di 62

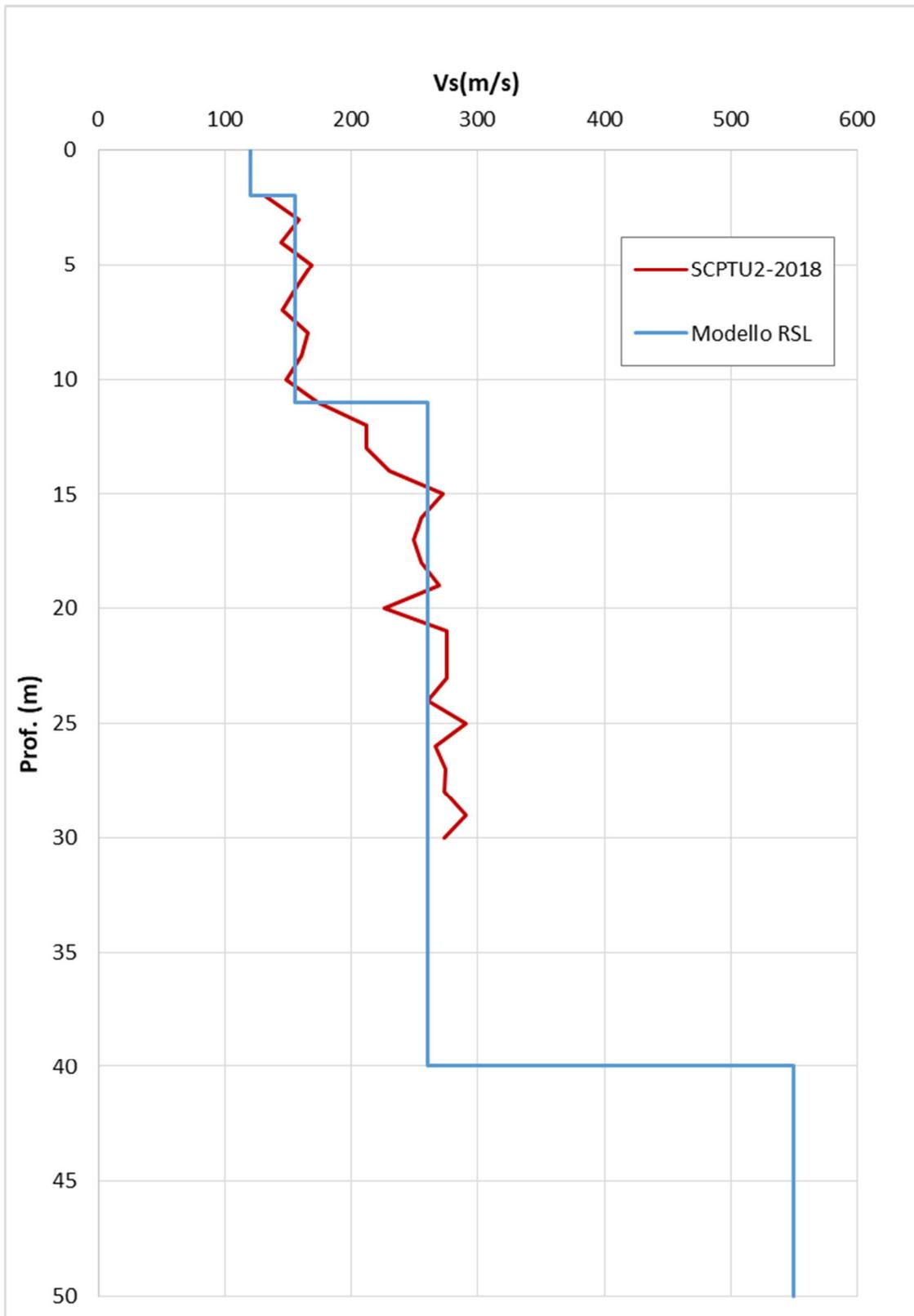


Fig. 18 – Discretizzazione della Vs da prova SCPTU2-2018 034029P18SCPT18

Di seguito si riportano i grafici di output dell'analisi di risposta sismica locale:

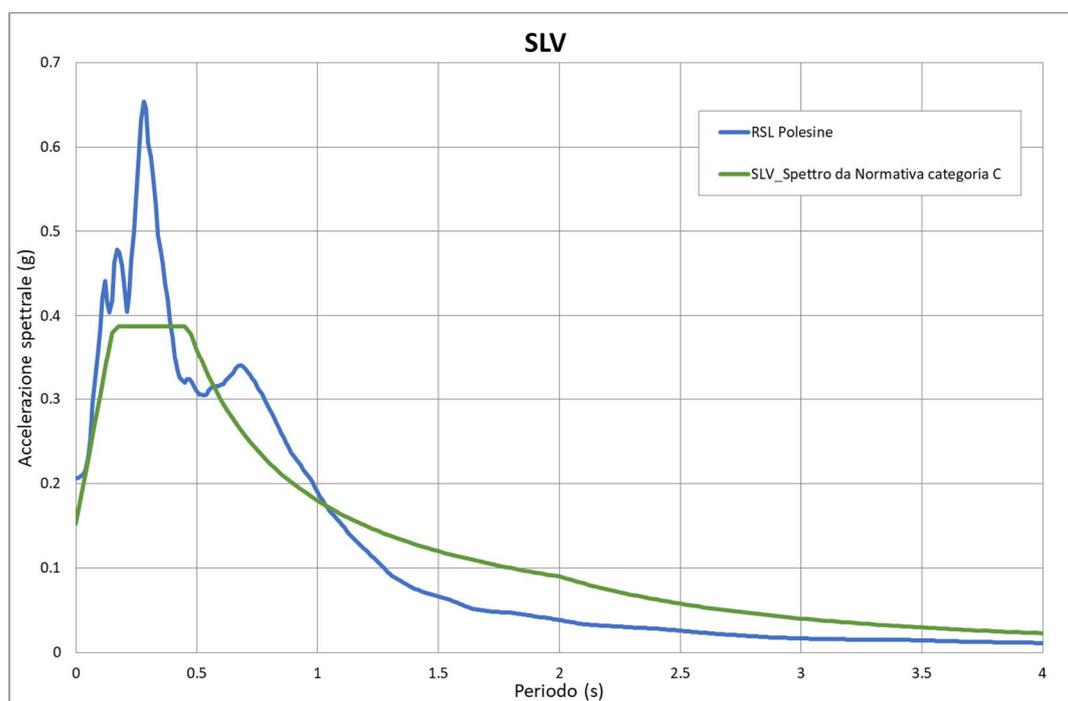


Fig. 19 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per il sito e lo spettro di riferimento da normativa

Anche in questo caso, come nel caso precedente, lo spettro di RSL risulta molto superiore a quello di categoria C fino a circa 0.4 secondi, per poi invertire la tendenza e risultare inferiore a partire da 1.0 s.

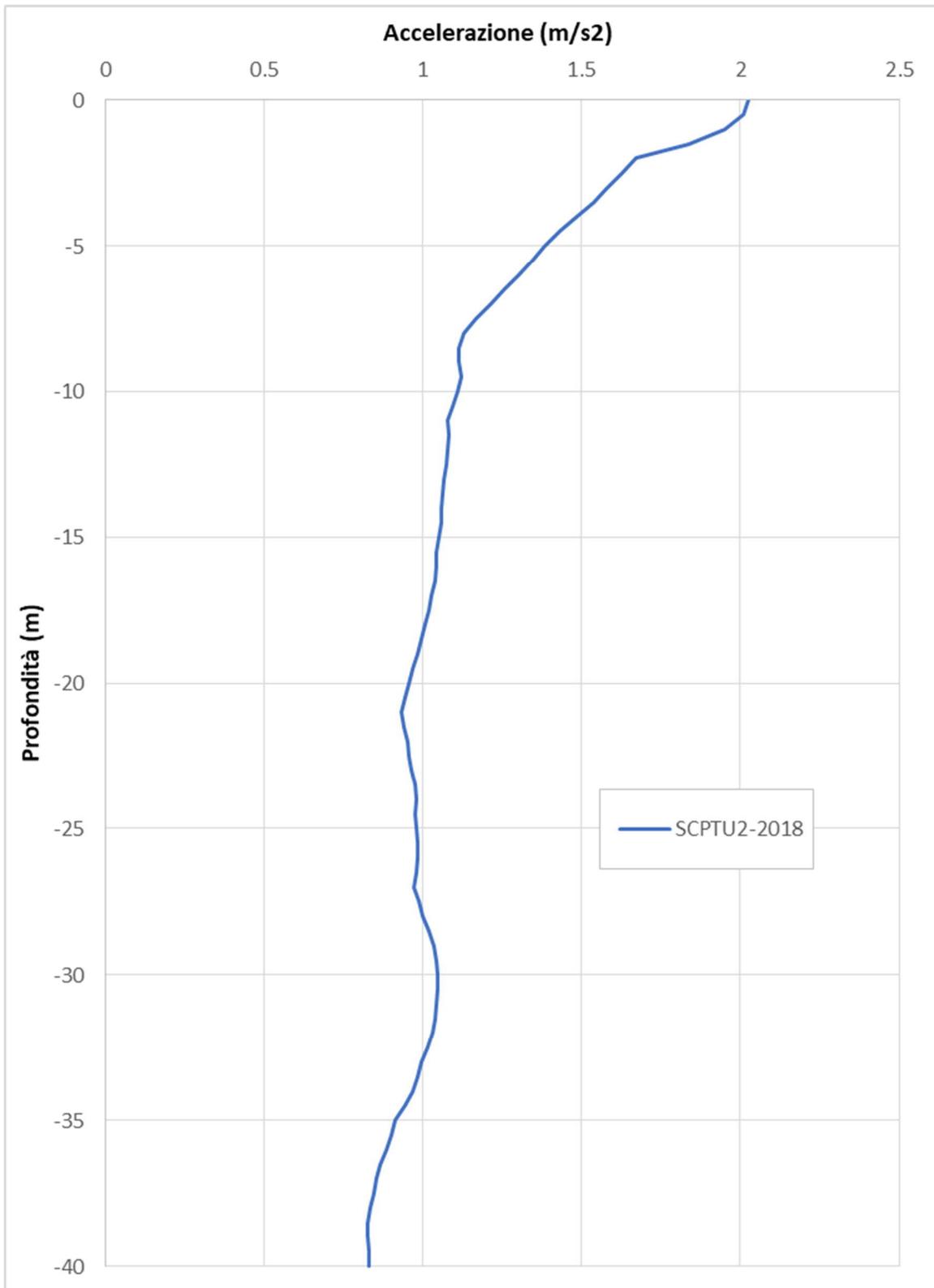


Fig. 20 – Variazione dell'accelerazione con la profondità

In Tab. 7 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per diversi intervalli di periodo.

