



E-mail: t.veronese@studio-sst.it

22 aprile 2022

Timbro

Thomas Veronese

INDICE:

1. PREMESSA	2
NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO	3
2. INTRODUZIONE.....	4
3. PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	5
CARTA DELLE INDAGINI.....	5
CARTA GEOLOGICO TECNICA	13
CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI	16
CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI – MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA.....	18
4. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	20
CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs)	20
5. TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	23
CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO	23
CARTA DELL'INDICE DI LIQUEFAZIONE I _{PL}	43

ALLEGATI:

- ALLEGATO A – Analisi della Risposta Sismica Locale (Dott. Thomas Veronese)
ALLEGATO B – Indagini geofisiche (Teamgeofisica.ceg)
ALLEGATO C – Certificati carotaggio continuo per prelievo campioni indisturbati (GeoFe)
ALLEGATO D – Certificati prove di laboratorio geotecnico (ISMGEO)

1. PREMESSA

Come da richiesta di integrazioni di Arpae del Servizio Autorizzazioni e Concessioni di Ravenna del 20/01/2022 con Rif. Emilia-Romagna n. PG/740593 del 20/08/2021, Fascicolo n. 1317/26/2021 per il: PROCEDIMENTO UNICO DI VIA PER IL RILASCIO DEL PROVVEDIMENTO AUTORIZZATORIO UNICO REGIONALE (PAUR), COMPRENSIVO DI VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE (VIA), AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE (AIA) AI SENSI DEL D. LGS. N.152/2006, DELLA L.R. N.4/2018 E DELLA L.R. N. 21/2004 RELATIVO AL PROGETTO “PROGETTO PER AMMODERNAMENTO E MIGLIORAMENTO SISTEMAZIONE DELL'IMMOBILE ADIBITO A MANGIMIFICIO SITO IN COMUNE DI BAGNARA DI ROMAGNA (RA) PRESENTATO DA EUROVO SRL” – PROPOSTO DA EUROVO SRL (FASC. RER N.1317/26/2021), si redige questa relazione.

Lo scopo di questa relazione è quello di rispondere ai punti 10 e 16 delle richieste avanzate dalla Provincia di Ravenna e dal Servizio Sismica.

10) La **Provincia di Ravenna - servizio Programmazione Territoriale, con nota acquisita al PG/2021/196811 del 22/12/2021**, chiede che la ditta Eurovo srl ripresenti, in merito alla compatibilità delle previsioni urbanistiche con le condizioni di pericolosità locale del territorio, art.5 della L.R. 19/2008 "Norme per la riduzione del rischio sismico", la Relazione geologica adeguandola alla DGR n. 476/2021.

Servizio Sismica:

16) Relazione geologica-geotecnica: riportare la verifica a liquefazione del sito in conformità alla DGR 630/2019, DGR 476/2021 e DGR 564/2021 e adottando i parametri sismici desunti dalle NTC18; la Risposta Sismica Locale a cui ci si riferisce è stata eseguita per gli studi di Microzonazione Sismica dell'Unione dei Comuni di Bassa Romagna ed è riferita alle indagini di altro sito nel Comune di Bagnara, pertanto non risulta pertinente.

Normativa e Raccomandazioni di riferimento

- Decreto del Ministro delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare n. 7/2019 del C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 Gazzetta Ufficiale n. 35/2019 - 11 febbraio 2019.
- Deliberazione della Giunta Regionale 12 aprile 2021, N. 476 Aggiornamento dell'”Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)” di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630
- Deliberazione della Giunta Regionale 26 aprile 2021, N. 564 integrazione della propria deliberazione n. 476 del 12 aprile 2021 mediante approvazione dell'allegato A, "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Art. 22 e 49, L.R. N. 24/2017)"
- Delibera di Giunta Regionale Num. 630 del 29/04/2019, Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r. n. 24/2017).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)”.
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
“Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)”.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
Eurocode EC-7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
Eurocode EC-8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.

2. INTRODUZIONE

La microzonazione sismica è la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento (risposta sismica locale). La microzonazione sismica è pertanto un efficace strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico, in particolare se realizzato e applicato fino dalle prime fasi di pianificazione urbanistica, in quanto consente di indirizzare le scelte urbanistiche verso aree a minore pericolosità sismica e/o fornire indicazioni per scelte progettuali che tengano adeguatamente conto delle condizioni di pericolosità sismica locale.

Gli studi di microzonazione sismica prevedono diversi livelli di approfondimento in funzione delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

Per la microzonazione sismica si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La **prima fase di analisi** è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ...).

L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolti a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili in sede di predisposizione del piano territoriale di livello provinciale o metropolitano 3 e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree. Il quadro conoscitivo della pianificazione urbanistica comunale presenta una cartografia della pericolosità sismica locale, derivata dalle previsioni della pianificazione d'area vasta ma ad una scala di maggior dettaglio, limitatamente agli areali da indagare.

La **seconda fase di analisi** ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento: a) un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) e b) una analisi approfondita (terzo livello di approfondimento), come di seguito specificato:

a) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività $\leq 15^\circ$, vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità sismica locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso tabelle e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

b) un'analisi più approfondita (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta per la definizione di indici di rischio negli areali che presentano le caratteristiche elencate al successivo paragrafo 2.1, lettera c), specificamente individuati dalla cartografia della pericolosità sismica locale predisposta dai piani di area vasta e recepita nel quadro conoscitivo dei piani urbanistici comunali.

L'analisi approfondita richiede un significativo numero di prove geofisiche e geotecniche, sia in sito che in laboratorio, rivolte alla definizione del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica, e l'impiego di specifiche procedure di elaborazione per la stima degli indici di rischio.

3. PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il primo livello di approfondimento ha le seguenti finalità:

- individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- definire il tipo di effetti attesi;
- indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario;
- descrivere le caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica.

Per questo livello di approfondimento sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- Carta delle indagini
- Carta Geologico Tecnica
- Carta delle frequenze naturali dei terreni
- Carta delle aree suscettibili di effetti locali – Microzone Omogenee in Prospettiva sismica

CARTA DELLE INDAGINI

A tal proposito è stata redatta la ***Tavola 1 - Carta delle indagini*** allegata a questa relazione.

In questa Carta sono ubicate tutte le indagini sito-specifiche realizzate all'interno dell'ambito in esame.

Nello specifico sono state realizzate n. 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU con *rif. U91-19*, spinte rispettivamente fino alla profondità di -30,00 m dal p.c. la prova SCPTU1 e CPTU3 e a -27,40 m dal p.c. la prova CPTU2, n. 1 sondaggio a carotaggio continuo spinto fino alla profondità di -25,00 m da p.c., n. 1 prova geofisica ESAC per ottenere il profilo profondo di Vs e n. 2 indagini geofisiche a stazione singola HVSr.

Successivamente si riportano i report di tutte le indagini realizzate in sito all'interno dell'ambito.

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U91-19	CPTU1

COMMITTENTE: Eurovo s.r.l.

CANTIERE: via Trupatello 7, Bagnara di Romagna (Ra)

DATA: 10/12/2019

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,20

PREFORO (m da p.c.): 0,00

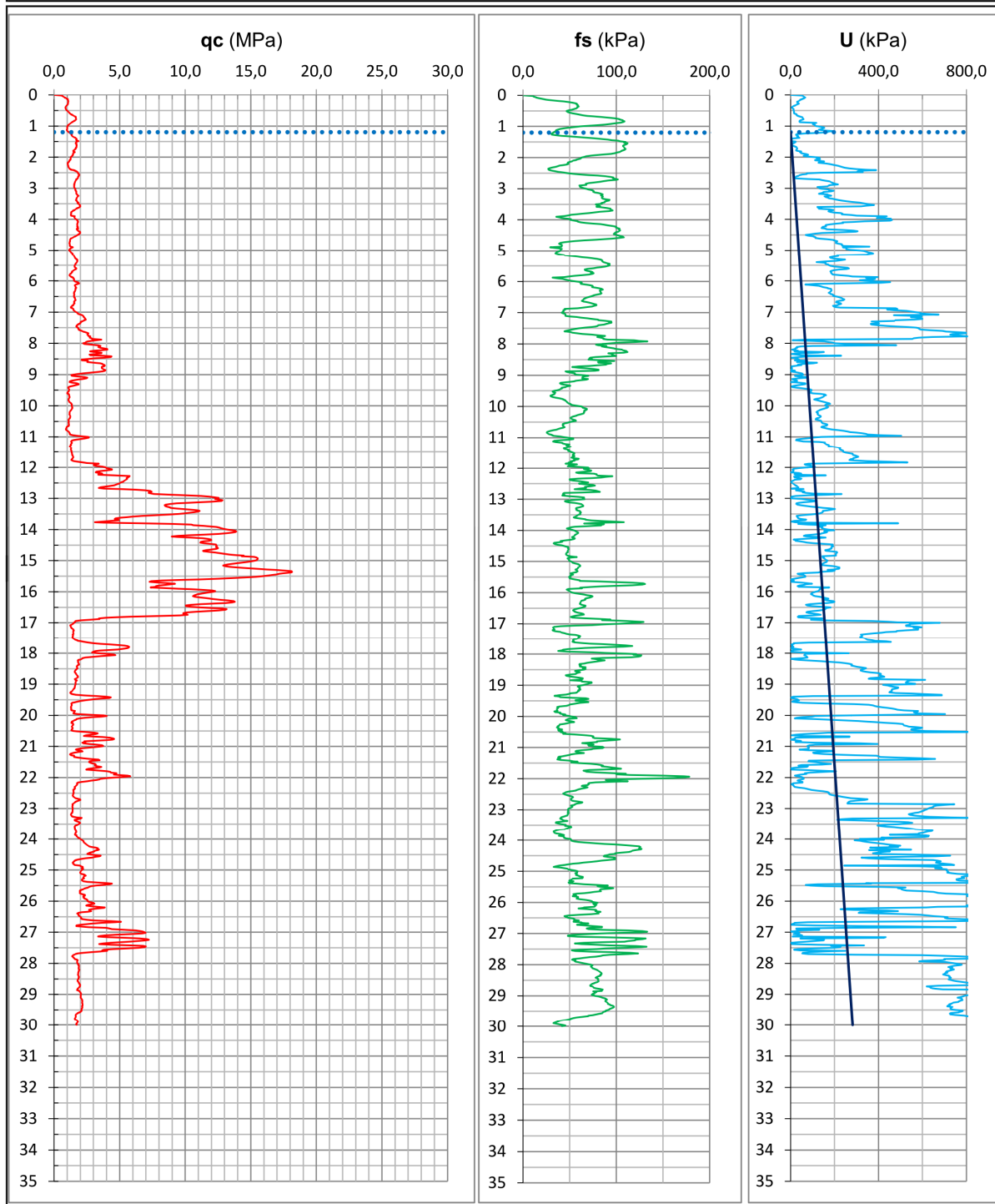


FIGURA 3.1 – Diagrammi di resistenza CPTU1 rif. U91-19

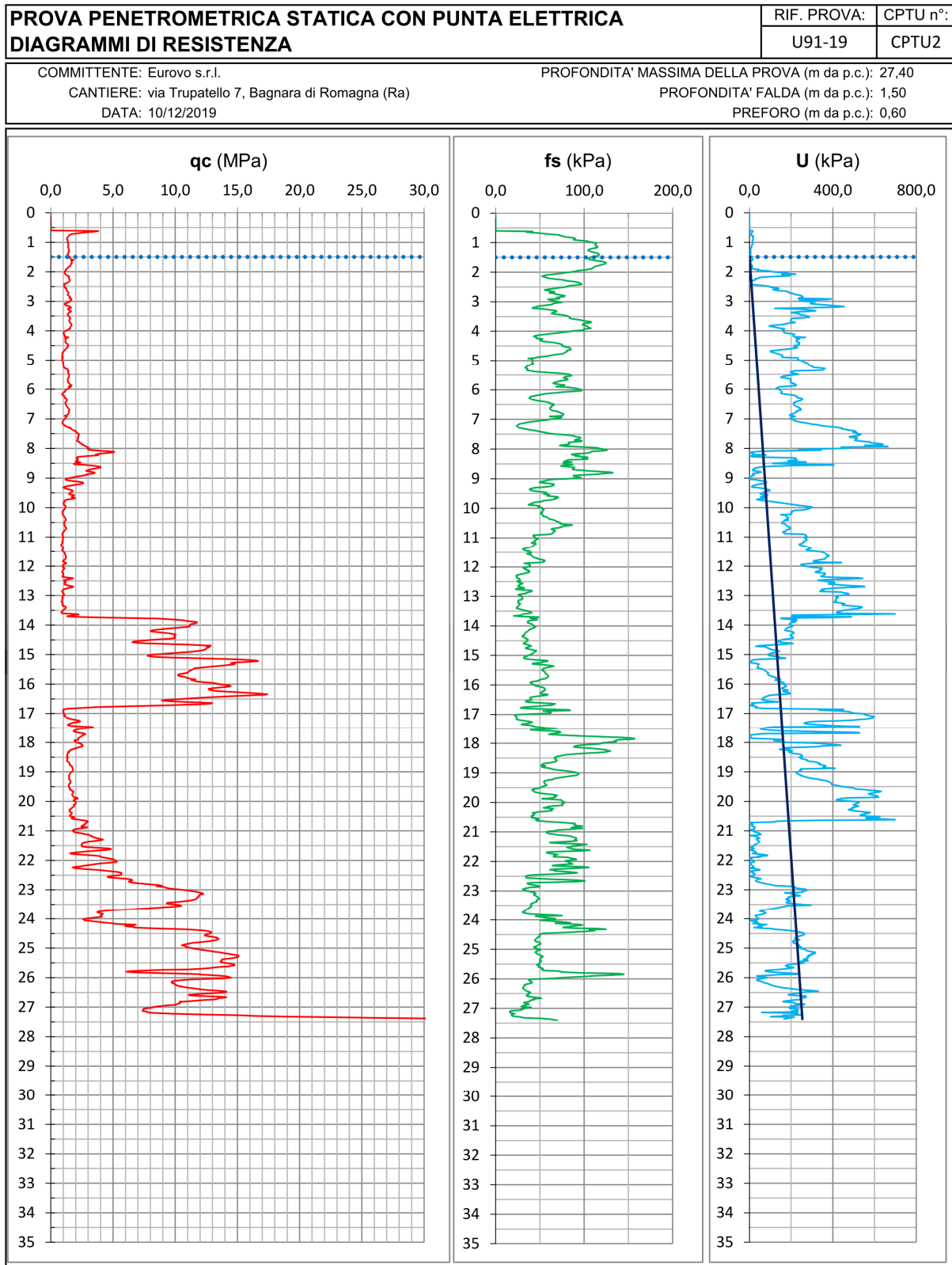


FIGURA 3.2 – Diagrammi di resistenza CPTU2 rif. U91-19

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA
DIAGRAMMI DI RESISTENZA

RIF. PROVA:	CPTU n°:
U91-19	CPTU3

COMMITTENTE: Eurovo s.r.l.

CANTIERE: via Trupatello 7, Bagnara di Romagna (Ra)

DATA: 10/12/2019

PROFONDITA' MASSIMA DELLA PROVA (m da p.c.): 30,00

PROFONDITA' FALDA (m da p.c.): 1,10

PREFORO (m da p.c.): 0,00

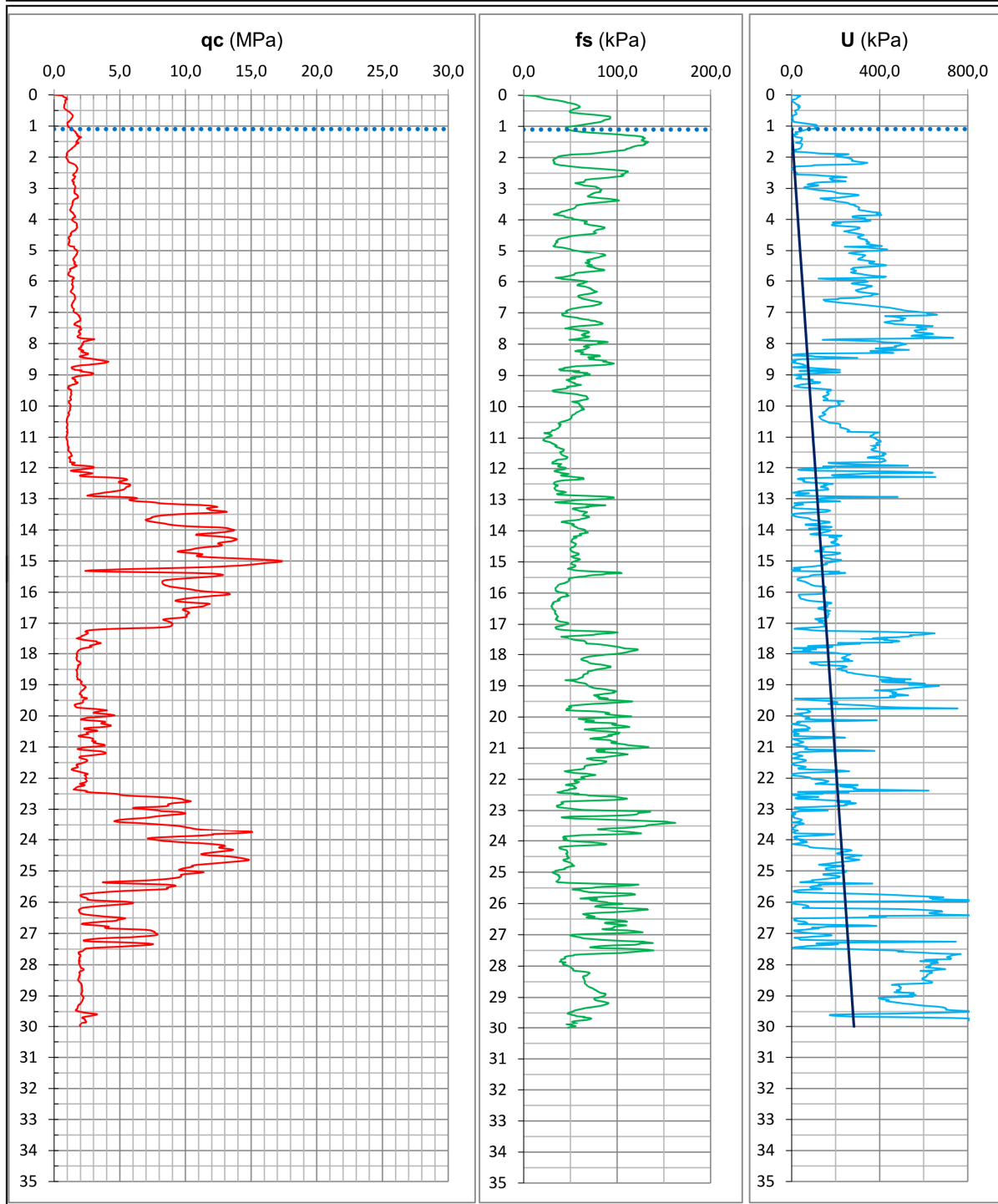


FIGURA 3.3– Diagrammi di resistenza CPTU3 rif. U91-19

Committente: Eurovo	Sondaggio: S1
Riferimento: Bagnara di Romagna	Data: 03/02/2022
Coordinate: 44.389471° 11.840295°	Quota: 25 m
Perforazione: carotaggio continuo	

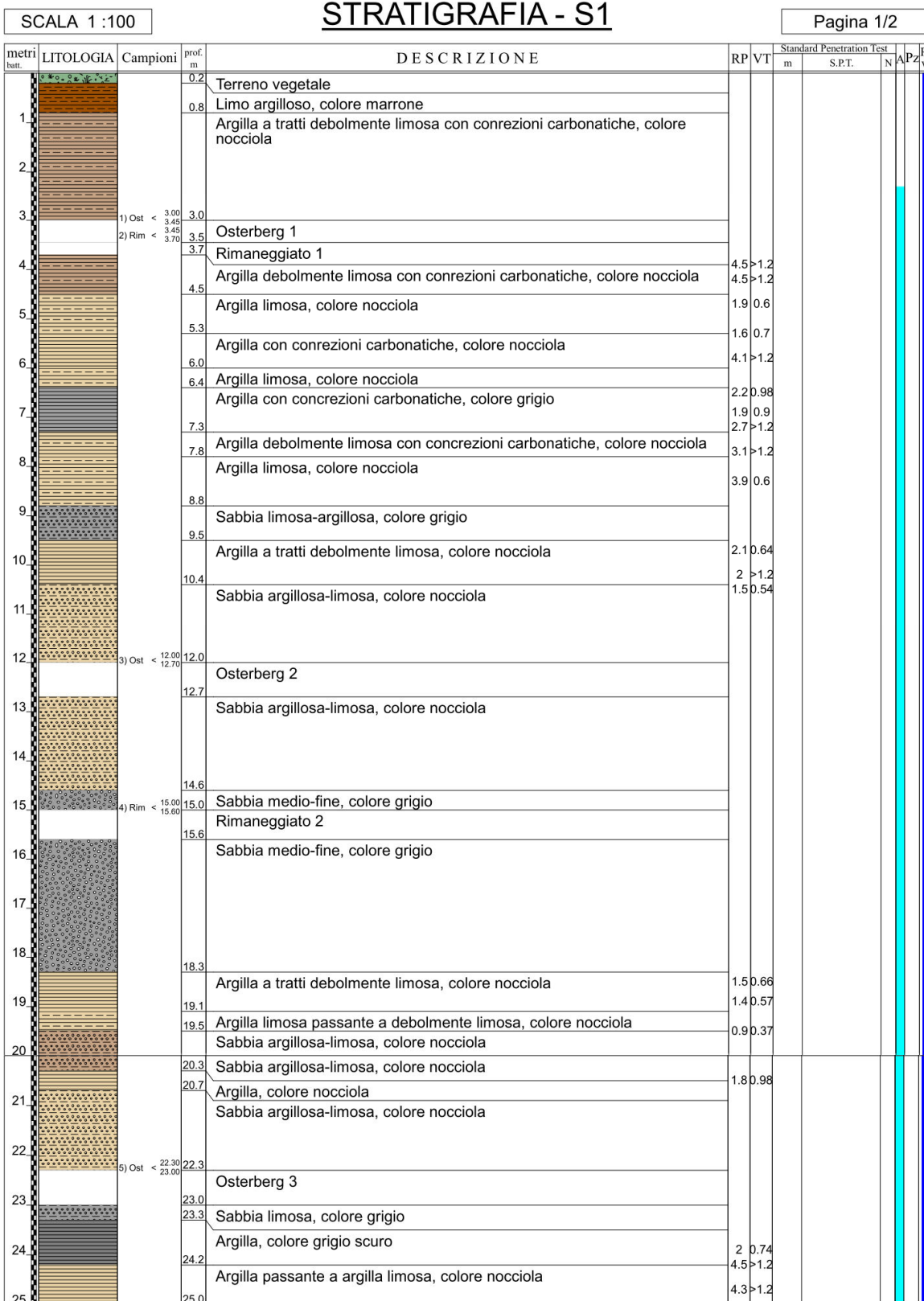
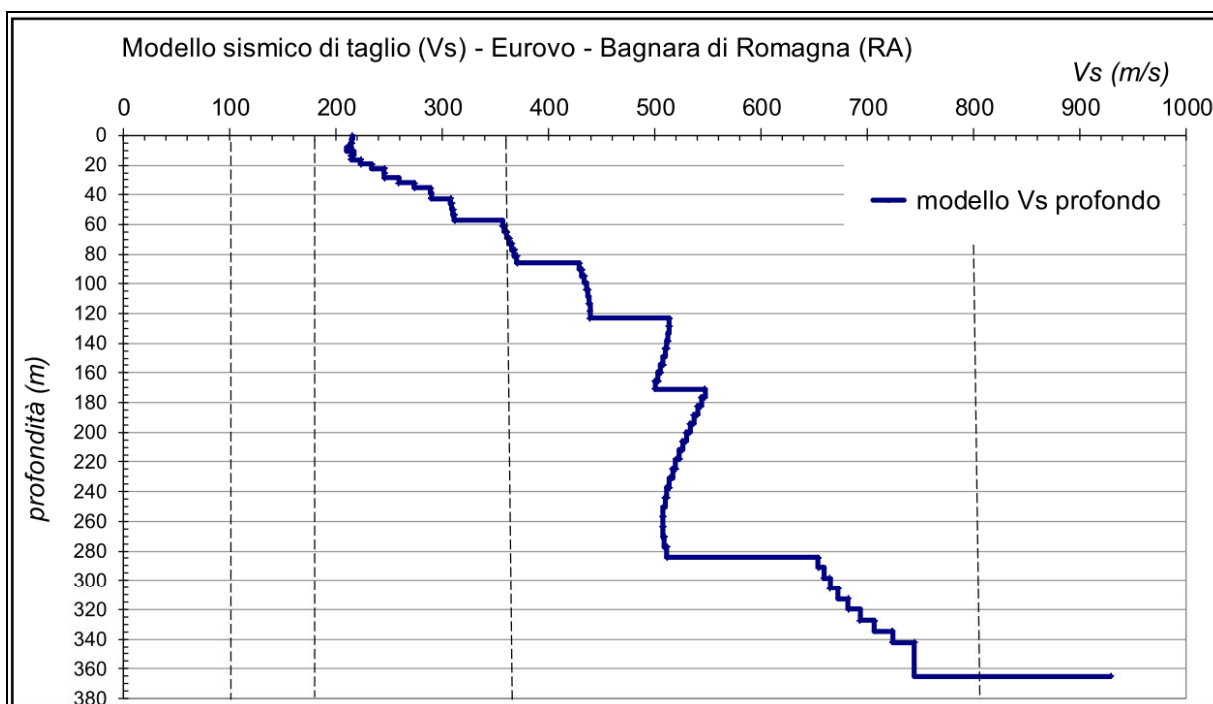
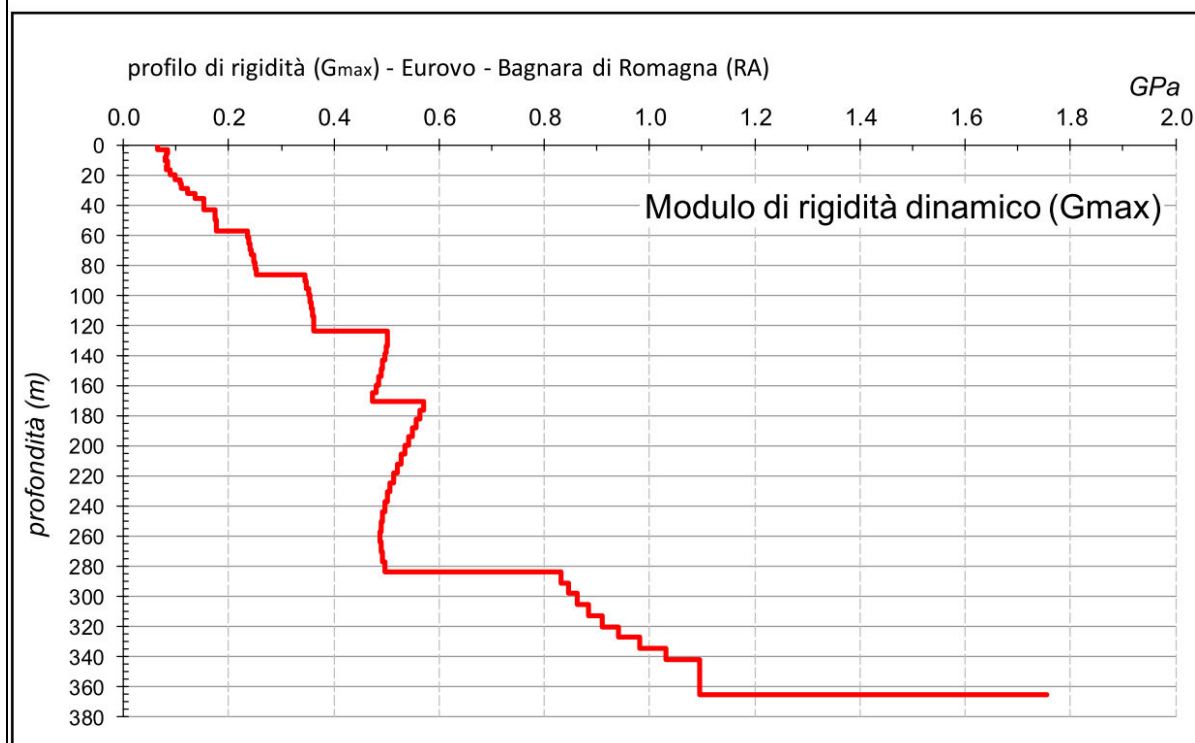


FIGURA 3.4 – Stratigrafia carotaggio



Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico.



Il profilo verticale G_{max} (μ : modulo di rigidità dinamico) dell'area indagata dal profilo sismico, ottenuto dal profilo di velocità (V_s) mediante l'equazione $\mu = \rho \cdot V_s^2$.