	RSL	Abachi RER	diff%
FA _{PGA}	2	1.7	17.6
FA _{SA1 0.1-0.5}	2.04	1.8	13.3
FA _{SA2 0.4-0.8}	2.48	2.7	-8.1
FA _{SA3 0.7-1.1}	2.83	3.2	-11.6
FA _{SA4 0.5-1.5}	2.53	3.1	-18.4
FH _{SI1 0.1-0.5}	2.01	2	0.5
FH _{SI 0.5-1.0}	2.73	3	-9.0
FH _{SI 0.5-1.5}	2.45	3.3	-25.8

Tab. 7 – Fattori di amplificazione SCPTU2-2018 Polesine

3.5.3 Risposta sismica locale SCPTU1-2019 Pieveottoville

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Litologia	Spess. (m)	Curve G/G ₀ e D	γ (kN/m ³)	Vs (m/s)
Limo superficiale	2	Limo con argilla	17.5	100
Limo sabbioso	7	Limo con sabbia argilloso	18.0	175
Sabbia limosa	31	Idriss (1990), Sand	18.5	205
Bedrock	-	-	22.0	550

Tab. 8 – Modello geofisico

Come si può constatare dalla prova SCPTU1-2019 034048P88SCPT88 riportata in Fig. 21, il bedrock sismico non è stato individuato. Tuttavia, anche in questo caso, facendo riferimento alle stratigrafie dei pozzi presenti nel database regionale, si discretizza il bedrock ad una profondità di 31 m, al quale viene attribuita una velocità da letteratura di 550 m/s.

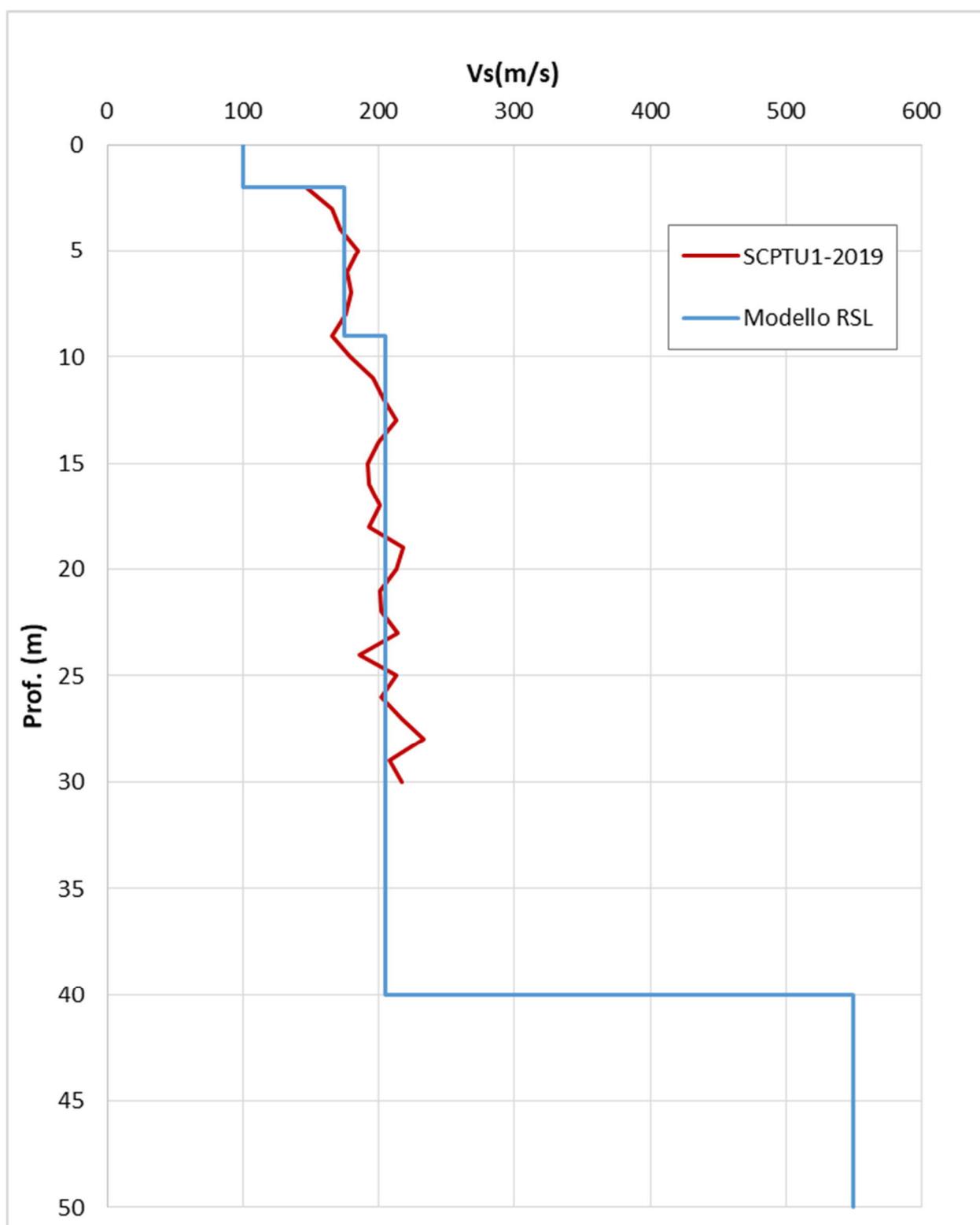


Fig. 21 – Discretizzazione della Vs da prova SCPTU1-2019 034048P88SCPT88

Di seguito si riportano i grafici di output dell'analisi di risposta sismica locale:

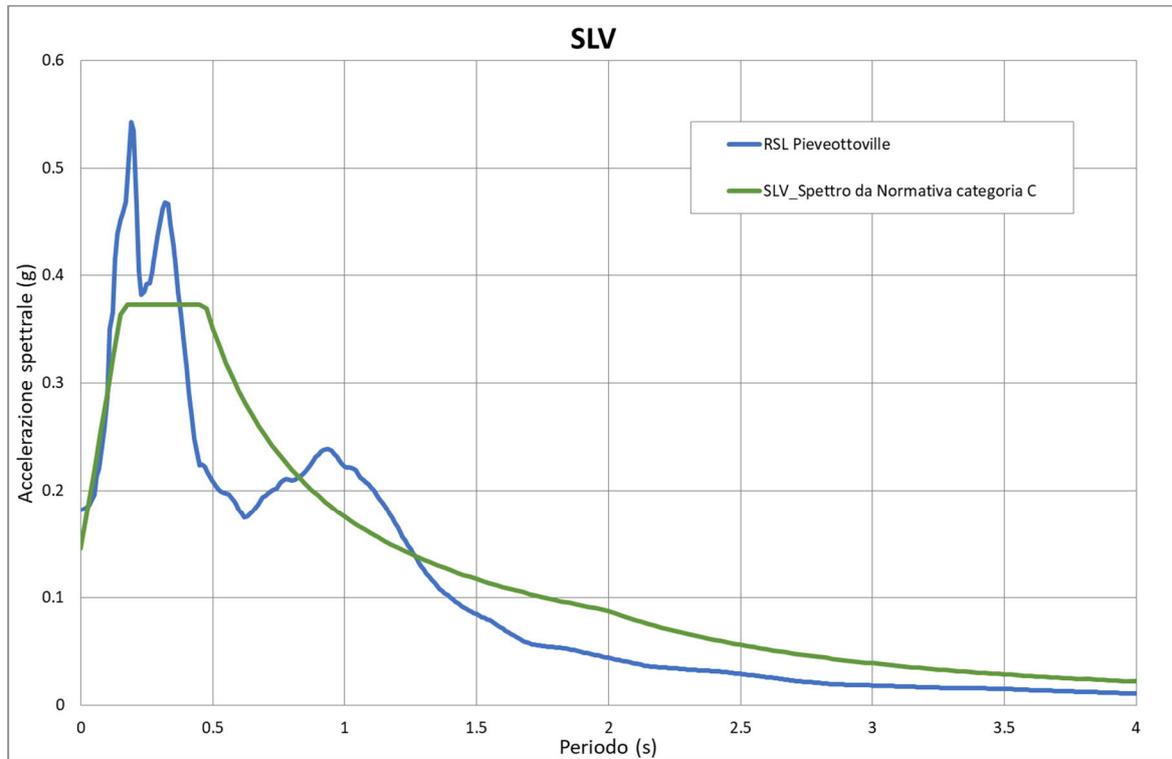


Fig. 22 – Confronto tra lo spettro medio in output in accelerazione per il sito e lo spettro di riferimento da normativa

Come nei casi precedenti, anche in questo caso, lo spettro di RSL risulta superiore a quello di categoria C fino a circa 0.4 secondi, per poi invertire la tendenza e risultare inferiore a partire da 1.3 s.

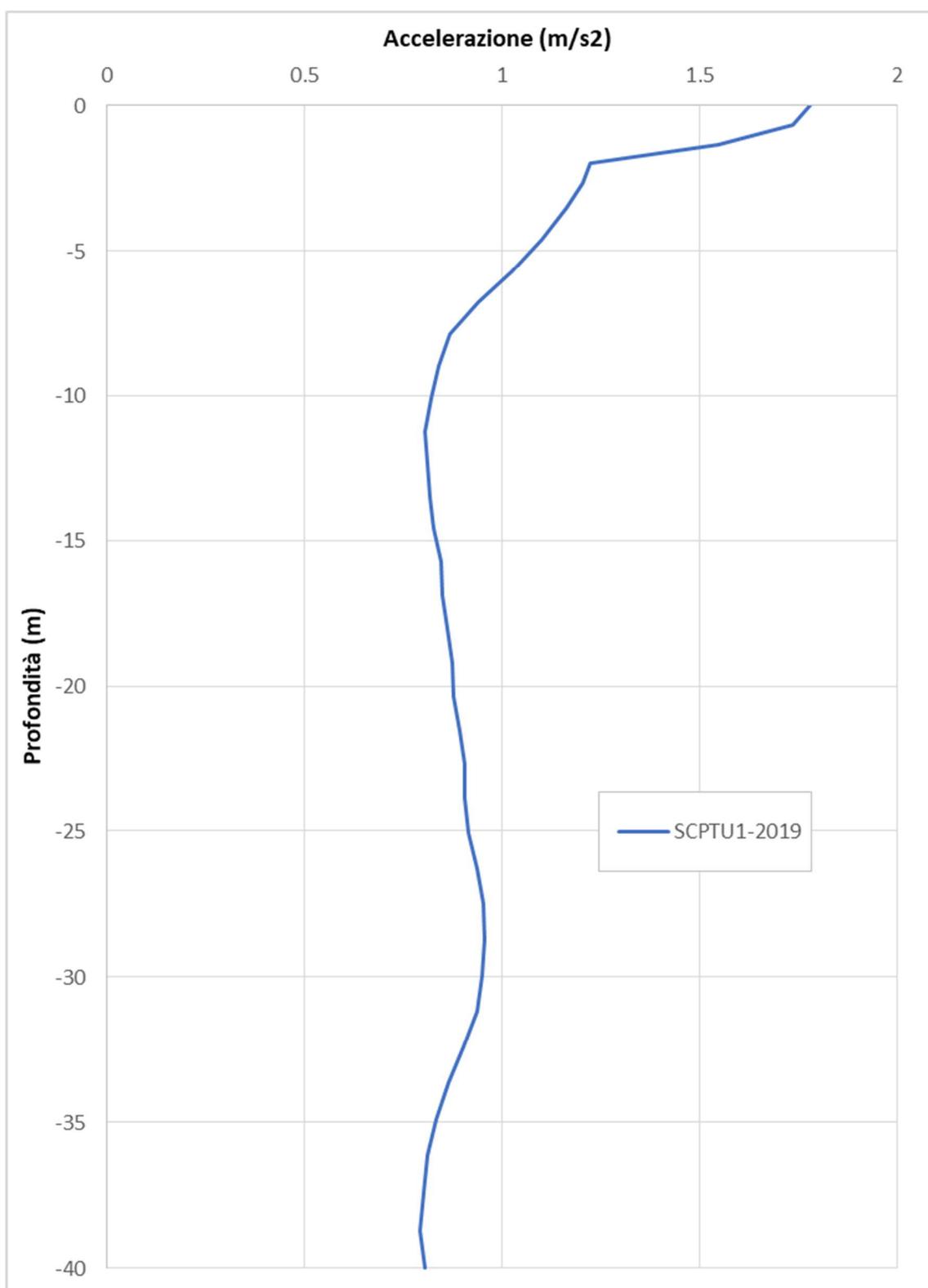


Fig. 23 – Variazione dell'accelerazione con la profondità

In Tab. 9 si riportano i fattori di amplificazione ottenuti per diversi intervalli di periodo.

	RSL	Abachi RER	diff%
FA _{PGA}	1.84	1.7	8.2
FA _{SA1 0.1-0.5}	1.81	1.8	0.6
FA _{SA2 0.4-0.8}	1.69	2.7	-37.4
FA _{SA3 0.7-1.1}	2.8	3.2	-12.5
FA _{SA4 0.5-1.5}	2.36	3.1	-23.9
FH _{SI1 0.1-0.5}	1.76	2	-12.0
FH _{SI 0.5-1.0}	2.11	3	-29.7
FH _{SI 0.5-1.5}	2.35	3.3	-28.8

Tab. 9 – Fattori di amplificazione SCPTU1-2019 Pieveottoville

3.6 Considerazioni sui risultati delle analisi di terzo livello

Nella successiva tabella vengono presentati in sintesi i raffronti (in percentuale) tra i valori dei fattori di amplificazione calcolati con la RSL e quelli derivanti dall'applicazione dagli abachi RER.

Le differenze percentuali positive indicano valori più alti per i fattori da RSL rispetto a quelli degli abachi, mentre differenze negative il contrario. In sostanza le differenze percentuali negative indicano che gli abachi risultano più cautelativi della RSL.

	SCPTU1-2018	SCPTU2-2018	SCPTU1-2019
FA _{PGA}	17.1	17.6	8.2
FA _{SA1 0.1-0.5}	13.3	13.3	0.6
FA _{SA2 0.4-0.8}	-21.1	-8.1	-37.4
FA _{SA3 0.7-1.1}	-12.2	-11.6	-12.5
FA _{SA4 0.5-1.5}	-22.6	-18.4	-23.9
FH _{SI1 0.1-0.5}	0.0	0.5	-12.0
FH _{SI 0.5-1.0}	-16.3	-9.0	-29.7
FH _{SI 0.5-1.5}	-28.2	-25.8	-28.8

Tab. 10 – Raffronto tra i risultati delle analisi di secondo livello e terzo livello

L'analisi della Tab. 10 evidenzia che gli abachi sottostimano, ma di poco, lo scuotimento ai bassi periodi ($T < 0,5s$) mentre lo sovrastimano (e quindi sono a favore di sicurezza) per gli alti periodi ($0,5 < T < 1,5$).

Un ulteriore confronto può essere effettuato a livello di spettri di risposta in pseudoaccelerazione.

In Fig. 24 viene proposto il confronto tra gli spettri di risposta in pseudoaccelerazione da RSL e lo spettro semplificato per la categoria di sottosuolo C da NTC 2018, per un tempo di ritorno T_R uguale a 475 anni (corrispondente a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni).

Anche in questo caso è evidente che l'amplificazione locale determina una considerevole picco tra 0.1 e 0.4 s circa, con valori di accelerazione spettrale molto più elevati di quelli dello spettro semplificato, mentre oltre tale periodo, in generale, lo spettro semplificato sovrastima le accelerazioni, a parte modeste sovrastime a periodi differenti nei tre siti considerati.

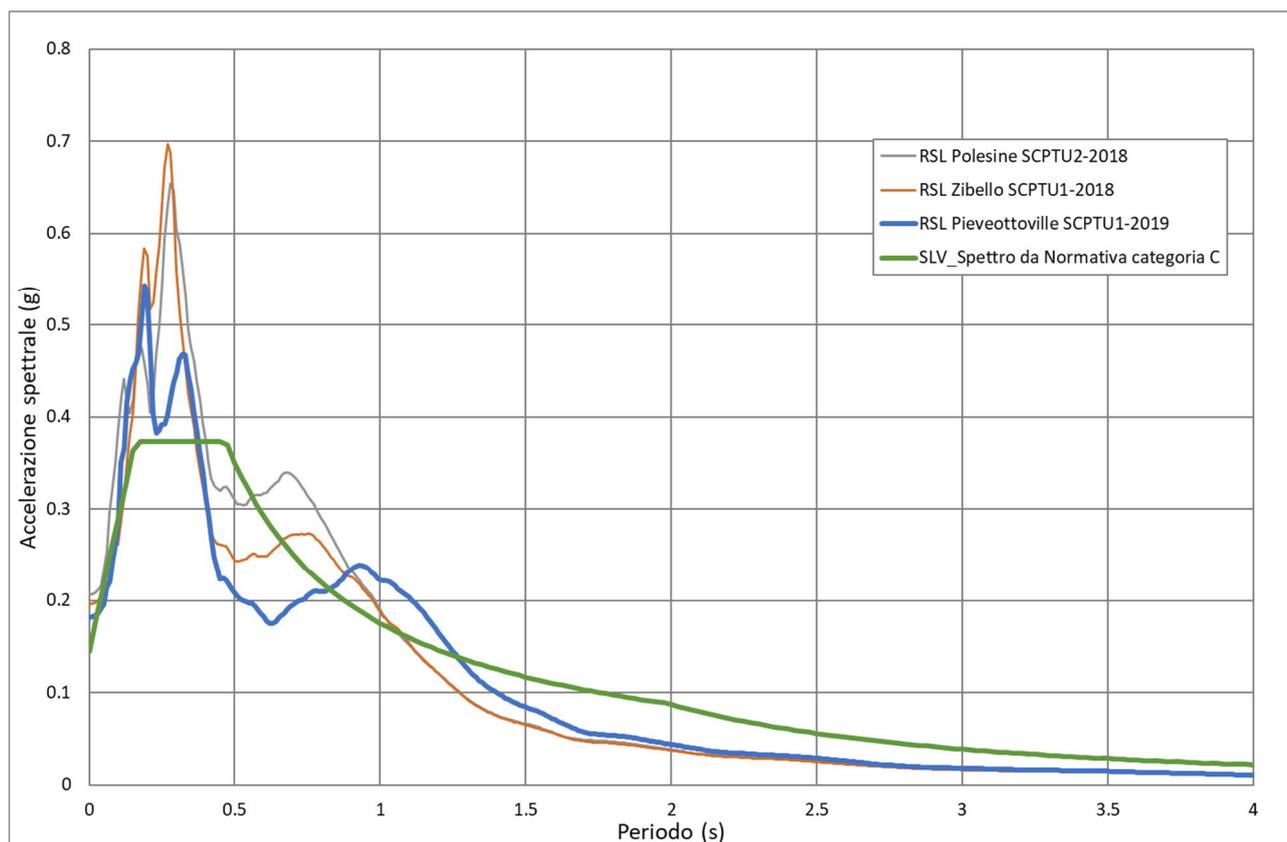


Fig. 24 – Confronto tra gli spettri di risposta in pseudoaccelerazione da RSL e lo spettro semplificato per la categoria di sottosuolo C da NTC 2018

4. VERIFICA DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Lo studio di microzonazione di secondo livello ha evidenziato che l'intero Comune di Polesine Zibello è interessato dal rischio di potenziale liquefazione, dovuta alla presenza di banchi di sabbia sotto falda nel primo sottosuolo.

Si è quindi valutato tale rischio, prendendo in considerazione le 17 verticali indagate mediante le prove CPTU e SCPTU effettuate nel corso delle due campagne geognostiche effettuate a supporto dello studio di microzonazione di secondo e terzo livello.

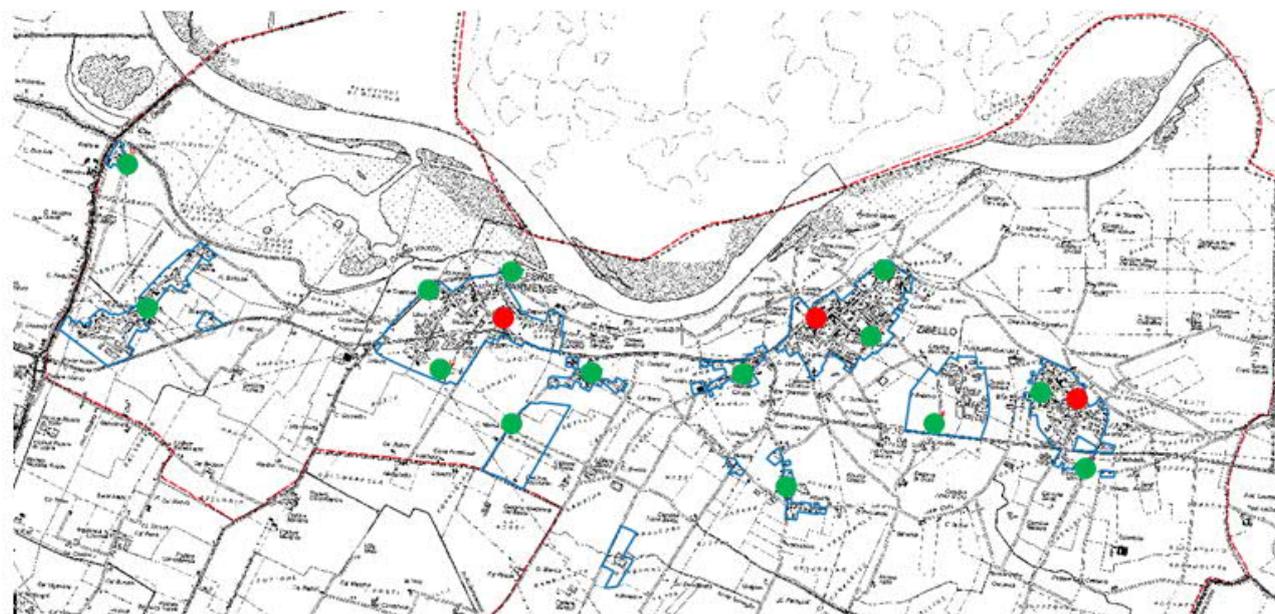


Fig. 25 – Ubicazione delle prove penetrometriche utilizzate per le verifiche del rischio di liquefazione (in verde le CPTU, in rosso le SCPTU)

4.1 Premesse

Per liquefazione s'intende un processo d'incremento della pressione del fluido interstiziale che causa, in un terreno non coesivo saturo (sabbia, limo non plastico), la diminuzione della resistenza a taglio a seguito dello scuotimento sismico, dando luogo a deformazioni permanenti significative.