FIGURA 3.5 – Profilo Verticale V_s e profilo verticale G_{max}

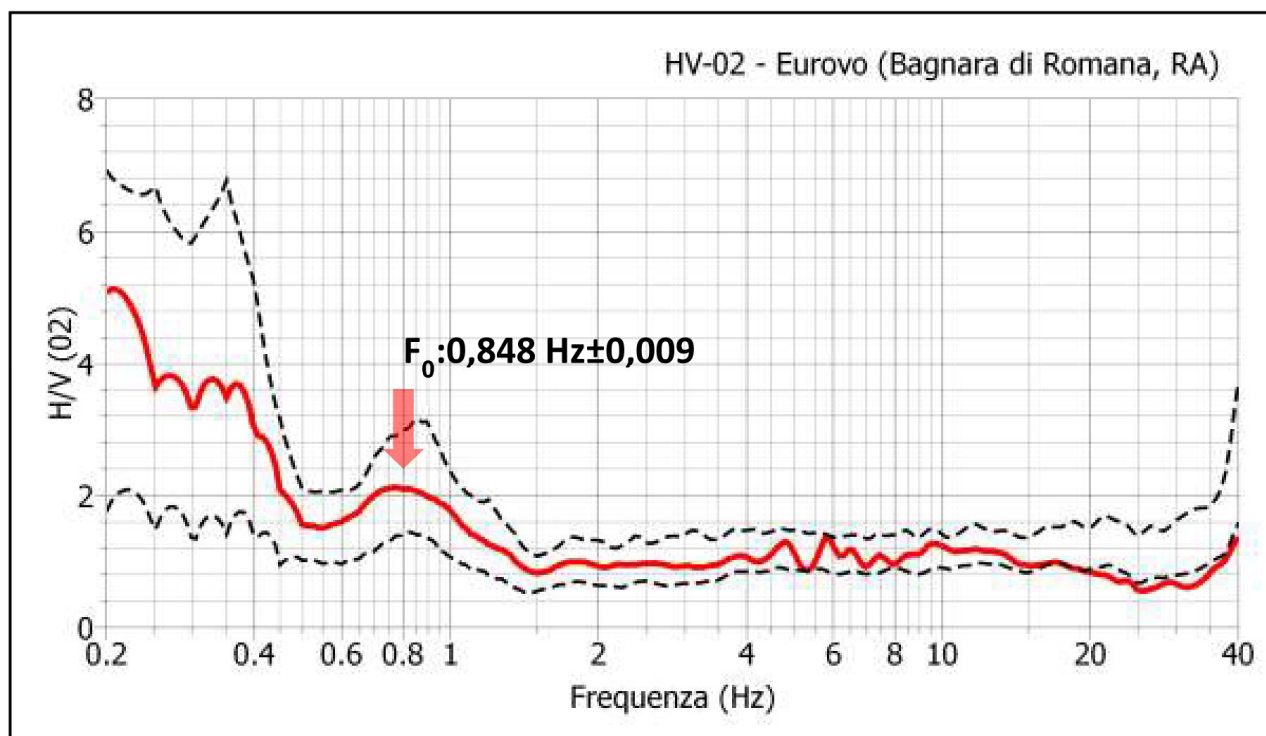
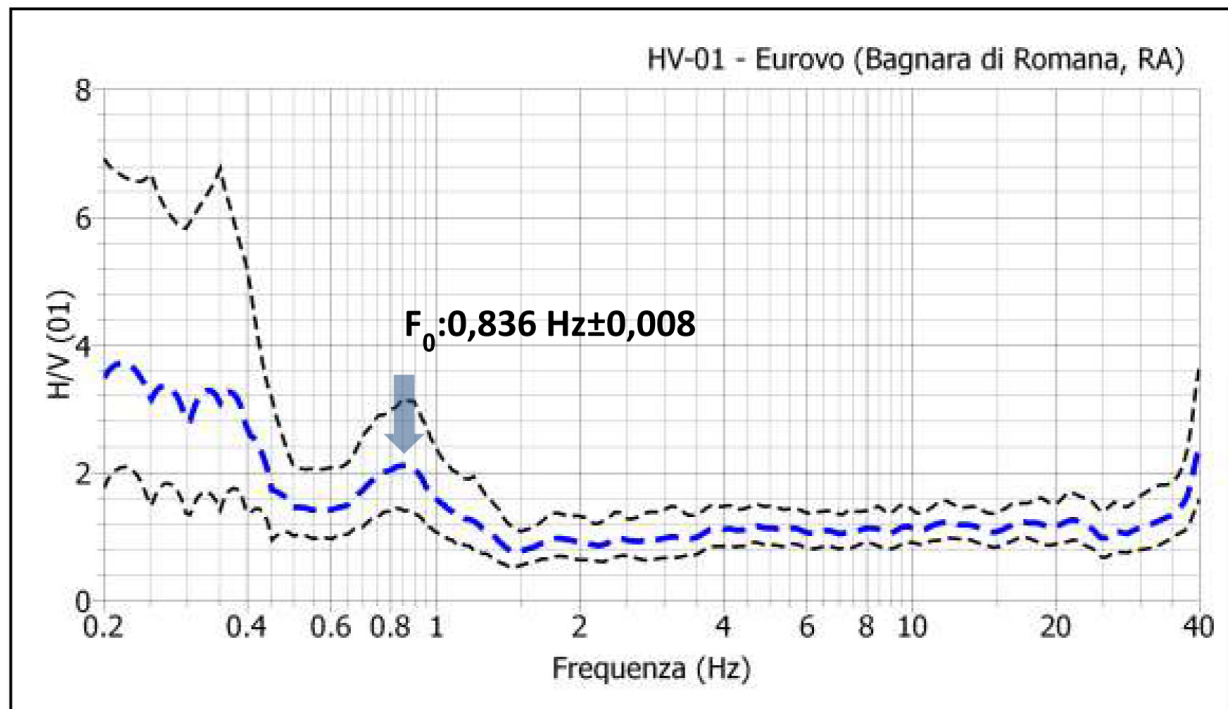
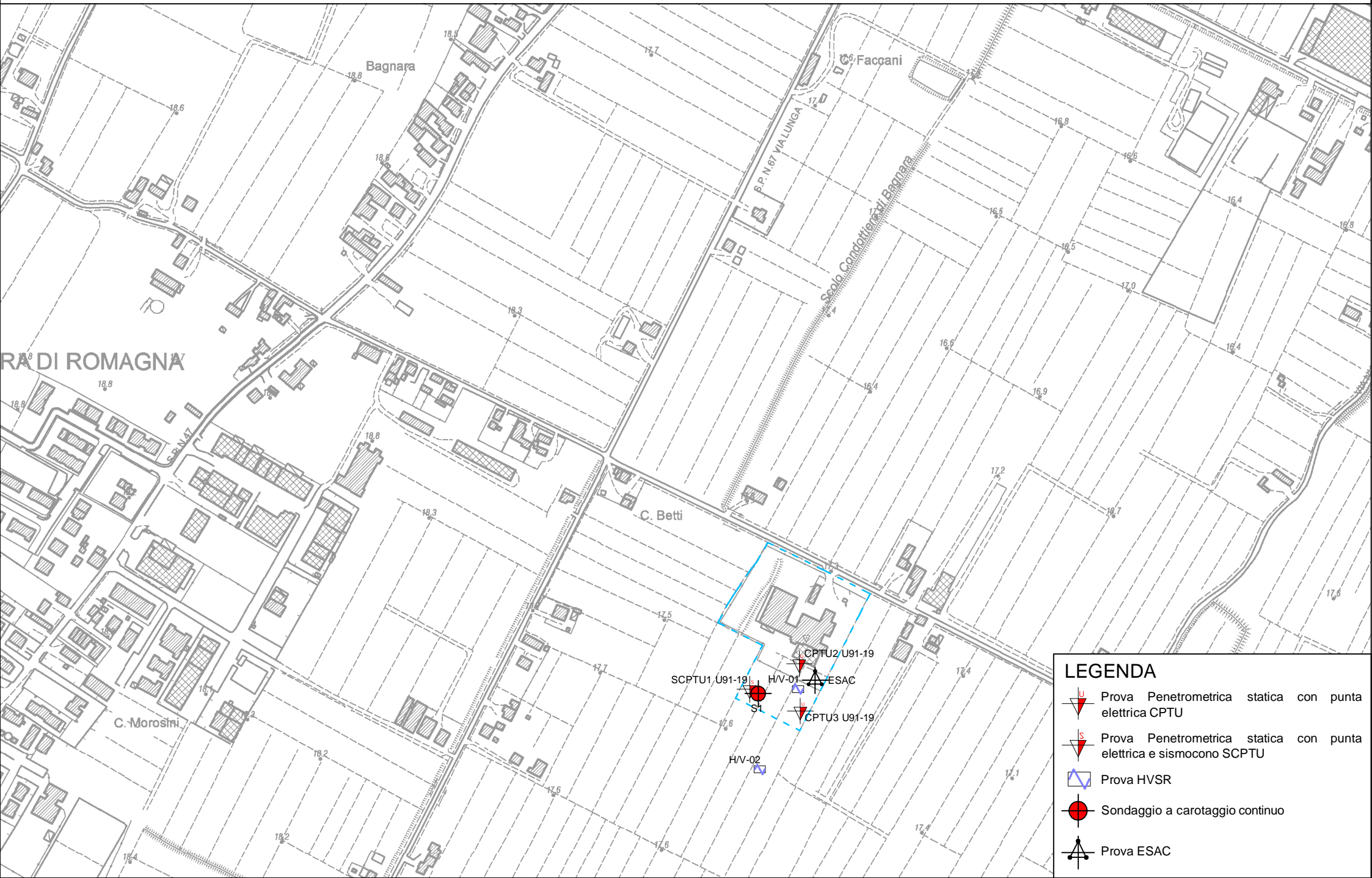


FIGURA 3.6 – Profilo Frequenza HV01 e HV02

Tavola 1 - Carta delle indagini

Scala 1:5000



CARTA GEOLOGICO TECNICA

A tal proposito è stata redatta la **Tavola 2 - Carta Geologico Tecnica** allegata a questa relazione.

Questa carta è realizzata sulla base dei rilievi geologici e morfologici disponibili. In questa cartografia 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.

Il sito, come descritto nel *paragrafo 2.2 e 2.3* di questa relazione, ricade all'interno della successione neogenico-quadernaria del margine appenninico padano denominata AES8a Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - Subsintema di Ravenna – Unità di Modena, caratterizzata da ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi, di ambiente di piana alluvionale.

Come è possibile osservare dalla Carta Geologico-Tecnica, il sito allo studio è caratterizzato da argille limose inorganiche di medio-bassa plasticità di piana inondabile (CLpi).

Si riporta in **FIGURA 3.8** uno stralcio della Sezione n 79 che passa nelle vicinanze del sito allo studio con uno stralcio di mappa, **FIGURA 3.7**, che ne mostra l'ubicazione.

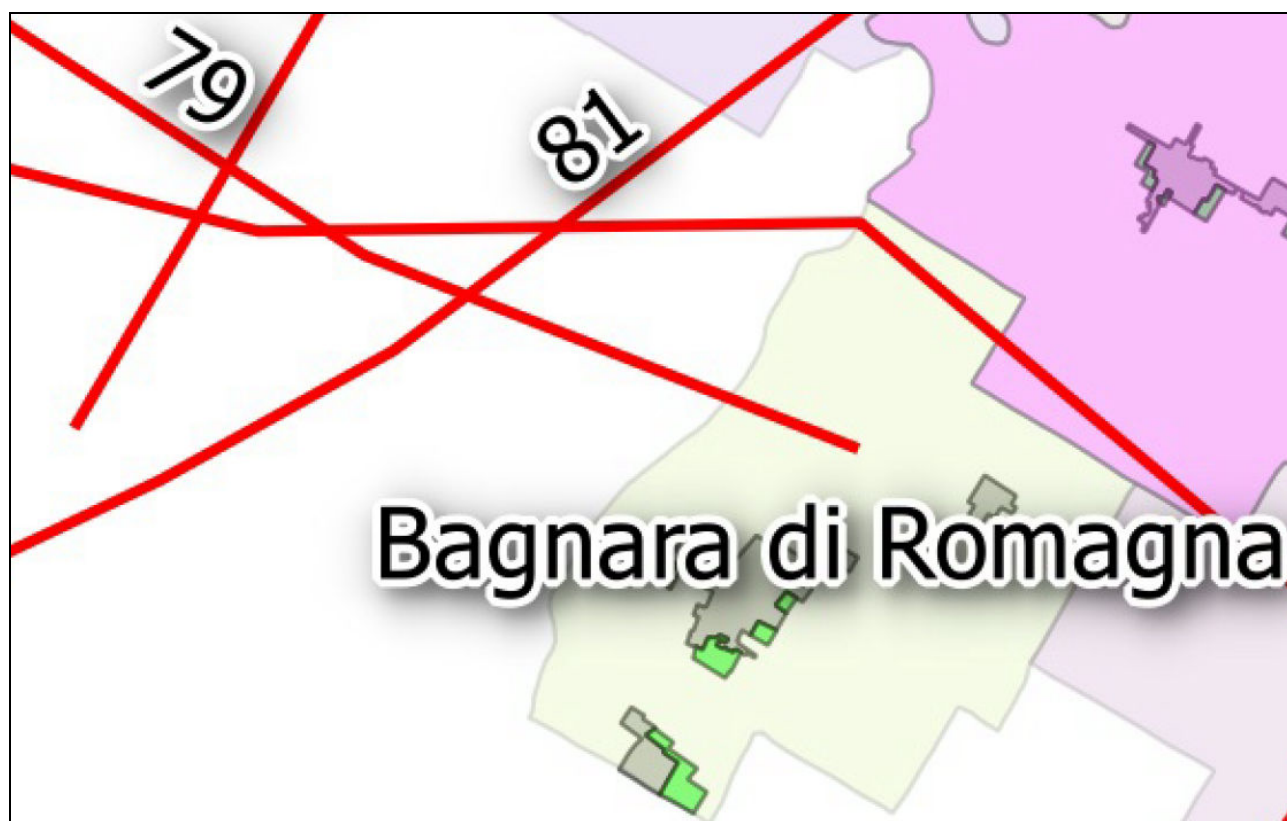
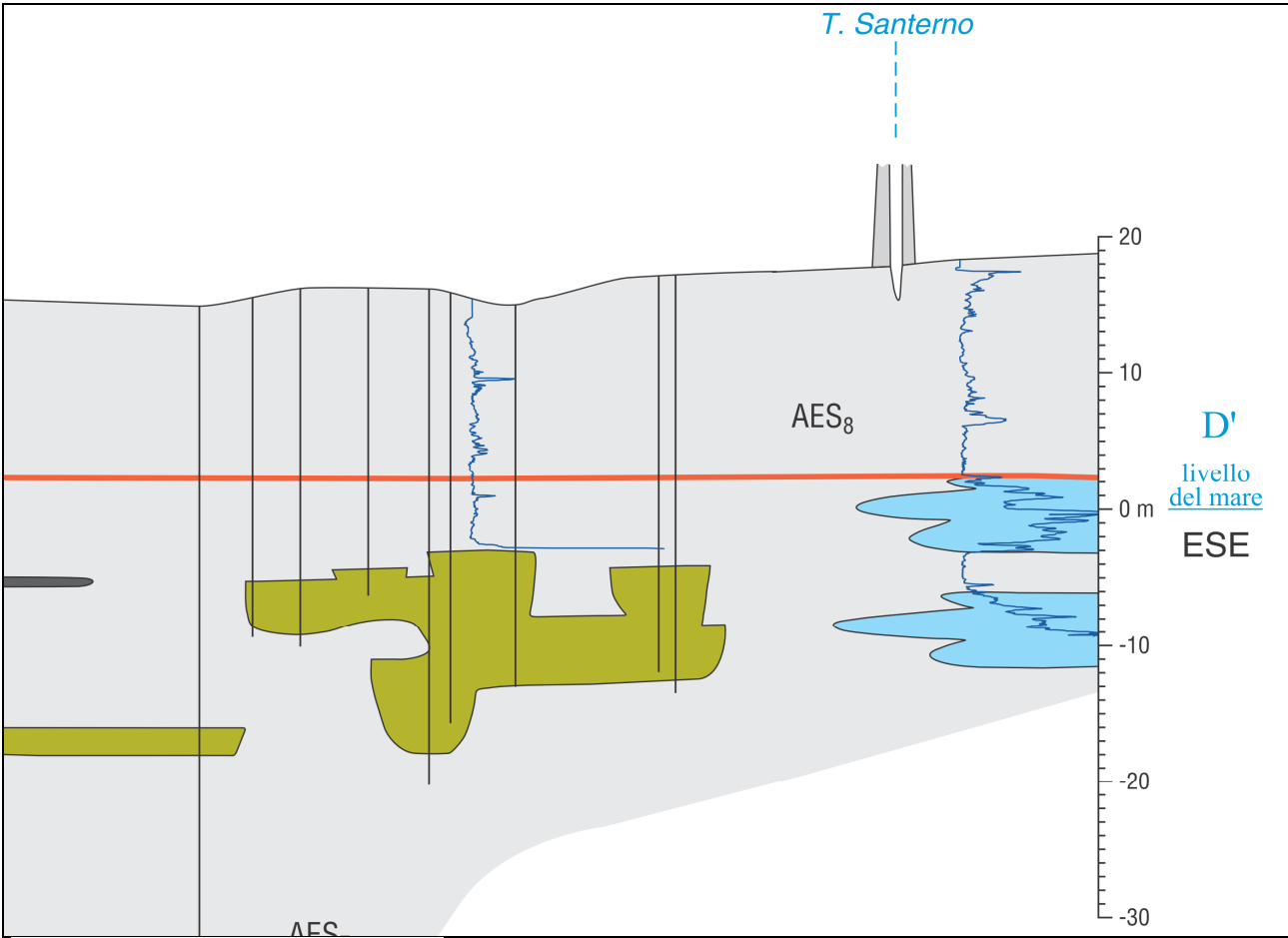