La liquefazione consiste quindi in una diminuzione della resistenza del terreno, a seguito del raggiungimento della condizione di fluidità. La perdita totale della resistenza viene raggiunta quando la pressione dell'acqua che riempie gli interstizi arriva a uguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le tensioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. Una volta che il terremoto ha innescato il processo di liquefazione, la massa del suolo resta in movimento fino a che non raggiunge una nuova condizione di stabilità.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	38 di 62

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove CPTU ed SCPTU mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI di Iwasaki et al. (1982). Le prove CPTU sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici.

L'indice LPI³ è un parametro di sintesi che, mediante un valore numerico compreso tra 0 e 100, quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto di severità dell'azione sismica, e di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Per poter valutare la severità degli effetti Iwasaki ha proposto la scala riportata nella seguente Tab. 11.

Valori di IL	Rischio di liquefazione
$I_L = 0$	Molto basso
$0 < I_L \leq 5$	Basso
$5 < I_L \leq 15$	Alto
$15 < I_L$	Molto alto

Tab. 11 – Valutazione del rischio di liquefazione secondo Iwasaki

Valutazioni più recenti riportate da Sonmez (2003), basate su sismi di magnitudo inferiore a quelli utilizzati da Iwasaki consigliano tuttavia di rimodulare le classi di pericolosità come riportato in Tab. 12:

LPI = 0.00 - Liquefaction risk nul
LPI between 0.00 and 2.00 - Liquefaction risk low
LPI between 2.00 and 5.00 - Liquefaction risk moderate
LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high
LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high

Tab. 12 – Valutazione del rischio di liquefazione secondo Sonmez

L'indice LPI è calcolato con riferimento ad una verticale di prova. Gli effetti bi- e tri-dimensionali sono trascurati. Tale semplificazione può condurre talora a stime errate. In particolare, se la liquefazione in un sito è limitata a lenti isolate, la liquefazione in superficie può non manifestarsi anche per valori significativi di LPI. Viceversa, uno strato liquefatto sottile, profondo, molto diffuso ed esteso può determinare rottura del terreno e "lateral spreading" anche per bassi valori di LPI. La variabilità ed eterogeneità naturale delle condizioni stratigrafiche e geotecniche può spiegare la non sempre buona correlazione tra i valori dell'indice LPI e le evidenze di liquefazione.

³ LPI = Liquefaction Potential Index è tradotto con IL = Indice di Liquefazione nella cartografia di MS

L'indice LPI è definito nel modo seguente:

$$LPI = \int_0^{20} F W(LPIz) dz$$

Dove:

- F(z) è una variabile con valori compresi tra 0 e 1, definita ad ogni profondità $0 \leq z \leq 20$ in funzione del valore che, a quella profondità, assume il fattore di sicurezza alla liquefazione FSL
- w(z) è un fattore di peso della profondità.

In sostanza il rischio di liquefazione tiene conto del fattore di sicurezza calcolato strato per strato, ma ne valuta la significatività su tutto lo spessore del deposito.

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FSL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_{\sigma}$$

dove:

$CRR_{7.5}$ = Rapporto di resistenza ciclica per M=7.5 (Cyclic Resistance Ratio)

MSF = fattore di scala della magnitudo (Magnitude Scale Factor)

K_{σ} = Fattore di correzione per la pressione di confinamento

CSR = rapporto di tensione ciclica (Cyclic Stress Ratio)

Nelle verifiche effettuate nel presente studio, per il calcolo del CRR è stato utilizzato il metodo NCEER (modificato da Robertson 2009) implementato dal programma CLIQ della Geologimiki.

In Fig. 26 viene presentata, in forma di flow-chart, la procedura di calcolo di CRR utilizzata dal programma per la verifica con il metodo NCEER.

In tali verifiche, come valori di CSR, sono stati utilizzati quelli calcolati dal programma CLIQ.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	40 di 62

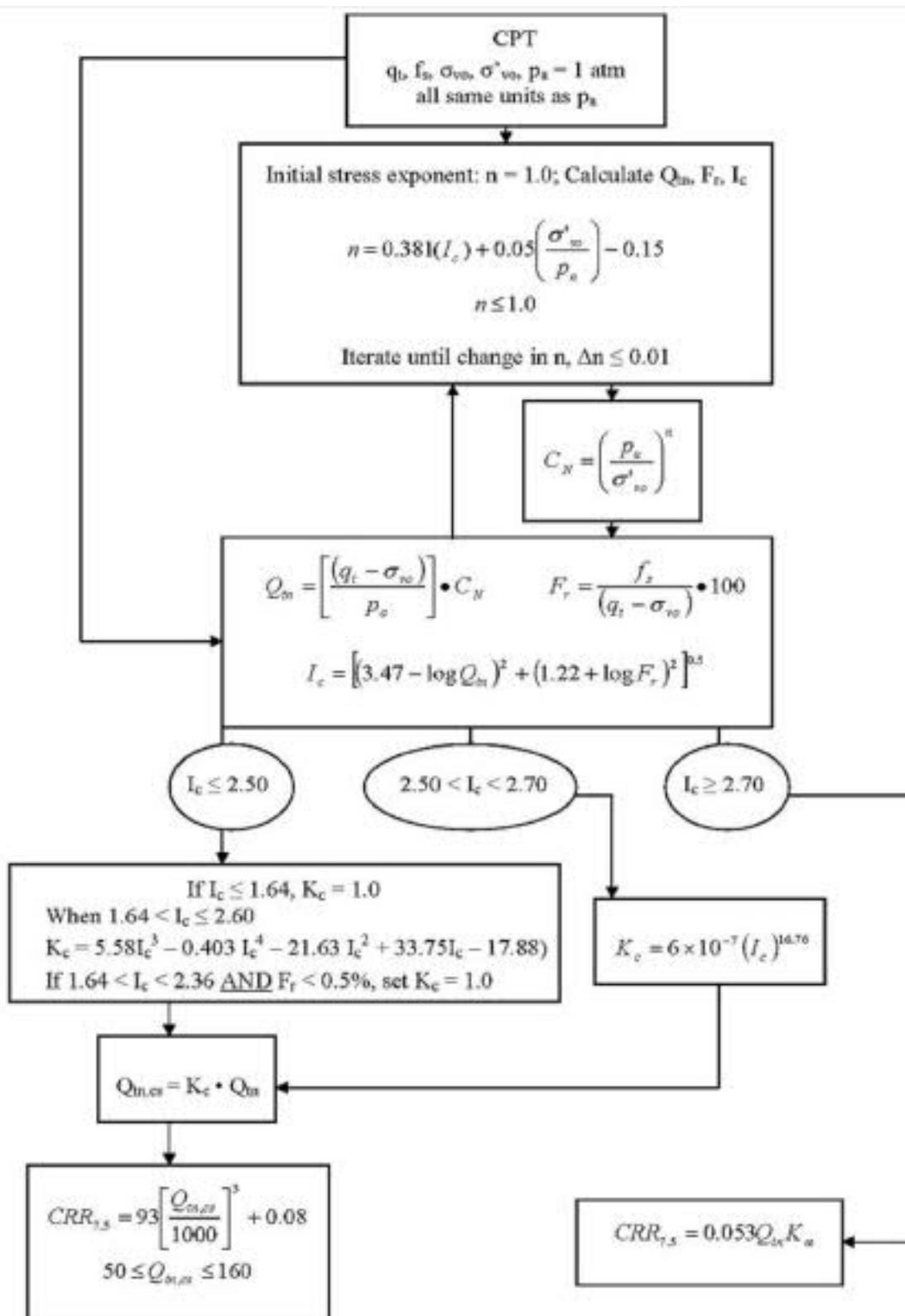


Fig. 26 - Flow chart della procedura di verifica NCEER modificata da Robertson (2009)

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

Inoltre, per la verifica, oltre ai dati delle prove CPTU ed SCPTU, è necessario fornire al programma, l'accelerazione (che nel presente caso è ricavata dalle verifiche di RSL illustrate nel capitolo precedente) e la magnitudo attesa al sito, descritta nel paragrafo successivo (paragrafo 4.2).

4.2 Disaggregazione e magnitudo

Per poter definire la magnitudo di riferimento è necessario dapprima definire le caratteristiche sismogenetiche del sito, cioè definire la coppia di dati magnitudo-distanza che meglio caratterizzano il sito stesso.

Tale operazione, nota come disaggregazione, consiste nell'individuazione, a partire da uno studio di pericolosità sismica con metodo probabilistico, delle coppie di dati (magnitudo e distanza) che maggiormente concorrono alla sismicità di un sito.

A tale scopo, si sono utilizzati i dati dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) che fornisce i valori disaggregati magnitudo-distanza, ovvero, il contributo percentuale delle diverse coppie di dati magnitudo-distanza alla pericolosità di base con riferimento ai nodi del reticolo di riferimento, individuato dall'Allegato A delle NTC 2008 (nel caso in esame, si è considerato il nodo 14271, in quanto il più prossimo alle aree indagate).

Secondo le NTC, le verifiche SLV (quelle di interesse principale, per esempio, per la liquefazione) nel caso studio prevedono un tempo di ritorno di 475 anni (parametri di progetto paragrafo 3.1) ed il sito INGV è in grado di fornire informazioni per tali tempi di ritorno.

Come si osserva in Fig. 27 il sito fornisce sia direttamente i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon, ma anche i dati che consentono di ricostruire la curva di probabilità di accadimento di un evento che tiene conto di tutte le coppie magnitudo-distanza vicine all'area di interesse.