FIGURA 3.7 – Ubicazione sezione



SEZIONE GEOLOGICA SUPERFICIALE

CAROTAGGI

222 - S4 Carotaggio "Progetto CARG"



Profilo granulometrico del carotaggio



Indagini geognostiche della banca dati RER



Penetrometrie elettriche con o senza piezocono "Progetto CARG" (resistenza alla punta)

14.3

Età ¹⁴C B.P. (in ka non calibrati)



Paleosuoli (non calcarei o scarsamente calcarei)

DEPOSITI ALLUVIONALI

- Ghiaie di riempimento di canale fluviale
- Sabbie di riempimento di canale e di rotta fluviale
- Alternanze di sabbie, limi ed argille di tracimazione fluviale indefferenziata
- Argille e limi con sostanza organica di palude

DEPOSITI DELTIZI, LITORALI E MARINI

- Argille e limi con sostanza organica di palude-laguna
- Sabbie di cordone litorale
- Base del Subsystema di Ravenna - AES₈
- Base del Subsystema di Villa Verucchio - AES₇

FIGURA 3.8 – Sezione 79

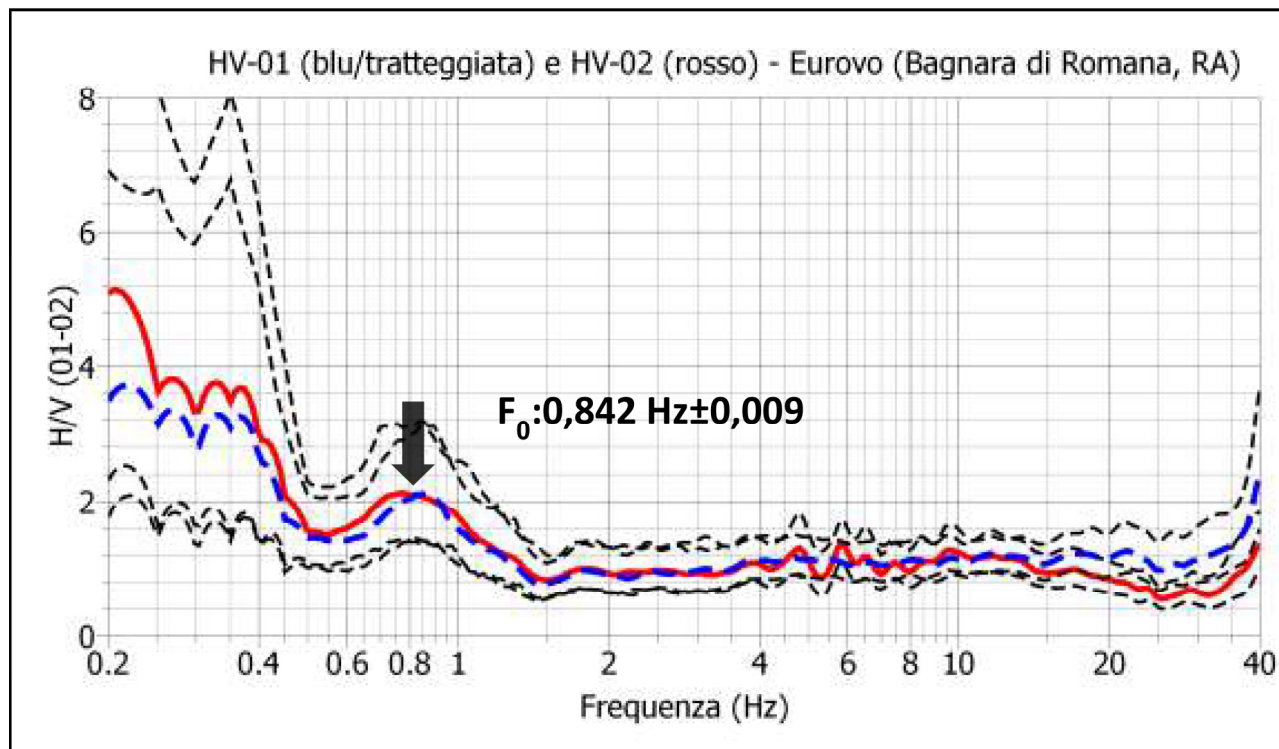


CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEI TERRENI

A tal proposito è stata redatta la *Tavola 3 - Carta delle frequenze naturali del terreno f_0* allegata a questa relazione.

Sono state dunque realizzate all'interno dell'ambito n. 2 indagini geofisiche a stazione singola HVSR.

Si riporta successivamente in FIGURA 3.9 un grafico con la media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo libero (H/V-01) e (H/V-02). La frequenza di risonanza fondamentale con rapporto H/V medio di 2,1, tipica dei siti investigati è denominata F_0 , risulta essere pari a **0,842 Hz** (periodo di risonanza medio: 1,188 secondi). Questo valore suggerisce la presenza di una discontinuità elastica collocata a circa 123 ± 5 m come risulta dal modello sismico di V_s ricavato dalla prova ESAC.



prova H/V	Frequenza (Hz)	Valore Frequenza	Periodo T_0 (sec)	Ampiezza (A)
Località: (Eurovo), Comune: Bagnara di Romagna (RA)				
01*	F_0	$0,836 \pm 0,008$	1,196	2,1
02*	F_0	$0,848 \pm 0,009$	1,179	2,1
media	F_0	$0,842 \pm 0,009^*$	$1,188^*$	$2,1^*$
*prova effettuata in campo libero.				

FIGURA 3.9 - grafico con la media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo libero (H/V-01) e (H/V-02).



CARTA DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI – MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

A tal proposito è stata redatta la ***Tavola 4 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS*** allegata a questa relazione.

Questa cartografia indica le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari. La carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e delle valutazioni dei dati litostratigrafici è prevedibile l'occorrenza di diversi tipi di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, liquefazione, ecc...).

L'area allo studio è stata classificata come Zona instabile, suscettibile di potenziale liquefazione per via della presenza di livelli sabbiosi saturi compresi tra -13m e -17m dal p.c., inoltre l'area è soggetta ad amplificazione stratigrafica del moto sismico.



LEGENDA

Zone di attenzione per instabilità per
liquefazione, suscettibili di amplificazioni locali



MOPS 2001
Area caratterizzata da terreni in prevalenza
argilloso limosi e limoso argillosi a consistenza
variabile da moderata ad alta nei primi 20 metri
da p.c. con livelli sabbiosi compresi tra -13 m da
p.c. e -17 m da p.c..

4. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il secondo livello di approfondimento ha le seguenti finalità:

- la verifica delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento e conferma o eventuale nuova perimetrazione delle aree in cui effettuare la micro zonazione sismica;
- la suddivisione dettagliata del territorio in base all'amplificazione attesa;
- la conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello e indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

Per questo livello di approfondimento sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (Vs)

A tal proposito è stata redatta la **Tavola 5 - Carta delle velocità delle onde di taglio S** allegata a questa relazione.

Questa carta è stata realizzata sulla base della misura diretta rilevata mediante la realizzazione di una prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono sismico SCPTU1 con *rif. U91-19*, spinta fino alla profondità di -30,00 m da p.c. e sulla base della prova E.S.A.C. fatta eseguire ed interpretata dalla Società TeamGeofisica.CEG srl del dott. Nasser Abu Zeid.

Il valore di V_{s30} risultante dalla lettura dei tempi di arrivo delle onde S alla profondità di 30,00 m da p.c. è di 227 m/s per la SCPTU1 (**FIGURA 3.11**) e di 224 m/sec per la ESAC (**FIGURA 3.10**).

Sismo- strato	Velocità (m/s)	Profondità letto (m)	Spessore (m)	hi/vi
1	215	2.5	2.5	0.011628
2	214.7	5.1	2.6	0.01211
3	213.2	7.8	2.7	0.012664
4	210.2	10.6	2.8	0.013321
5	216.2	13.4	2.8	0.012951
6	214	16.3	2.9	0.013551
7	222.8	19.3	3	0.013465
8	233.3	22.4	3.1	0.013288
9	245.3	25.5	3.1	0.012638
10	245.4	28.7	3.2	0.01304
11	258.7	30	1.3	0.005025
				0.13368
			Vs30	224.42 m/sec

FIGURA 3.10 - ESAC

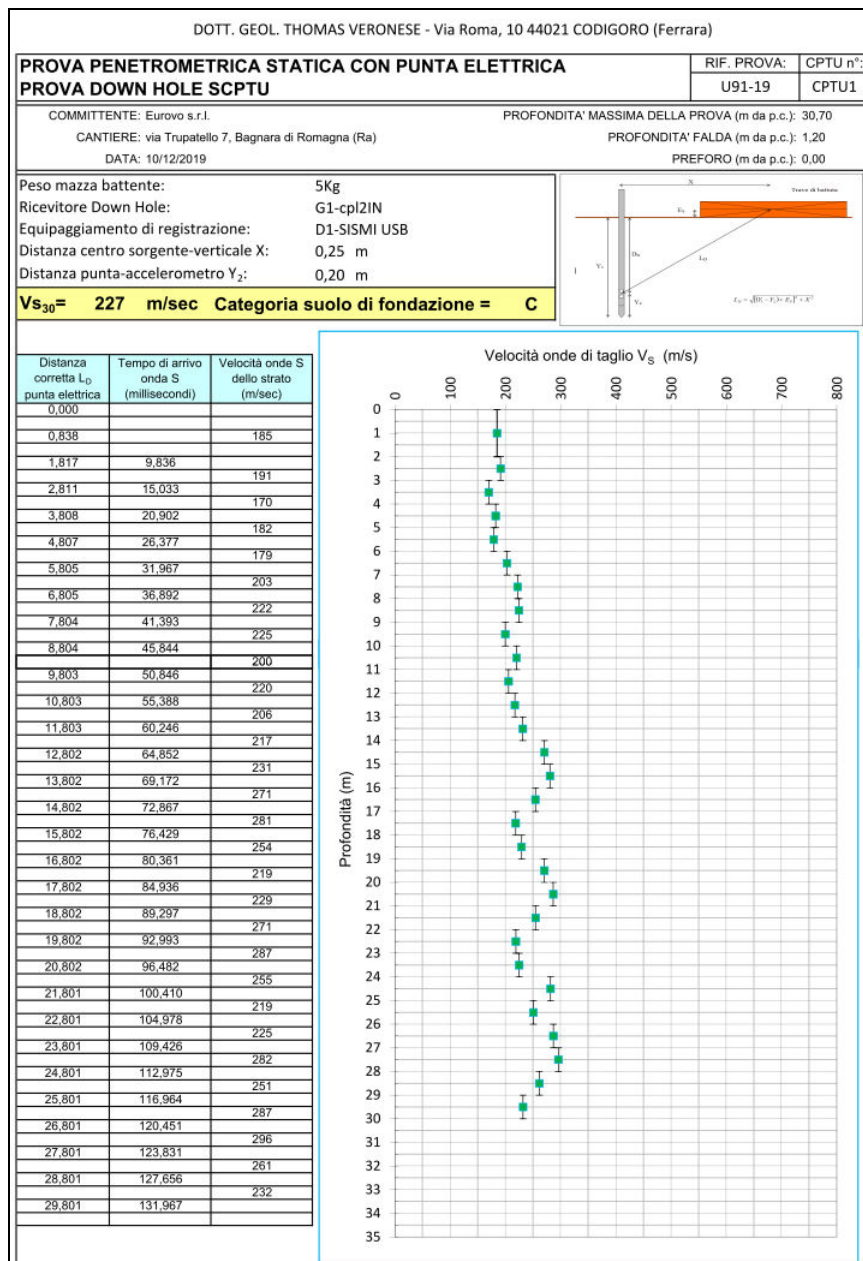


FIGURA 3.11 - SCPTU1



LEGENDA

- 227 m/s SCPTU per la misura diretta della velocità delle onde di taglio S con indicazione del valore
- 224 m/s ESAC per la misura della velocità delle onde di taglio S con indicazione del valore

5. TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Per il terzo livello di approfondimento è stata eseguita una analisi di risposta sismica locale R.S.L. sito specifica finalizzata a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree instabili e potenzialmente instabili e di quelle soggette a liquefazione, individuate attraverso il primo livello di analisi nella cartografia delle aree suscettibili di effetti locali.

Per questo livello di approfondimento sono stati prodotti i seguenti elaborati cartografici:

- Carte di microzonazione sismica di terzo livello:
 - Carta dei Fattori di Amplificazione - FA_{PGA}
 - Carta dei Fattori di Amplificazione - $FA_{SA1} 0,1s \leq T \leq 0,5s$
 - Carta dei Fattori di Amplificazione - $FA_{SA2} 0,4s \leq T \leq 0,8s$
 - Carta dei Fattori di Amplificazione - $FA_{SA3} 0,7s \leq T \leq 1,1s$
 - Carta dei Fattori di Amplificazione - $FA_{SA4} 0,5s \leq T \leq 1,5s$
 - Carta dei Fattori di Amplificazione - $FA_{SI1} 0,1s \leq T \leq 0,5s$
 - Carta dei Fattori di Amplificazione - $FA_{SI2} 0,5s \leq T \leq 1,0s$
 - Carta dei Fattori di Amplificazione - $FA_{SI3} 0,5s \leq T \leq 1,5s$
 - Carta della distribuzione sul territorio dei valori di $H_{SM} 0,1s \leq T \leq 0,5s$
 - Carta della distribuzione sul territorio dei valori di $H_{SM} 0,4s \leq T \leq 0,8s$
 - Carta della distribuzione sul territorio dei valori di $H_{SM} 0,7s \leq T \leq 1,1s$
 - Carta della distribuzione sul territorio dei valori di $H_{SM} 0,5s \leq T \leq 1,5s$
 - Carta dell'indice di liquefazione I_{pl}

CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO

A tal proposito sono state redatte le carte: *Tavola 6 - Carta di microzonazione sismica di terzo livello $FA_{P.G.A.}$* , la *Tavola 7 - Carta di microzonazione sismica di terzo livello $FA_{S.A.1}$* , la *Tavola 8 - Carta di microzonazione sismica di terzo livello $FA_{S.A.2}$* , la *Tavola 9 - Carta di microzonazione sismica di terzo livello $FA_{S.A.3}$* , la *Tavola 10 - Carta di microzonazione sismica di terzo livello $FA_{S.A.4}$* , la *Tavola 11 - Carta di microzonazione sismica di terzo livello $FA_{S.I.1}$* , la *Tavola 12 - Carta di microzonazione sismica di terzo livello $FA_{S.I.2}$* , la *Tavola 13 - Carta di microzonazione sismica di terzo livello $FA_{S.I.3}$* , la *Tavola 14 - Carta della distribuzione sul territorio dei valori di $H_{SM} 0,1s \leq T \leq 0,5s$* , la *Tavola 15 - Carta della distribuzione sul territorio dei valori di $H_{SM} 0,4s \leq T \leq 0,8s$* , la *Tavola 16 - Carta della distribuzione sul territorio dei valori di $H_{SM} 0,7s \leq T \leq 1,1s$* , la *Tavola 17 - Carta della distribuzione sul territorio dei valori di $H_{SM} 0,5s \leq T \leq 1,5s$* , allegate a questa relazione.

Per lo studio di terzo livello è stata realizzata una analisi di risposta sismica locale sito specifica allegata a questa relazione.

Attraverso questo studio specifico sono stati calcolati tutti i fattori di amplificazione nei diversi intervalli di periodo con tempi di ritorno $TR = 475$ anni e con smorzamento $\zeta = 5\%$ in termini di PGA , $SA1$, $SA2$, $SA3$, $SA4$, $SI1$, $SI2$, $SI3$, e dello scuotimento in accelerazione (cm/s^2) atteso per gli intervalli di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5$ (H_{SM}), $0,4s \leq T \leq 0,8s$ (H_{04-08}), $0,7s \leq T \leq 1,1s$ (H_{07-11}) e $0,5s \leq T \leq 1,5s$ (H_{05-15}).

Successivamente si riporta una in Tabella 5.1 una sintesi con i valori dei fattori di amplificazione e HSM calcolati attraverso l'analisi di risposta sismica locale R.S.L. e il confronto con quelli da abaco per PIANURA 3 secondo il *Decreto della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 476/2021*.

Per i dettagli del calcolo si faccia riferimento alla relazione allegata, contenente la Risposta Sismica Locale.

Bagnara di Romagna	Prov. Ravenna					
latitudine:	44.389964	Coordinate WGS84				
longitudine:	11.840444			PIANURA 3		PIANURA 2
	ΔT (sec)	Fattori di amplificazione da RSL		Fattori di amplificazione da D.G.R. 476/2021		Fattori di amplificazione da D.G.R. 476/2021
FA SA1	0.1-0.5	1,39		1.30		1.80
FA SA2	0.4-0.8	2,17		2.00		2.70
FA SA3	0.7-1.1	2.41		2.40		3.20
FA SA4	0.5-1.5	2,32		2.30		3.10
PGA/PGAo		1.39		1.30		1.70
PGAo		0,194				
PGA		0,269				
SI1	0.1-0.5	1,33		1.50		2.00
SI2	0.5-1.0	2,18		2.20		3.00
SI3	0.5-1.5	2,24		2.40		3.30
		VALORE DA RSL		VALORE DA ABACO RER		
Hsm	0.1-0.5	551	cm/sec ²	554	cm/sec ²	
Hsm	0.4-0.8	517	cm/sec ²			
Hsm	0.7-1.1	370	cm/sec ²			
Hsm	0.5-1.5	358	cm/sec ²			

Tabella 5.1 - sintesi con i valori dei fattori di amplificazione e HSM calcolati attraverso l'analisi di risposta sismica locale R.S.L. e il confronto con quelli da abaco per PIANURA 3

Nella **FIGURA 5.1** viene mostrata la griglia delle accelerazioni al bedrock, secondo il *Decreto della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 476/2021*, con i nodi più prossimi al sito allo studio. In via conservativa viene preso in considerazione il nodo con l'accelerazione più alta più vicino al sito allo studio. Il Valore di accelerazione al bedrock nel sito in esame è quindi pari a 0,199g.

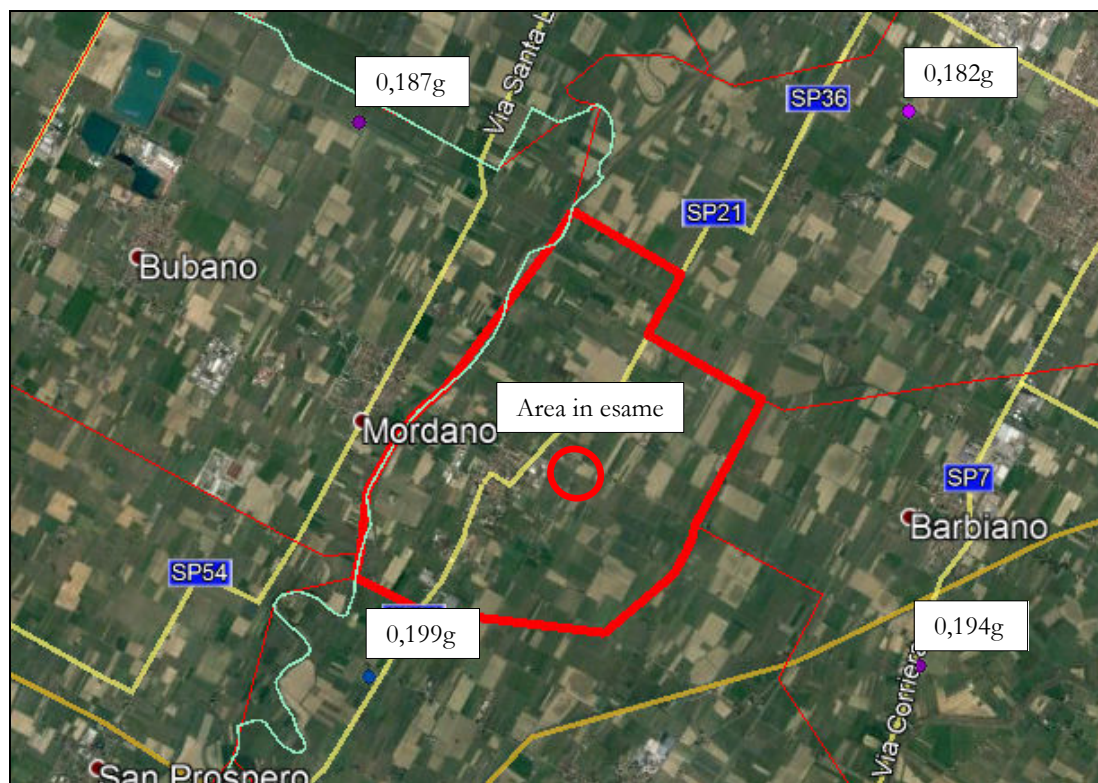


FIGURA 5.1- Griglia delle accelerazioni al bedrock (DGR 476/2021)

Secondo l'approccio semplificato da *Decreto della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 476/2021*, il sito allo studio è collocato in PIANURA 3, come si evince anche dalla prova geofisica ESAC eseguita in sito, che mostra come il bedrock sismico si trovi a profondità di circa 360 m.

Nella **FIGURA 5.2** si riporta una mappa raffigurante tutta la Regione con l'ubicazione del comune di Bagnara di Romagna in cui si può osservare come sia posto in PIANURA 2 ma comunque in una zona al passaggio con PIANURA 3. Si riportano entrambi gli abachi regionali, per confrontarli poi con i dati emersi dalla analisi della risposta sismica locale.

Le due misure di V_{s30} eseguite sono di 224 m/sec e di 227 m/s, facendo ricadere il sito in entrambe le colonne che vanno da 175 m/sec a 255 m/sec e da 225 m/sec a 275m/sec.:

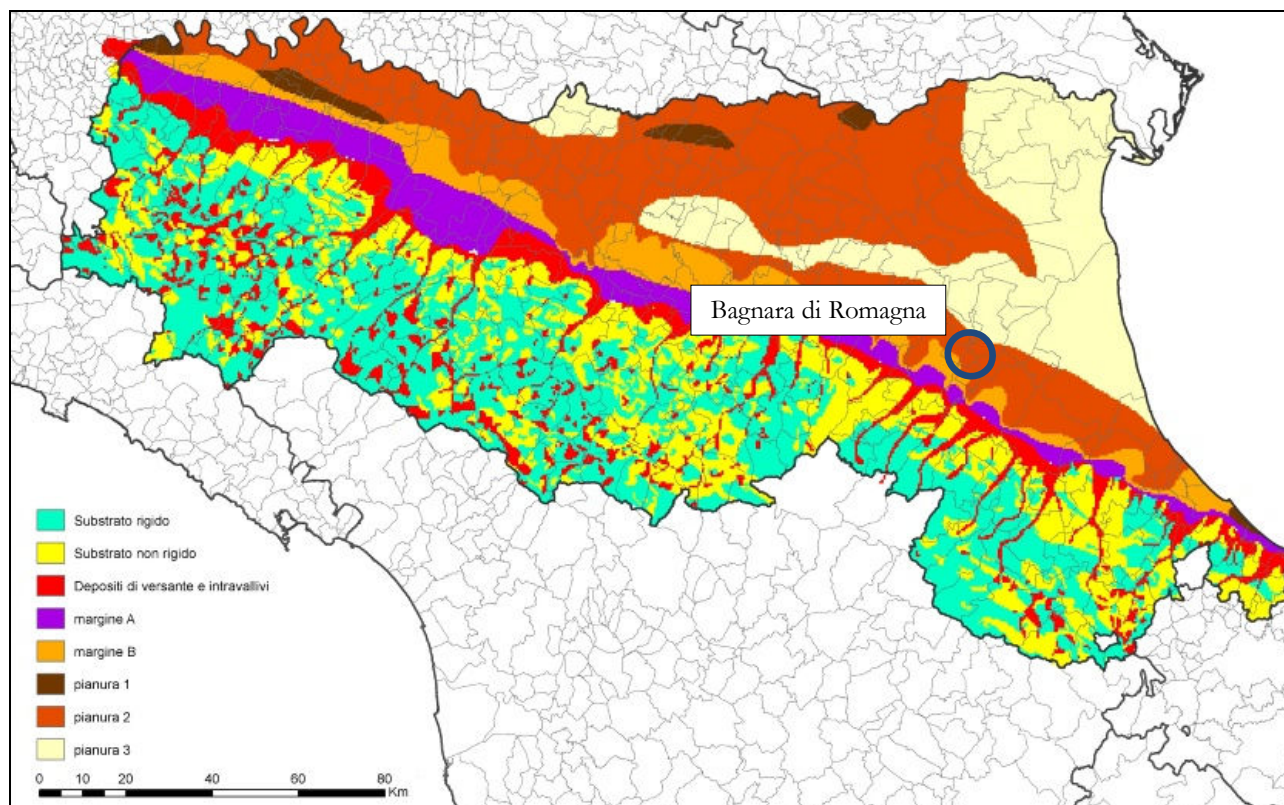


FIGURA 5.2 – Mappa delle Macrozone degli Ambienti-Geologicomorfolologici R.E.R.

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

PIANURA 3: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiore a 300 m da p.c.;

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,3	1,3	1,3			

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,3	1,3	1,3			
SA2	2,1	2,1	2,0			
SA3	2,5	2,5	2,4			
SA4	2,4	2,4	2,3			

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,5	1,5	1,5			
SI2	2,3	2,3	2,2			
SI3	2,6	2,6	2,4			

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Il fattore di amplificazione F.A., secondo D.G.R. 476/2021, derivato dal rapporto tra la P.G.A. in superficie e quella al bedrock per valori di V_{S30} di 227 m/s è pari a 1,30 per Pianura 3 e 1,7 per Pianura 2.