Per il sito in questione si constata che il massimo contributo percentuale alla pericolosità sismica di base è fornito per terremoti di magnitudo compresa tra 4.0 e 5.5 nel range di distanza tra 0 e 20 Km.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	42 di 62

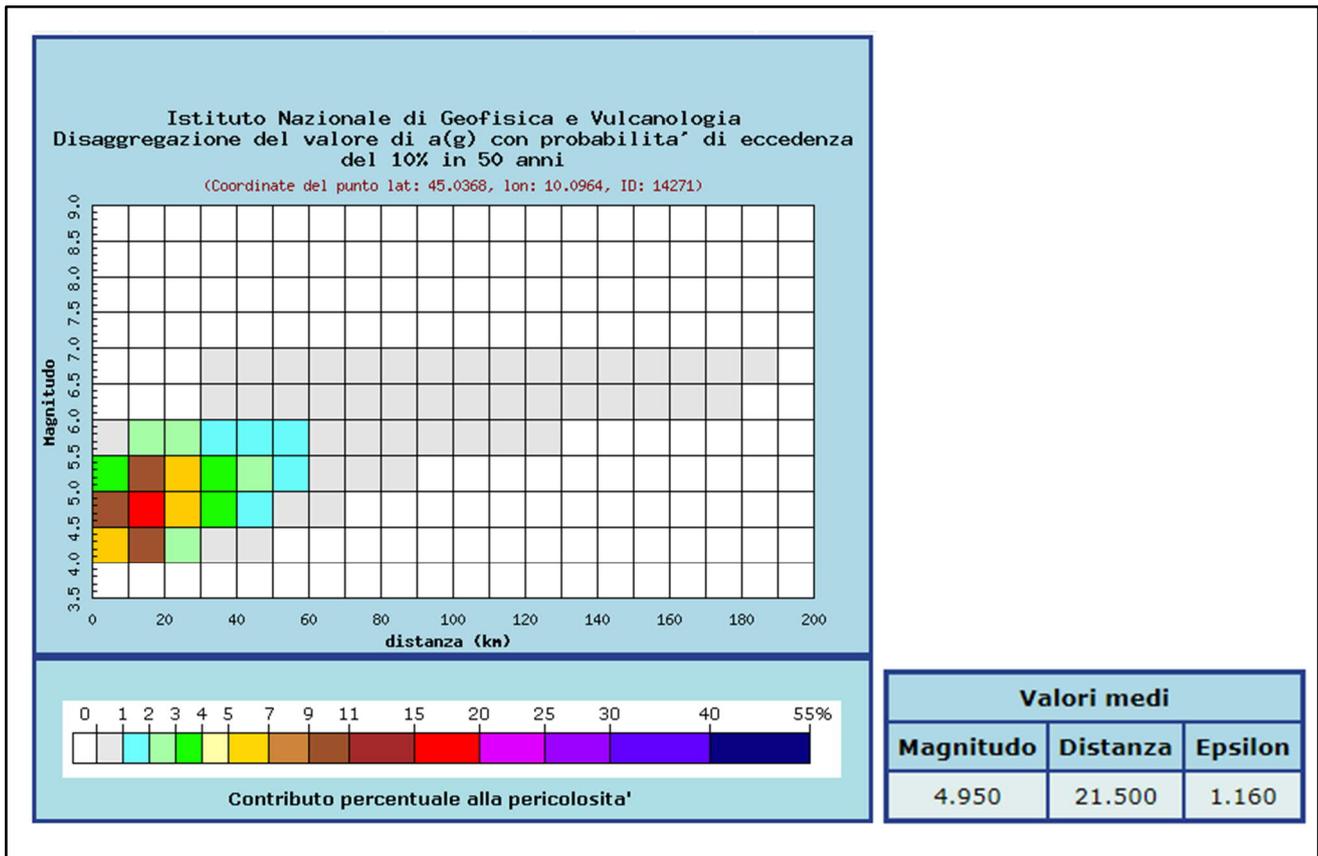


Fig. 27 – Disaggregazione magnitudo distanza per il nodo 14271 da INGV

Sulla base dei dati disponibili si possono ricostruire le curve di probabilita' che consentono di tener conto delle diverse probabilita' di accadimento di un evento con diversi tempi di ritorno (Fig. 28). Esaminando questa curva si osserva che il valore di magnitudo (Mw) corrispondente al 90esimo percentile e' circa pari a 5.7.

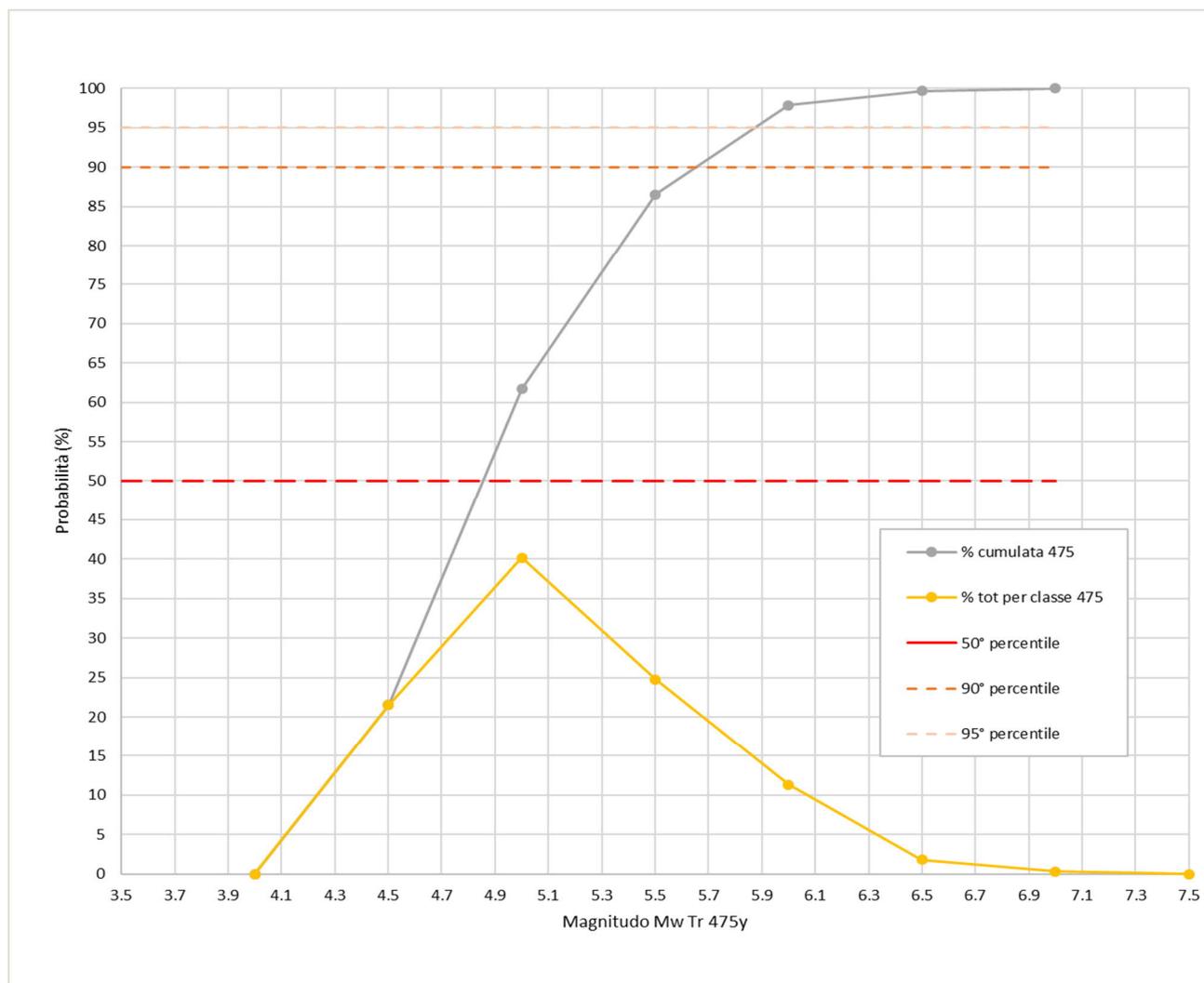


Fig. 28 – Calcolo della magnitudo di riferimento sulla base dei dati di Fig. 27

4.3 Analisi dei risultati

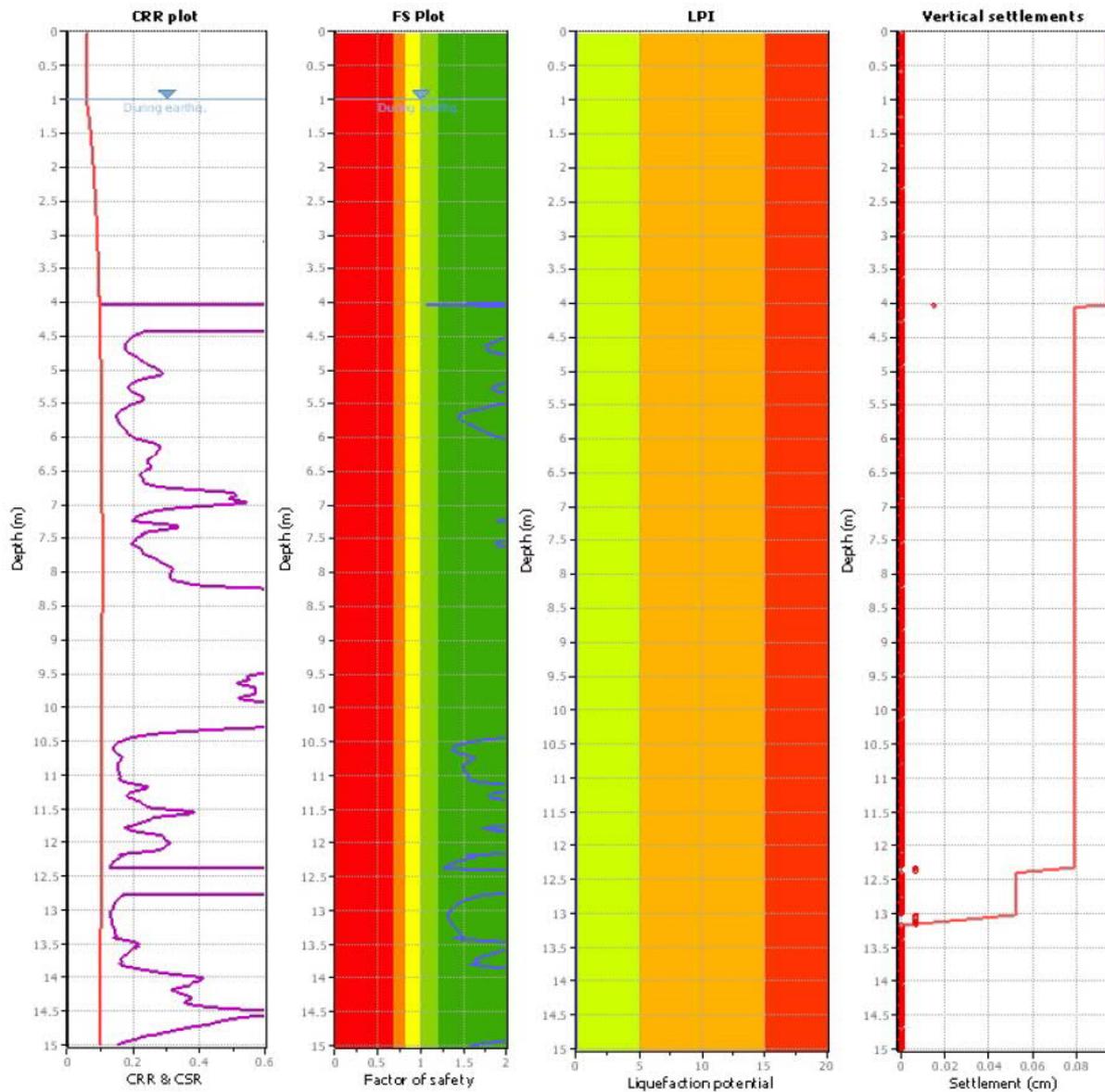
Per tutte le analisi effettuate è stato utilizzato il valore di magnitudo $M = 5.7$, calcolato come illustrato nel paragrafo precedente. Quale valore di PGA è stato utilizzato il massimo ricavato dall’analisi di risposta sismica locale, pari a 0.20 g.

Considerata la scarsa disponibilità di dati idrogeologici relativi all’oscillazione stagionale della falda, tutte le verifiche sono state tutte effettuate ponendo, prudenzialmente, il livello di falda a -1 m da p.c..