Lo spettro che si può ricavare da quello normalizzato fornito dal D.G.R. 476/2021 è il seguente:

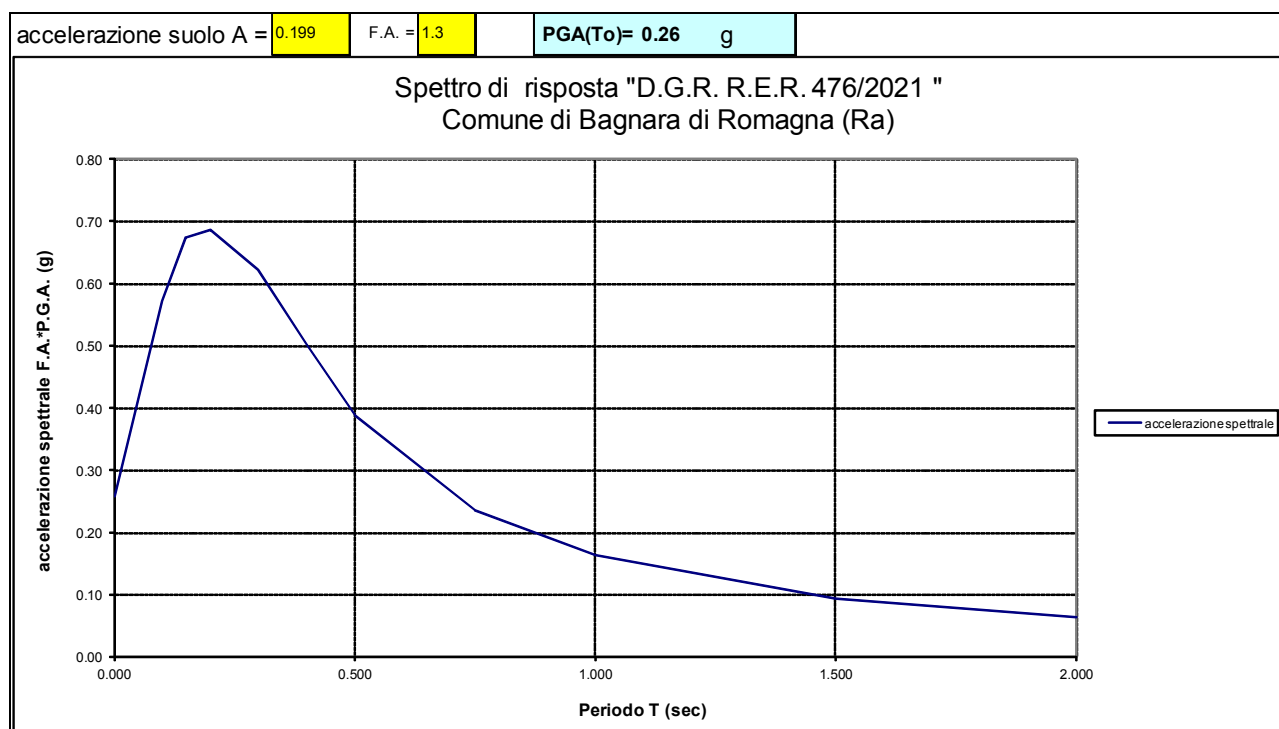


FIGURA 5.3 – Spettro di risposta D.G.R. 476/2021

È stata prodotta anche la carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity (ASI_{UHS}), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$, diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4s) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

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

Per l'area allo studio è stato scelto il valore di $ASI_{UHS} / \Delta T$ del nodo della griglia INGV più prossimo al sito, rappresentato in **FIGURA 5.4** dal valore 426,25.

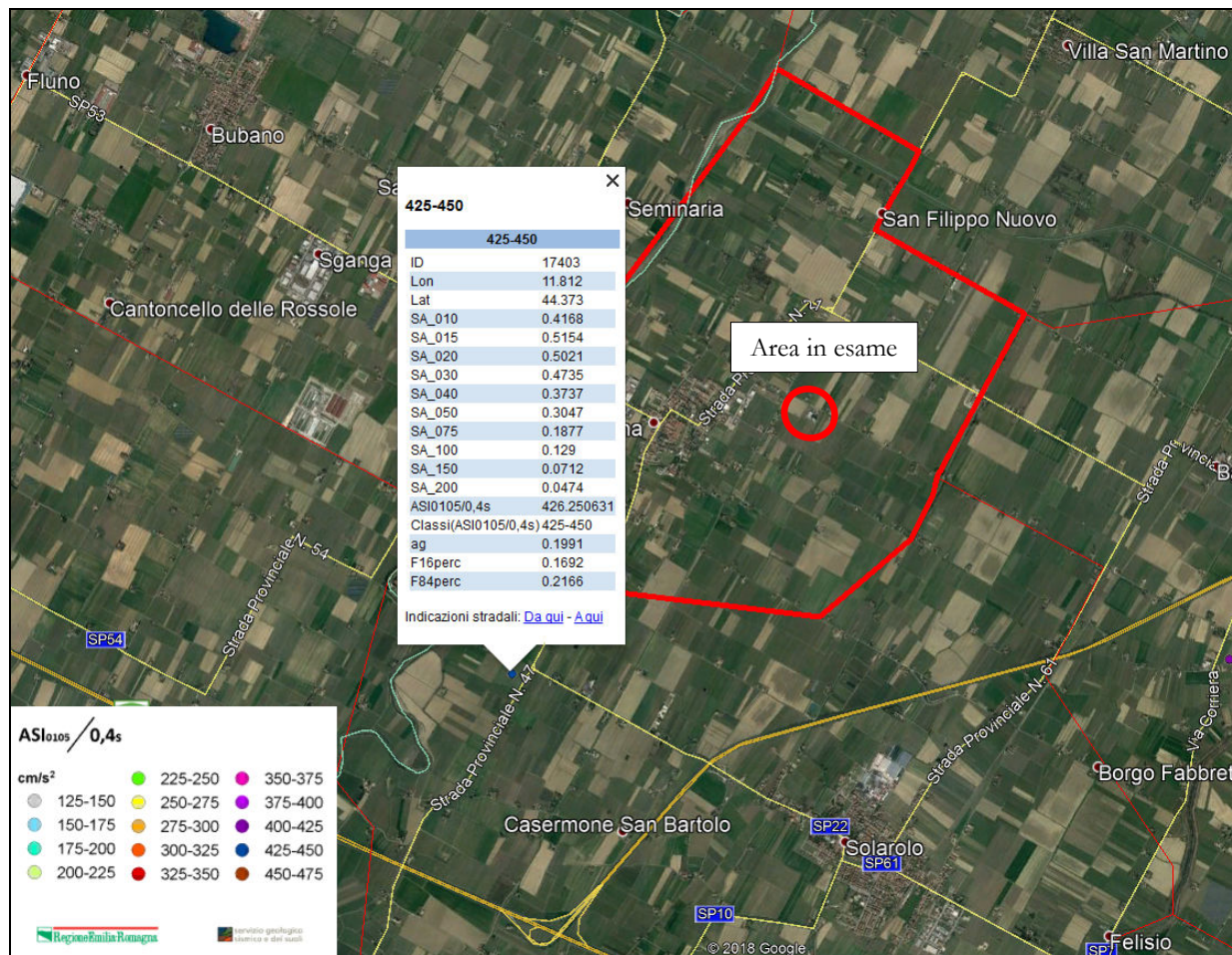


FIGURA 5.4– Nodo della griglia INGV più prossimo al sito

Il valore di H_{MS} del sito allo studio è pari a:

$$H_{MS} = 426,25 \times 1,3 = 554,12 \text{ cm/sec}^2$$

Il rischio sismico per strutture che hanno periodi compresi tra 0,1sec e 0,5sec è dunque **“moderato”**.

Per convenzione nella microzonazione sismica si studiano edifici con periodo compreso tra 0,1sec e 0,5sec.

Table 1 - Possible thresholds for H_{SM} and others physical parameters.

seismic hazard	low-very low	moderate-low	moderate	high	very high
H_{SM} (cm/s ²)	≤ 180	$180 < H_{SM} \leq 340$	$340 < H_{SM} \leq 650$	$650 < H_{SM} \leq 1240$	> 1240
potential damage	none - very light	very light - moderate	moderate - heavy	heavy	very heavy
instrumental intensity	$\leq VI$	VII	VIII	IX	$\geq X$

Come si può osservare dalla tabella che segue, per tutti gli intervalli di periodo analizzati il rischio è moderato con danni potenziali attesi ma moderati a pesanti (per il calcolo degli Hsm nei diversi periodi si veda l'allegata relazione di Analisi di Risposta Sismica Locale).

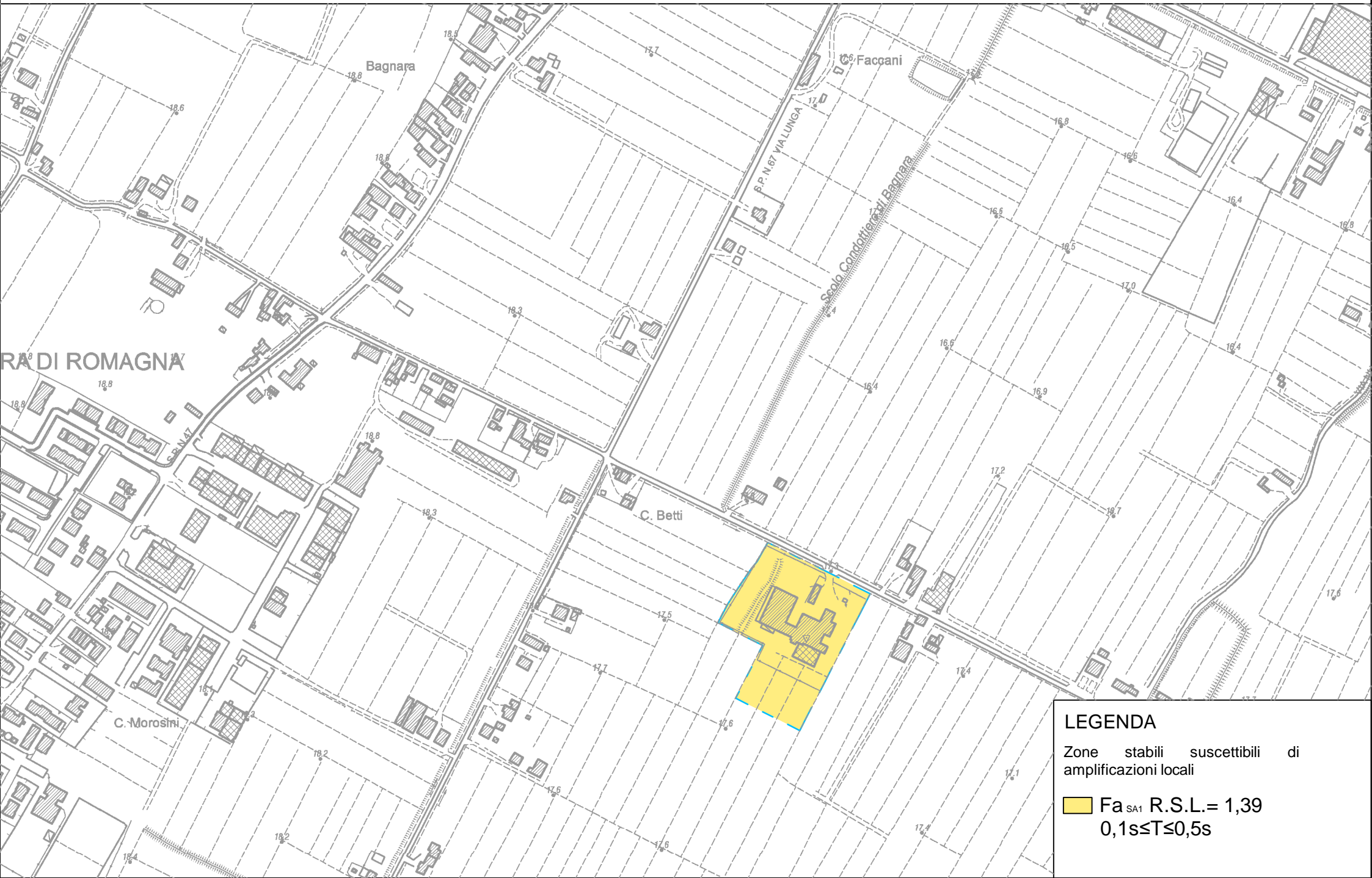
		VALORE DA RSL		VALORE DA ABACO RER	
Hsm	0.1-0.5	551	cm/sec ²	554	cm/sec ²
Hsm	0.4-0.8	517	cm/sec ²		
Hsm	0.7-1.1	370	cm/sec ²		
Hsm	0.5-1.5	358	cm/sec ²		



LEGENDA

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali

Fa_{PGA} R.S.L. = 1,39



LEGENDA

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali

Fa_{SA1} R.S.L.= 1,39
0,1s≤T≤0,5s



LEGENDA

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali

Fa_{SA2} R.S.L. = 2,17
0,4s ≤ T ≤ 0,8s



LEGENDA


Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

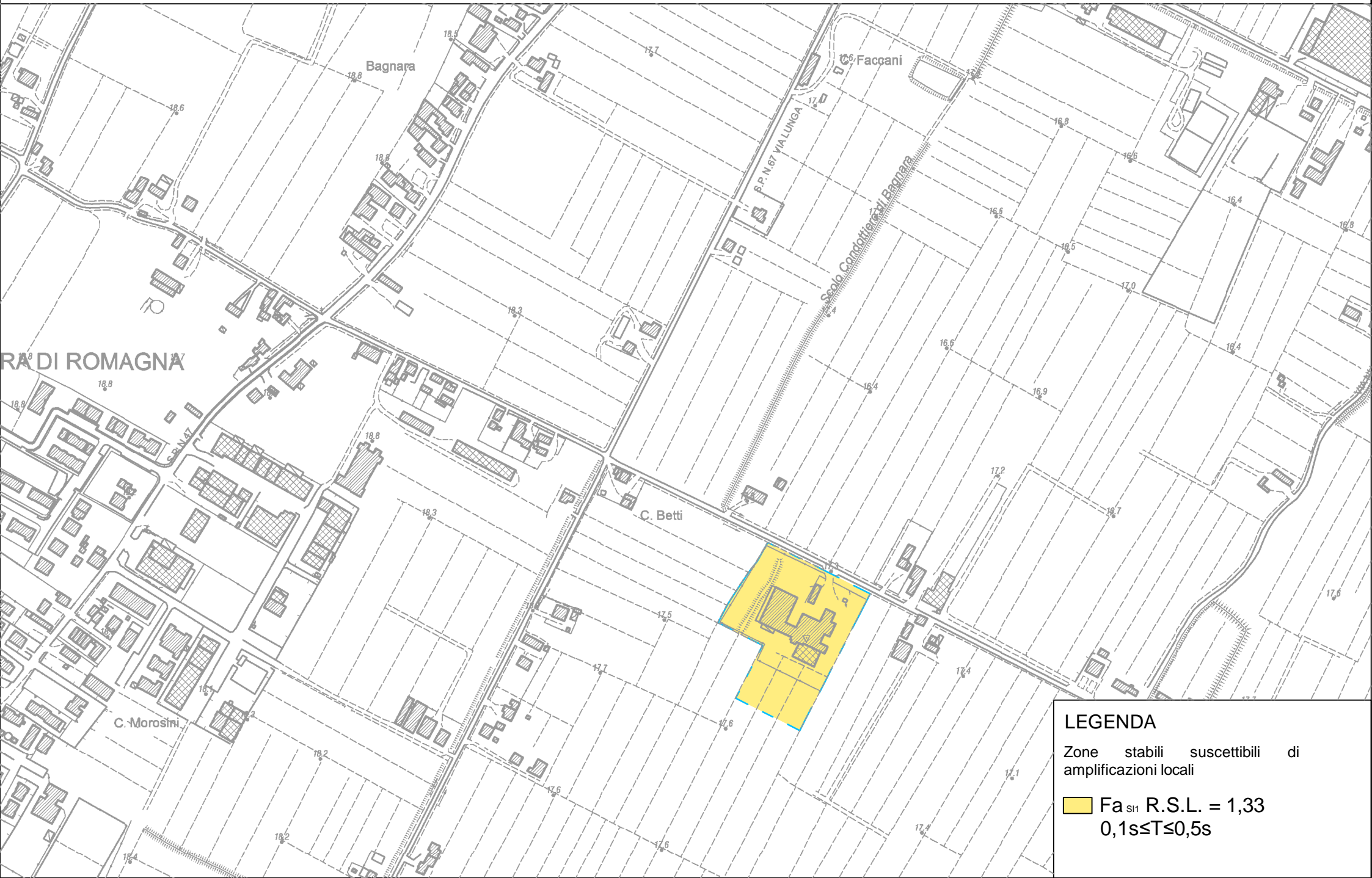
Fa_{SA3} R.S.L. = 2,41
0,7s ≤ T ≤ 1,1s



LEGENDA


Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali

 Fa_{SA4} R.S.L. = 2,32
0,5s ≤ T ≤ 1,5s



LEGENDA

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali

 Fa_{SI1} R.S.L. = 1,33
0,1s ≤ T ≤ 0,5s



LEGENDA

Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali

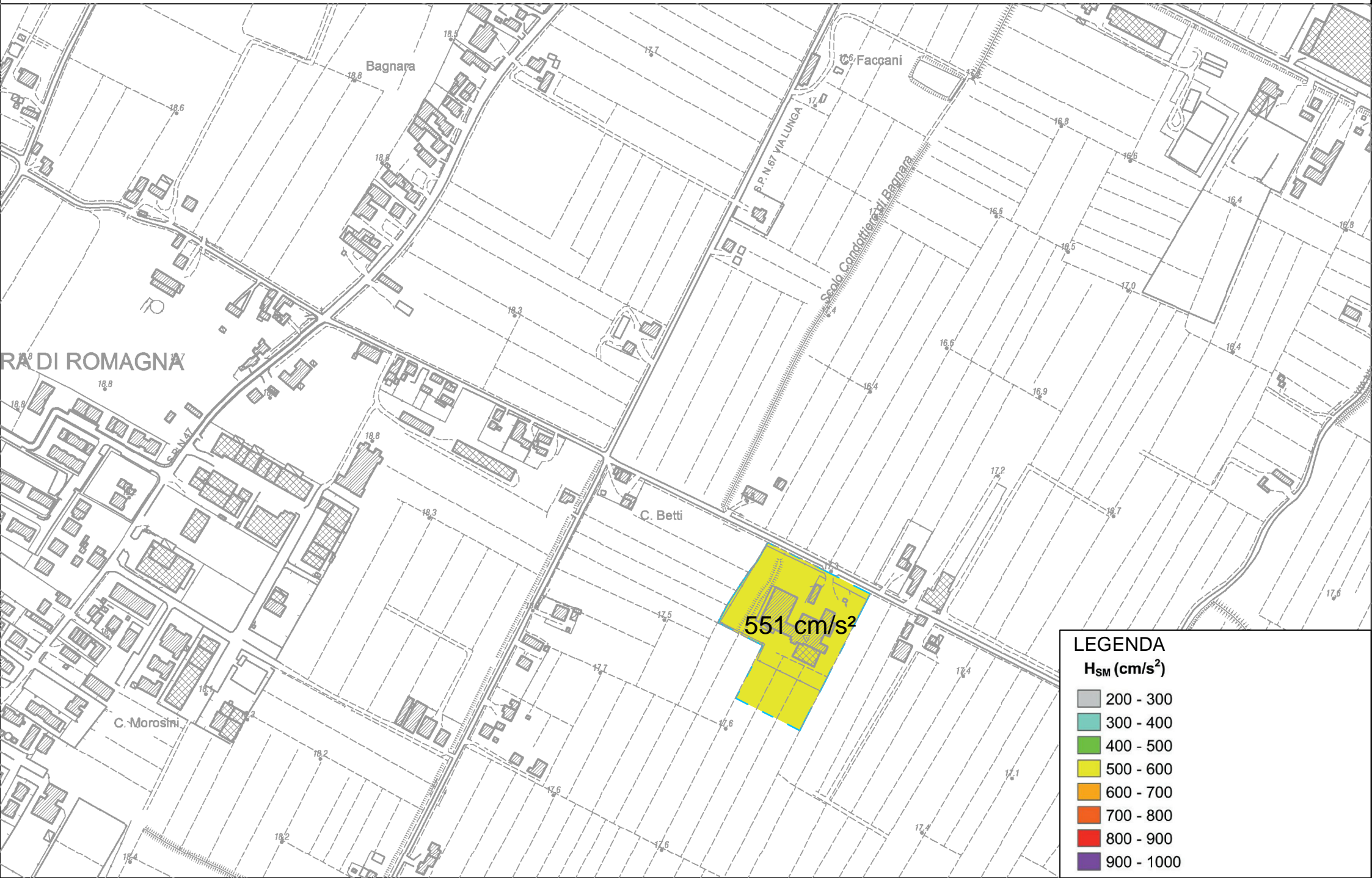
■ Fa_{SI2} R.S.L. = 2,18
0,5s ≤ T ≤ 1,0s



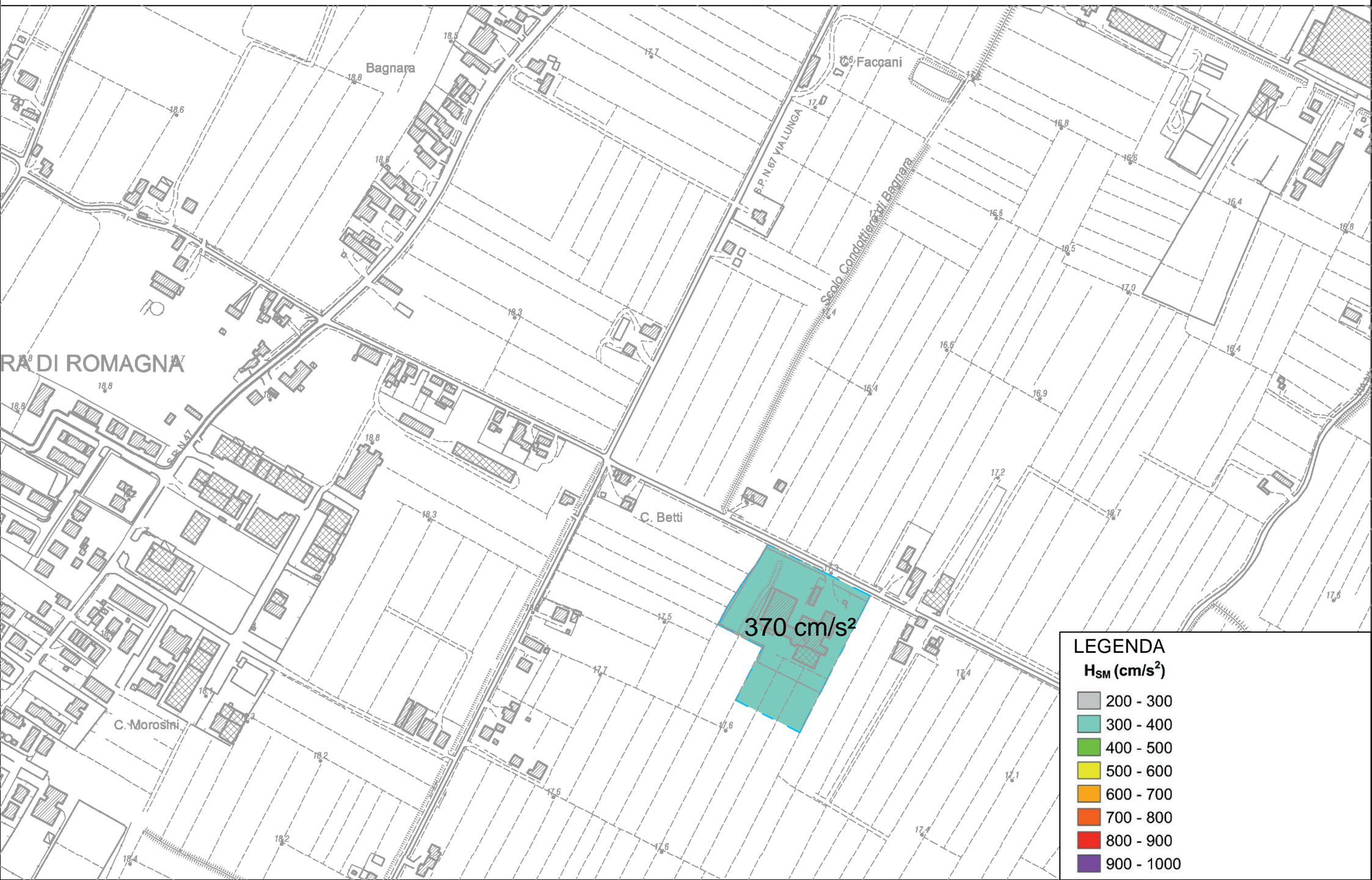
LEGENDA

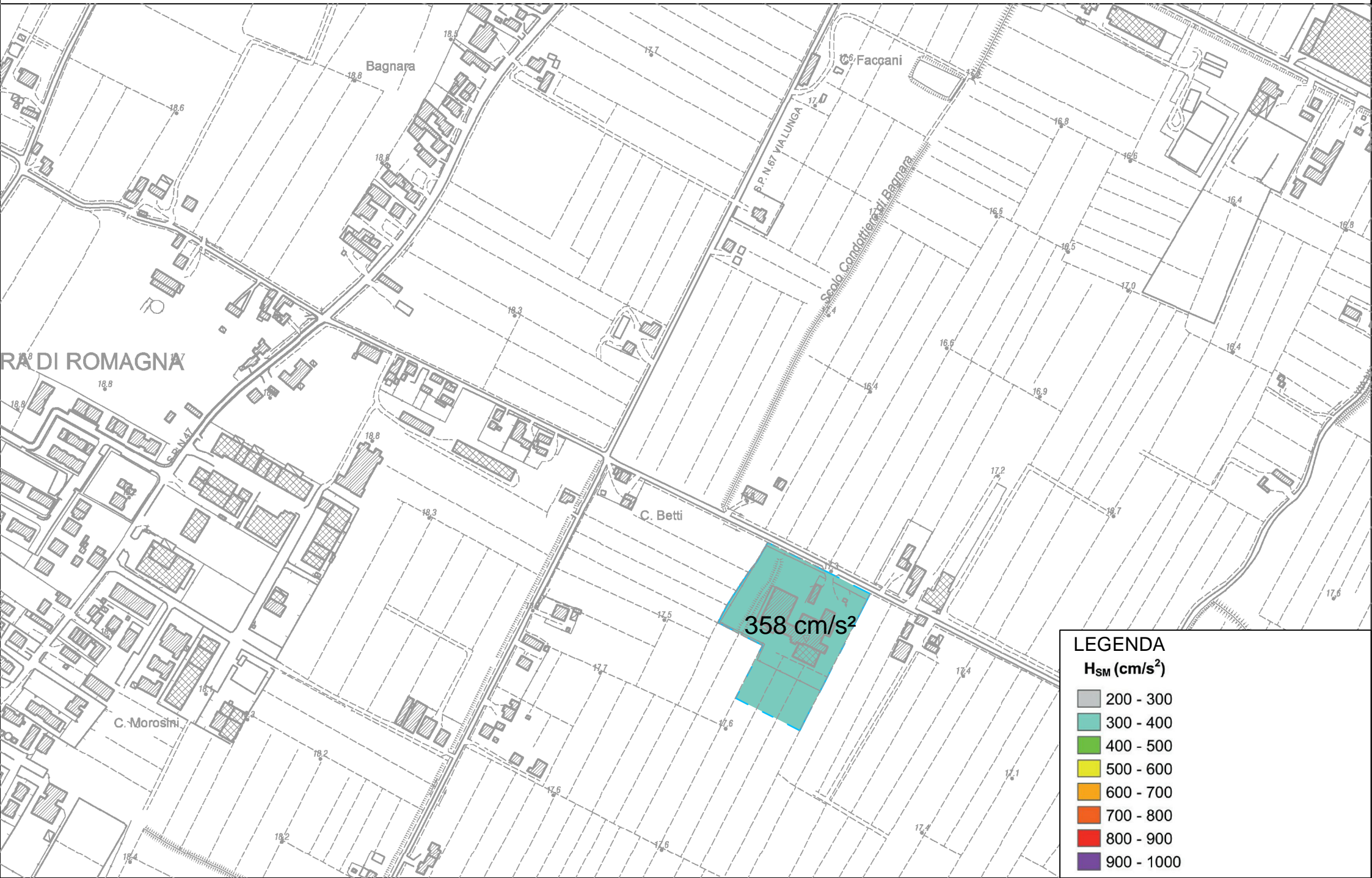
Zone stabili suscettibili di
amplificazioni locali

■ Fa_{SI3} R.S.L. = 2,24
 $0,5s \leq T \leq 1,5s$









CARTA DELL'INDICE DI LIQUEFAZIONE I_{PL}

A tal proposito è stata redatta la **Tavola 18 – Carta dell'indice di Liquefazione I_{PL}** allegata a questa relazione.