Per ciascuna prova è stato prodotto un report che contiene sia i grafici interpretativi della prova stessa (resistenze penetrometriche, litologia, ecc.), sia i grafici relativi alla liquefazione ed in particolare (cfr. esempio di Fig. 29):

- Il confronto tra CSR e CRR

- La variazione del fattore di sicurezza
- La cumulata del valore di LPI
- La cumulata del valore dei cedimenti



F.S. color scheme

- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Fig. 29 – Grafici delle verifiche di liquefazione

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

In Tab. 13 vengono rappresentati rispettivamente i valori di LPI calcolati mediante il metodo di Robertson (2009) per tutte le verticali indagate.

Prova	Codice SoftMS	LPI	Livello di rischio
CPTU1 2018	034029P17CPTU17	0.19	Nulla
CPTU2 2018	034048P65CPTU65	0	Nulla
CPTU3 2018	034048P66CPTU66	2.79	Moderato
CPTU4 2018	034048P67CPTU67	2.54	Moderato
CPTU5 2018	034048P68CPTU68	3.09	Moderato
SCPTU1 2018	034048P64SCPT64	4.09	Moderato
SCPTU2 2018	034029P18SCPT18	4.78	Moderato
CPTU1 2019	034029P45CPTU45	3.12	Moderato
CPTU2 2019	034029P46CPTU46	0.47	Basso
CPTU3 2019	034029P42CPTU42	1.98	Basso
CPTU4 2019	034029P41CPTU41	5.04	Alto
CPTU5 2019	034029P40CPTU40	0.18	Basso
CPTU6 2019	034029P43CPTU43	3.29	Moderato
CPTU7 2019	034029P47CPTU47	3.27	Moderato
CPTU8 2019	034029P44CPTU44	1.29	Basso
CPTU9 2019	034048P89CPTU89	4.78	Moderato
SCPTU1 2019	034048P88SCPT88	5.09	Alto

Tab. 13 – Valori di LPI e cedimenti attesi

I dati sopra riportati evidenziano come il territorio di Polesine Zibello sia interessato dalla presenza di depositi sabbiosi sotto falda, potenzialmente soggetti al rischio di liquefazione con grado moderato o basso, solo in corrispondenza di due prove il rischio è da considerarsi alto.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	46 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

5. ELABORATI CARTOGRAFICI

5.1 Carte delle indagini

Nella Carta delle indagini (Elaborati 1a e 1b), alla scala 1:10.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove eseguite nell'ambito del presente lavoro (per i cui report si faccia riferimento all'Elaborato 7) e dei dati pregressi relativi a indagini geognostiche e/o sismiche inserite nel precedente studio di secondo livello.

In tale cartografia, il territorio comunale viene suddiviso in 2 tavole: una per il settore est e una per il settore ovest.

Le prove sono state distinte in base alla tipologia, come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 30, in Tab. 14 viene invece riportato il relativo numero di prove indicate nella tavola e riportate nel database collegato.

Tipo di indagine	n°
Trincea o pozzetto esplorativo	1
Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)	65
Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)	14
Prova penetrometrica statica con piezocono sismocono (SCPTU)	3
Prova penetrometrica dinamica media	3
Stazione microtremore a stazione singola	50
Stazione Zona MS (teorica)	7
Prova MASW	3

Tab. 14 – Riepilogo delle indagini geognostiche presenti sul territorio comunale

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	47 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

-  Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
-  Prova penetrometrica statica con piezocono
-  Prova penetrometrica dinamica media
-  Trincea o pozzetto esplorativo
-  Prova penetrometrica con cono sismico
-  Stazione microtremore a stazione singola
-  Stazione Zona MS (teorica)
-  MASW

Fig. 30 – Legenda della Carte delle indagini

Nella Carta delle indagini è stato creato anche un elemento puntuale per ciascuna delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), che saranno trattate nel paragrafo 5.4, cui viene fatta corrispondere la relativa colonna stratigrafica definita nello stesso paragrafo.

5.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica

Nella Carta geologico-tecnica (Elaborati 2a e 2b) sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici locali d'interesse per l'analisi della pericolosità sismica (in particolare quelli che possono modificare il moto sismico in superficie), quali: le tipologie delle coperture e del substrato geologico, le aree instabili e quelle potenzialmente soggette a dissesti e gli elementi tettonico-strutturali.

Questa cartografia rappresenta revisione di quella redatta per gli studi di secondo livello e prende in esame l'intero territorio comunale (sempre suddiviso in 2 tavole: una per il settore est e una per il settore ovest), come esplicitamente raccomandato al punto 3.1.1 dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui alla DGR 630/2019.

Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultati funzionali alla realizzazione delle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1), che saranno descritte nel successivo paragrafo 5.4.

Nel presente studio, per la stesura delle Carte geologico-tecniche, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- Quadro Conoscitivo della Variante Generale al Piano Infraregionale delle Attività Estrattive della Provincia di Parma approvata con atto di C.P. n. 117 del 21/12/2008;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Variante in adeguamento alla L.R. 19/2008 “Norme per la riduzione del rischio sismico” approvata con atto di C.P. n. 23 del 17/04/2013;

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	48 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

- “Carta geologica d’Italia” alla scala 1:50.000, Foglio 181 “Parma Nord” realizzato secondo le normative del Progetto CARG;
- Carta Geologica di Pianura dell’Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata con il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione della Emilia-Romagna;
- Indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo 5.1.

Dall’esame dei dati disponibili, si osserva che il territorio indagato, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- il primo sottosuolo, fino a profondità normalmente comprese tra 2 e 4 m da p.c., ma localmente tale strato è assente, è caratterizzato, dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente fini (limi e argille);
- sotto i depositi fini, o talora direttamente in superficie, sono presenti depositi limoso sabbiosi, talora sabbioso limosi, in fitte alternanze lentiformi, fino ad una profondità di 5 - 10 m da piano campagna. Tali depositi sono prevalenti, fin dalla superficie, nell’area golenale del Po.
- Oltre tale profondità sono presenti i depositi sabbiosi del Fiume Po, che dalle pochissime stratigrafie profonde riscontrate raggiungono i 40 m circa di profondità.
- Un secondo banco sabbioso è presente da circa 50 m fino a 90 m di profondità, intervallato dal precedente da una lente argillosa.

Nelle Carta geologico tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente. Dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

- SM – Sabbie limose, miscela di sabbia e limo: sono dovute alla deposizione, in ambiente di canale, da parte del fiume Po e sono state cartografate sia all’interno della golenale dello stesso corso d’acqua.
- ML - Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi: interessano la porzione più ampia del territorio comunale, all’interno della quale ricadono, quasi completamente, tutte le aree oggetto della presente microzonazione. Sono il risultato di una deposizione in ambiente di piana inondabile.
- CL – Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille limose: si tratta di depositi, sempre di piana inondabile, che interessano la porzione sud orientale del Comune.

Sono stati altresì indicati gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura distinguendo:

- pi - piana inondabile;
- es – canale.

Quali forme di superficie sono stati raffigurati alcuni assi di paleoalvei; mentre, gli unici elementi strutturali che si sono potuti rappresentare sono 2 faglie inverse non attive, incerte, presenti all’estremità sud-orientale del Comune.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	49 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

Infine, nella Carta geologico-tecnica sono stati raffigurati alcuni pozzi, indicando i valori di soggiacenza della falda freatica, necessari alla successiva definizione delle zone potenzialmente instabili per fenomeni liquefazione.

Tali dati evidenziano che i depositi sabbiosi risultano sempre in falda.

In Fig. 31 di seguito, viene riportato uno stralcio della legenda delle Carte geologico-tecniche eseguite per lo studio di microzonazione del comune di Polesine Zibello.

Terreni di copertura

	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile
	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di argine/barre/canale
	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di piana inondabile
	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di Argine/barre/canali

Elementi geologici e idrogeologici

- Profondità della falda in aree con sabbie e/o ghiaie

Forme di superficie e sepolte/elementi tettonico-strutturali

- Asse di paleoalveo
- ▲-▲-▲-▲ Faglia inversa non attiva (incerta)

Fig. 31 – Stralcio da legenda delle Carte geologico – tecniche

5.3 Carte delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili pregressi, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni (Elaborato 3), sempre a scala 1:10.000.

In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura (42), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

Gli indirizzi tecnici a cui si è fatto riferimento prescrivono, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	50 di 62

- $F_0 \leq 0,6$ Hz
- $0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$ Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$ Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$ Hz
- $F_0 > 8$ Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, da un contrasto di impedenza elevato (ampiezza picco $HVSR \geq 3$), moderato (ampiezza picco $2 \leq HVSR < 3$), basso (ampiezza picco $1,5 \leq HVSR < 2$) o non significativo (ampiezza picco $H/V \leq 1,5$).

Quando presente è stata indicata anche la frequenza del picco secondario.



Fig. 32 – Stralcio della legenda della Carta delle frequenze

Dalla lettura della Carta delle frequenze naturali dei terreni, si osserva che, in Comune di Polesine Zibello, sono individuabili due distinte classi di frequenza (Fig. 33):

- La prima è compresa tra 1 e 2 Hz circa, con qualche punto fino a 4 Hz, ed identifica un contrasto di impedenza relativamente profondo, anche se, sicuramente, ancora non il bedrock sismico.
- la seconda, compresa tra 13 e 20 Hz, identifica, invece un contrasto più superficiale, in genere associato al passaggio dai depositi coesivi più superficiale a quelli sabbiosi a profondità comprese tra 2 e 5/7 m.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	51 di 62

Va rilevato che l'ampiezza del rapporto H/V è sempre molto modesta, compresa tra 1.5 e 2, raramente 2.5. indicando che la differenza di velocità tra i diversi depositi è abbastanza modesta.

Il grafico di Fig. 33, inoltre, evidenzia che in quasi tutte le prove esistono i due contrasti di impedenza sopra indicati, e con ampiezze molto vicine tra loro.

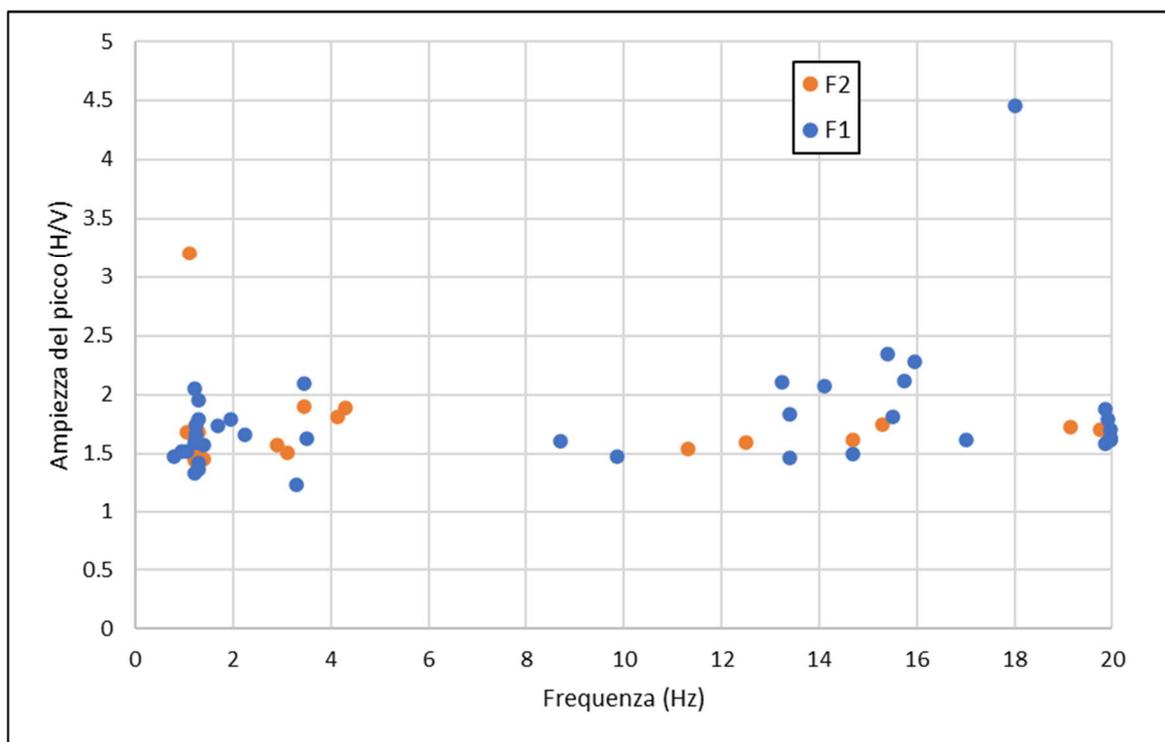


Fig. 33 – Classi di frequenza principali e secondarie

5.4 Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) (Elaborati 3a e 3b), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

Nel presente lavoro è stato necessario effettuare una revisione delle tavole facenti parte dello studio conforme agli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" e agli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica" (cfr. verbali della riunione della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica del 19 luglio 2018), soprattutto, per ottemperare a quanto raccomandato al punto 3.1.1 dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui alla DGR 630/2019: ovvero di redigere tali cartografie per l'intero territorio comunale.

Con l'occasione, sulla base dei risultati delle nuove indagini geognostiche effettuate, si è provveduto anche alla ridefinizione della perimetrazione delle zone stabili e instabili.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	52 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

Anche in questo caso sono stati prodotti 2 elaborati cartografici: uno per il settore est e uno per il settore ovest.

In questa cartografia il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti 3 categorie:

1. zone stabili. Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti.
2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale.
3. zone di attenzione per instabilità. Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del terreno, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione.

Dalla lettura della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in Comune di Polesine Zibello, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili. Invece, sono state individuate le seguenti tre Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali:

- Zona 1, caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso-limosi, di spessore pari a 2÷4 m che ricoprono limi sabbiosi e sabbie limose che si estendono fino a -5 m da p.c., seguiti da sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute almeno fino a 20 m di profondità, in matrice limosa o limoso argillosa talora abbondante.
- Zona 2, caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso-limosi, di spessore pari a 2÷4 m che ricoprono limi sabbiosi e sabbie limose che si estendono fino a -5÷-10 m da p.c., seguiti da sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute almeno fino a 20 m di profondità, in matrice limosa o limoso argillosa talora abbondante.
- Zona 3, caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da depositi limosi e limoso-sabbiosi di spessore pari a 0÷3 m che ricoprono sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute almeno fino a 20 m di profondità, in matrice limosa o limoso argillosa talora abbondante.

Ed inoltre, 2 tipologie di zone di attenzione per instabilità

- ZALO – Zona di attenzione per liquefazioni – Zona 4, caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso-limosi, di spessore pari a 2÷4 m che ricoprono limi sabbiosi e sabbie limose che si estendono fino a -5 m da p.c., seguiti da sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute almeno fino a 20 m di profondità.
- ZALO – Zona di attenzione per liquefazioni – Zona 5, caratterizzata da una successione stratigrafica costituita da depositi prevalentemente argilloso-limosi, di spessore pari a 2÷4 m che ricoprono limi sabbiosi e sabbie limose che si estendono fino a -7÷-10 m da p.c., seguiti da sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute almeno fino a 20 m di profondità.

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	53 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

In Fig. 34, viene riportato uno stralcio della legenda della Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica eseguite per il seguente studio.

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001** Zona 1
 successione stratigrafica costituita da depositi argilloso limosi di spessore pari a 2-4 metri che ricoprono limi sabbiosi e sabbie limose che si estendono sino a -5,00 m da p.c., seguiti da sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute sino ad almeno -20,00 m da p.c., in matrice limosa o limoso argillosa talora abbondante
- 2002** Zona 2
 successione stratigrafica costituita da depositi argilloso limosi di spessore pari a 2-4 metri che ricoprono limi sabbiosi e sabbie limose che si estendono sino a -7,00/-10,00 m da p.c., seguiti da sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute sino ad almeno -20,00 m da p.c., in matrice limosa o limoso argillosa talora abbondante
- 2003** Zona 3
 successione stratigrafica costituita da depositi limosi e limoso-sabbiosi di spessore pari a 0-3 metri che ricoprono sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute sino ad almeno -20,00 m da p.c., in matrice limosa o limoso argillosa talora abbondante

Zone di attenzione per instabilità

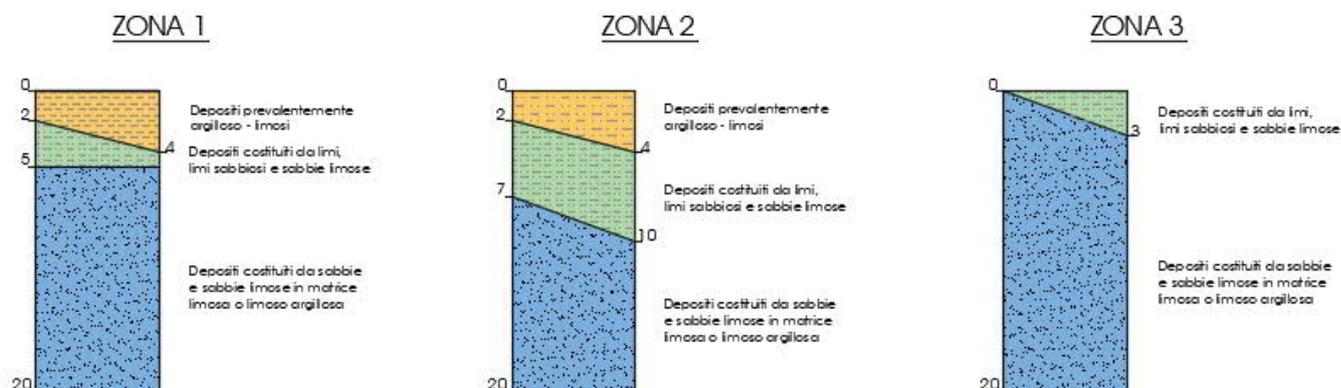
- 30502004** ZA-LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 4
 successione stratigrafica costituita da depositi argilloso limosi di spessore pari a 2-4 metri che ricoprono limi sabbiosi e sabbie limose che si estendono sino a -5,00 m da p.c., seguiti da sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute sino ad almeno -20,00 m da p.c.
- 30502005** ZA-LQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 5
 successione stratigrafica costituita da depositi argilloso limosi di spessore pari a 2-4 metri che ricoprono limi sabbiosi e sabbie limose che si estendono sino a -7,00/-10,00 m da p.c., seguiti da sabbie e sabbie ghiaiose rinvenute sino ad almeno -20,00 m da p.c.

Fig. 34 – Legenda della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Nella seguente figura sono rappresentati i profili stratigrafici caratteristici delle microzone sopradescritte.

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGY</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	54 di 62

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone di attenzione per instabilità

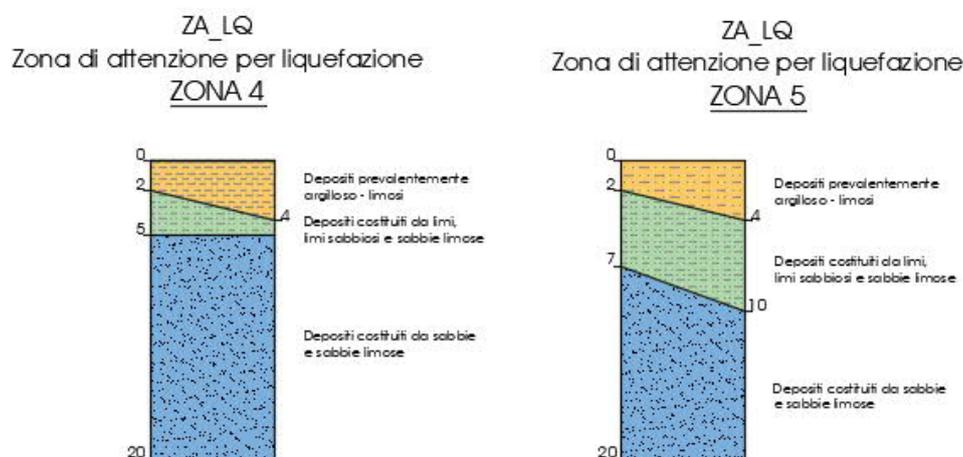


Fig. 35 – Colonne litostratigrafiche sintetiche, rappresentative delle microzone

5.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S

In ottemperanza ai riferimenti tecnici citati nelle premesse, considerata l’acquisizione di un nuovo valore di Vs relativo alla nuova prova penetrometrica con sismocono SCPTU1-2019 eseguita, è stata aggiornata la Carta delle velocità delle onde di taglio S (Elaborato 5) allegata agli studi di microzonazione di secondo livello già certificati.

In tale elaborato sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli a seconda della tipologia di prova effettuata (prova tromografica, MASW o SCPTU) e indicato il corrispondente valore di Vs₃₀ (in m/s), dove:

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	55 di 62

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

h_i = spessore (in metri) dello strato i -esimo (fino alla profondità di 30 m);

V_{S_i} = velocità (in m/s) dello strato i -esimo (fino alla profondità di 30 m).

A riguardo, va chiarito che si è utilizzata sempre la $V_{S_{30}}$, in quanto, indipendentemente dall'interpretazione delle prove tomografiche, è presumibile che il contrasto di velocità più significativo si rinvenga a una profondità superiore a 50 m.

I risultati ottenuti, una volta mediati e con alcune correzioni a favore di sicurezza, hanno consentito di definire dei valori di $V_{S_{30}}$ da assumere per il calcolo dei fattori di amplificazione sismica nel successivo paragrafo 5.6.

5.6 Carte di microzonazione sismica

Le Carte di microzonazione sismica di Livello 3 in scala 1: 5.000 sono state realizzate facendo riferimento ai locali approfondimenti di terzo livello.

Dette carte sono riferite al solo territorio urbanizzato e urbanizzabile, definito in accordo con l'Amministrazione Comunale e già oggetto di zonazione (cfr. paragrafo 1.1), dei principali centri abitati, in cui sono stati reperiti dati geognostici in numero sufficiente da consentire una zonazione, ovvero: Polesine, Zibello, Ongina, Vidalenzo, Santa Croce, La Motta, Pieveottoville, zona artigianale Zibello nord, zona artigianale Zibello sud, Ardola, Stradazza, area artigianale Cascina Boschetto, Varana e Guassone.

Come precedentemente indicato, l'amplificazione è stata calcolata per un tempo di ritorno $TR=475$ anni, con smorzamento $\zeta =5\%$, relativamente ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- $FA_{PGA} = PGA/PGA_0$, dove PGA_0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ al suolo di riferimento e PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo $T=0$ alla superficie del sito;
- $FA_{SA} = SA/SA_0$, dove SA_0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T :
 - SA1 per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - SA2 per $0,4s \leq T \leq 0,8s$,
 - SA3 per $0,7s \leq T \leq 1,1s$,
 - SA4 per $0,5s \leq T \leq 1,5s$;

 EN GEO S.r.l. <small>ENGINEERING GEOLOGIST</small>	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	56 di 62

- $FH_{SI} = SI/SI_0$, dove SI_0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi T:
 - $SI1$ per $0,1s \leq T \leq 0,5s$,
 - $SI2$ per $0,5s \leq T \leq 1,0s$,
 - $SI3$ per $0,5s \leq T \leq 1,5s$.

Alle aree in cui non sono stati effettuati approfondimenti di terzo livello, sono stati attribuiti i fattori di amplificazione relativi alla verticale di RSL più vicina, valutando sempre le caratteristiche geologico-sismiche e stratigrafiche del sottosuolo.

I fattori di amplificazione calcolati, come sopradescritto sono stati rappresentati nelle relative carte, effettuando gli accorpamenti indicati dagli SRAI e riportati nella seguente figura.

	1.1 - 1.2
	1.3 - 1.4
	1.5 - 1.6
	1.7 - 1.8
	1.9 - 2.0
	2.1 - 2.2
	2.3 - 2.4
	2.5 - 3.0
	3.1 - 3.5
	>3.5

Fig. 36 – Legenda adottata per l'accorpamento dei fattori di amplificazione nelle zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Nelle stesse carte, le zone suscettibili di liquefazione sono state cartografate contrassegnandole con l'apposito retino, ma con colore di fondo dato dall'amplificazione calcolata utilizzando i fattori di amplificazione appartenenti alla verticale di RSL più vicina.

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO	Terzo livello di approfondimento
Studio di microzonazione sismica	Risposta Sismica Locale

5.7 Carte dello scuotimento atteso

Quali ultimi elaborati grafici, come prescritto dalla DGR 630/2019, sono state redatte delle carte della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2).

Tale parametro è definito come il prodotto dell'Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione, calcolato per un determinato intervallo di periodi, diviso per ΔT e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

Gli intervalli di periodi considerati sono:

- $0,1s \leq T \leq 0,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - H_{SM}),
- $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM0,4-0,8s}$),
- $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM0,7-1,1s}$),
- $0,5s \leq T \leq 1,5s$ (cfr. Carta di microzonazione sismica - $H_{SM0,5-1,5s}$),

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, per $0,1s \leq T \leq 0,5s$, per i punti della griglia INGV, per un tempo di ritorno T_R uguale a 475 anni (corrispondente a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni), sono forniti dal file `all_4_coord.kmz`, nella cartella `Allegato_4.zip`, disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

Per gli altri intervalli di periodo sono, invece, stati calcolati, sempre per $T_R=475$ anni, dallo spettro su suolo A utilizzando i dati di accelerazione spettrale ($Se(T)$) forniti da INGV⁴ nell'ambito degli studi per la redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274.

In particolare, considerato che i dati di accelerazione spettrale vengono forniti per periodi di 0.10, 0.15, 0.30, 0.40, 0.50, 0.75, 1.50, 2.00 secondi, per valutare i valori di ASI negli intervalli di periodo sopra citati è stato necessario procedere a interpolazioni, per ottenere i valori a 0.7, 0.8 e 1.1 secondi.

Una volta calcolati, i valori di H_{SM} sono stati riportati nelle varie carte di scuotimento atteso, grazie a un'etichetta riferita a ciascun poligono esaminato; mentre il colore indica l'appartenenza dello stesso a una delle classi con intervallo pari a 100 definite dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

⁴ Montaldo V., Meletti C., 2007. Valutazione del valore della ordinata spettrale a 1sec e ad altri periodi di interesse ingegneristico. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D3, <http://esse1.mi.ingv.it/d3.html>

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	58 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

6. BIBLIOGRAFIA

- Albarelo D., Castellaro S. (2011). TECNICHE SISMICHE PASSIVE: INDAGINI A STAZIONE SINGOLA, Ingegneria Sismica Anno XXVIII - n. 2 – 2011, Appendice I e II, pp 50-62
- Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014
- Bernini M., Papani G. (1987) - Alcune considerazioni sulla struttura del margine appenninico emiliano tra lo Stirone e l'Enza (e sue relazioni con il sistema del Taro). L'Ateneo Parmense - Acta Naturalia, 24, 219-240.
- Engeo s.r.l. (2018): Studi di microzonazione sismica con approfondimenti di primo e secondo livello del comune di Polesine Zibello, con dichiarazione di conformità da parte della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica
- ICMS, 2008: Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica. Gruppo di lavoro MS. Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome
http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137
- Idriss I.M., Sun J.I. (1992) - SHAKE91 – a computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soils deposits. University of California, Davis.
- ISIDe Working Group INGV (2015): Italian Seismological Instrumental and parametric Database.
<http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp>
- Gruppo di lavoro MS, 2008. "INDIRIZZI E CRITERI PER LA MICROZONAZIONE SISMICA". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>
- Madiai C., Facciorusso J. Vannucchi G. Martelli L. (2012) – in Microzonazione sismica, uno strumento consolidato per la riduzione del rischio. L'esperienza della Regione Emilia Romagna . RER 2012.
- Marcellini A., Martelli L, Tento A., Daminelli R. - L'AMPLIFICAZIONE SISMICA NEGLI "INDIRIZZI PER GLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA IN EMILIA-ROMAGNA PER LA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E URBANISTICA" (2009)

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	59 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

- Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi G., Madiati C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G.– (2014) Cartografia speditiva dell'amplificazione e del rischio di liquefazione nelle aree epicentrali del terremoto dell'Emilia 2012 (ML=5.9). Atti del 32 convegno GNGTS 2013
- Martelli L., Severi P., Biavati G., Rosselli S., Camassi R., Ercolani E., Marcellini A., Tento A., Gerosa D., Albarello D., Guerrini F., Lunedei E., Pileggi D., Pergalani F., Compagnoni M., Fioravante V. e Giretti D. (2014) Analysis of the local seismic hazard for the stability tests of the main bank of the Po River (northern Italy), Boll. Geof. Teor. Appl., 55, 119-134
- Martelli L., Ercolessi G., Sani F., Bonini M., Corti G., Santulin M., Tamaro A., Rebez A., Slejko D. (2017): Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino Settentrionale – Proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche – Rapporto conclusivo
- Meletti C. e Valensise G. (2004). ZONAZIONE SIMOGENETICA ZS9-APP. 2 AL RAPPORTO CONCLUSIVO. In: "Gruppo di Lavoro MPS (2004).Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003 ". Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- Molin D., Stucchi M. e Valensise G. (1996). MASSIME INTENSITÀ MACROSISMICHE OSSERVATE NEI COMUNI ITALIANI. elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile
- Naso G., Martelli L., Baglione M., Brammerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): Maps for land management: from geology to seismic hazard. Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263
- PROVINCIA DI PARMA - Quadro Conoscitivo della Variante Generale al Piano Infraregionale delle Attività Estrattive della Provincia di Parma approvata con atto di C.P. n. 117 del 21.12.2008
- PROVINCIA DI PARMA - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale – Variante in adeguamento alla L.R. 19/2008 " Norme per la riduzione del rischio sismico" approvata con atto di C.P. n. 23 del 17.04.2013
- RER – ENI, Agip "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna" (1998) a cura di G. Di Dio
- Rollins K.M., Evans M.D., Diehl N.B., Daily W.D. (1998) – Shear modulus and damping relationships for gravels. JGGE, 124, 396-405

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGIST	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	60 di 62

PROGETTO	LIVELLO
COMUNE DI POLESINE ZIBELLO Studio di microzonazione sismica	Terzo livello di approfondimento Risposta Sismica Locale

- Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] "Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms", Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016): CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>
- Seed H.B., Idriss I.M. (1970) - Soil Moduli and damping factors for dynamic response analysis. EERC-Report 70-10, Berkeley, California
- Seed H.B., Sun J.H. (1989) - Implication of site effects in the Mexico City earthquake of September 19, 1985 for Earthquake-Resistant Design Criteria in the San Francisco Bay Area of California. Report No. UCB/ EERC-89/03, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley
- Tento A., Martelli L., Marcellini A. (2015) Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna. CNR UO di supporto Milano.
- CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA. FOGLIO 181 "PARMA NORD", alla scala 1:50.000, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna
- CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA ED AREE LIMITROFE – Scala 1:250.000 (2017) - Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Geoscienze e Georisorse –Università degli Studi di Firenze – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- GUIDELINES FOR DETERMINATING DESIGN BASIS GROUND MOTIONSTR-102293s-V1-V5 EPRI (1993) –
- GUIDELINES FOR THE IMPLEMENTATION OF THE H/V SPECTRAL RATIO TECHNIQUE ON AMBIENT VIBRATIONS MEASUREMENTS, PROCESSING AND INTERPRETATION - SESAME European research project, dicembre 2004
- MICROZONAZIONE SISMICA, UNO STRUMENTO CONSOLIDATO PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO. L'esperienza della Regione Emilia-Romagna (2012) – Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli

 EN GEO S.r.l. ENGINEERING GEOLOGY	Elaborato	Data	Agg.	Pag.
	Relazione illustrativa	Aprile 2020	0	61 di 62

7. ALLEGATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici:

Elaborato 1.a	Carta delle indagini – Settore Ovest	scala 1:10.000
Elaborato 1.b	Carta delle indagini – Settore Est	scala 1:10.000
Elaborato 2.a	Carta geologico tecnica – Settore Ovest	scala 1:10.000
Elaborato 2.b	Carta geologico tecnica – Settore Est	scala 1:10.000
Elaborato 3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	scala 1:5.000
Elaborato 4a	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Settore Ovest	scala 1:10.000
Elaborato 4b	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Settore Est	scala 1:10.000
Elaborato 5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	scala 1:5.000
Elaborato 6.a	Carta di microzonazione sismica - FA_{PGA}	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.1	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,1-0,5 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.2	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,4-0,8 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.3	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,7-1,1 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.b.4	Carta di microzonazione sismica - $FA_{SA 0,5-1,5 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.C.1	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI 0,1-0,5 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.C.2	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI 0,5-1,0 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.C.3	Carta di microzonazione sismica - $FH_{SI 0,5-1,5 s}$	scala 1:5.000
Elaborato 6.d	Carta di microzonazione sismica - H_{SM}	Scala 1:5.000
Elaborato 6.e.1	Carta di microzonazione sismica – $H_{SM 0,4-0,8 s}$	Scala 1:5.000
Elaborato 6.e.2	Carta di microzonazione sismica – $H_{SM 0,7-1,1 s}$	Scala 1:5.000
Elaborato 6.e.3	Carta di microzonazione sismica – $H_{SM 0,5-1,5 s}$	Scala 1:5.000

Inoltre, alla presente relazione, sono allegati:

Elaborato 7	Nuova campagna d'indagine
-------------	---------------------------