Questa carta dell'indice del potenziale di liquefazione è stata realizzata analizzando le 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU realizzate in sito e presenta un punto colorato per ogni verticale indagata, in funzione del valore del potenziale di liquefazione calcolato; inoltre per ogni indagine realizzata viene riportato il valore puntuale di I_{PL} calcolato con il metodo Robertson 2010.

L'indice del potenziale di liquefazione è un valore adimensionale che parte da 0 ed esprime il grado di pericolosità dovuto a liquefazione delle sabbie in caso di sisma. Sulla base dei valori di questo indice si esprime una diversa classificazione del potenziale di liquefazione (**Tabella 5.2**) indicata con diversi colori in carta, come riportato da D.G.R. 476 del 2021 della Regione Emilia Romagna.

Indice del Potenziale di Liquefazione I_L	Classificazione D.G.R. 630 del 2019	Colori nella carta
0,00	<i>Rischio di liquefazione nullo</i>	
$0,00 \leq 2,00$	<i>Rischio di liquefazione basso</i>	
$2,00 \leq 5,00$	<i>Rischio di liquefazione moderato</i>	
$5,00 \leq 15,00$	<i>Rischio di liquefazione alto</i>	
$\geq 15,00$	<i>Rischio di liquefazione molto alto</i>	

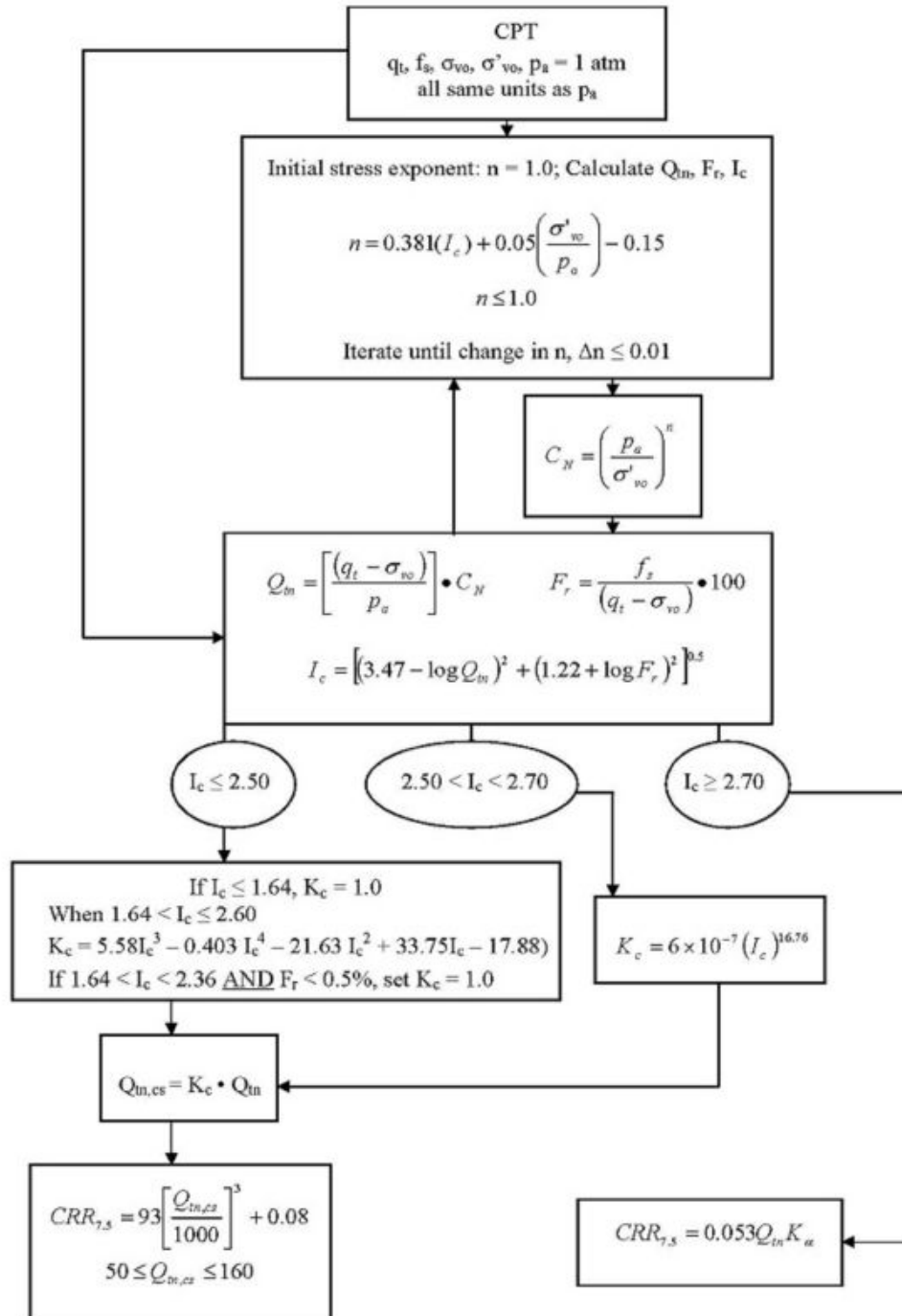
Tabella 5.2– Classificazione dell'indice del potenziale di liquefazione

Successivamente verrà spiegato come è stato calcolato questo valore e i dati di input utilizzati.

La procedura utilizzata per la valutazione della resistenza alla liquefazione è stata eseguita secondo il metodo **ROBERTSON 2010**, la procedura di calcolo è la seguente:

Procedure for the evaluation of soil liquefaction resistance (all soils), Robertson (2010)

Calculation of soil resistance against liquefaction is performed according to the Robertson & Wride (1998) procedure. This procedure used in the software, slightly differs from the one originally published in NCEER-97-0022 (Proceedings of the NCEER Workshop on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils). The revised procedure is presented below in the form of a flowchart¹:



¹ P.K. Robertson, 2009. "Performance based earthquake design using the CPT", Keynote Lecture, International Conference on Performance-based Design in Earthquake Geotechnical Engineering – from case history to practice, IS-Tokyo, June 2009

Per il calcolo dell'indice di liquefazione, si è adottato il profilo della CSR_{7,5} ricavato dalla Risposta Sismica Locale.. La Magnitudo di progetto è stata considerata pari a Mw=6,14, come da zona sismogenetica 912 e 914.

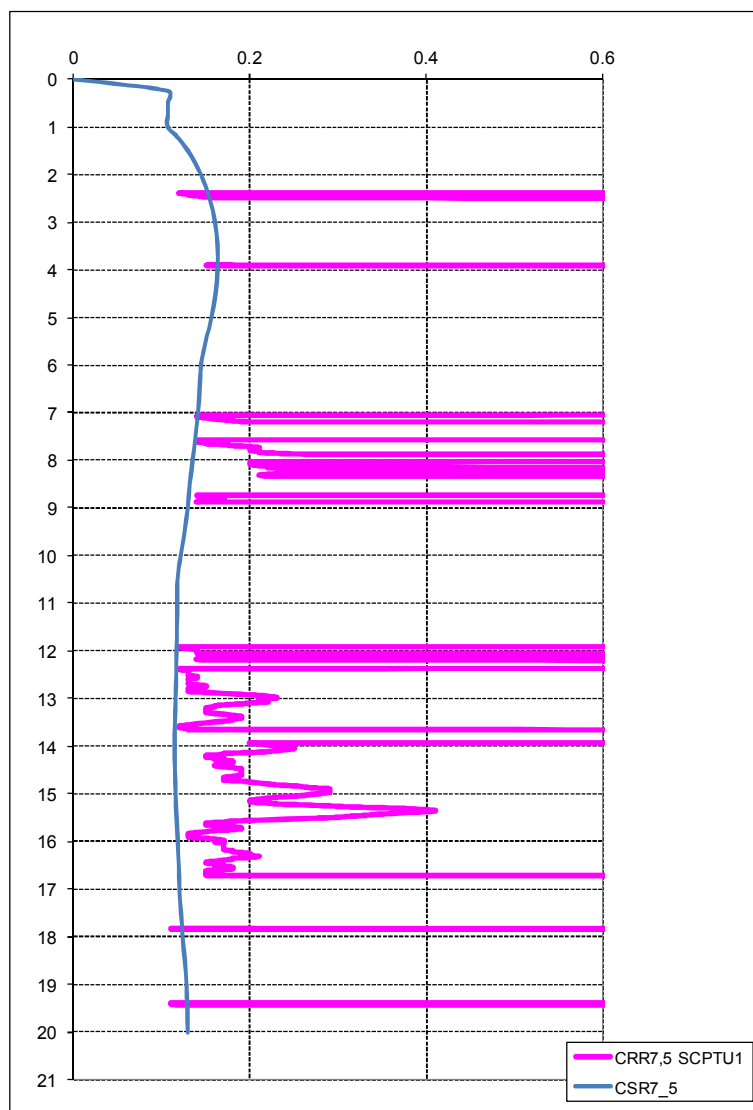


FIGURA 5.5 -SCPTU1

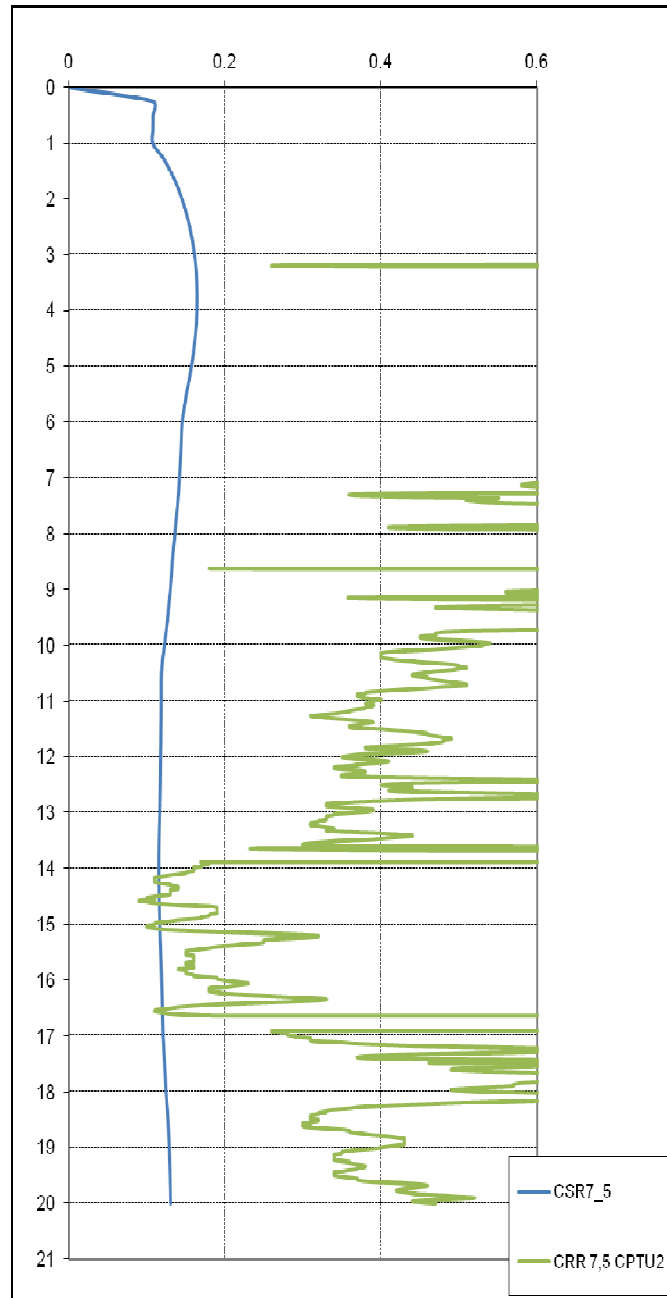


FIGURA 5.6 - CPTU2

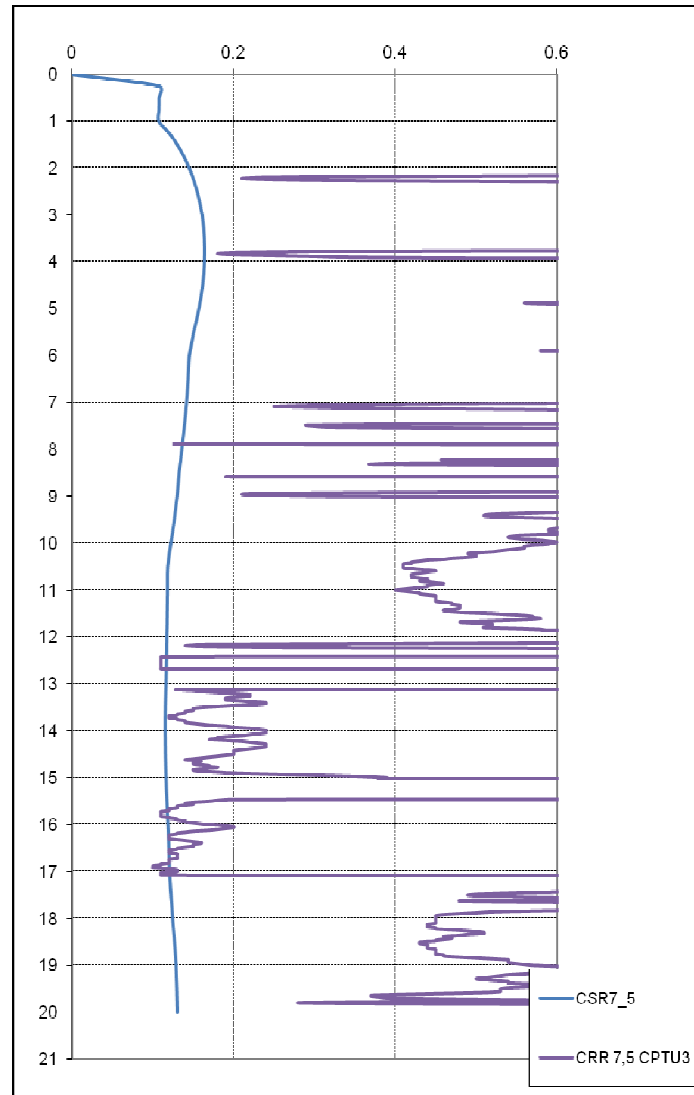


FIGURA 5.7 - CPTU3

Il fattore di sicurezza richiesto dalla normativa regionale è in questo caso $F_L=1,2$.
I valori stimati dell'indice del potenziale di liquefazione per le tre verticali è dunque:

Prova	Potenziale Liquefazione I_{PL}
SCPTU1	0,23
CPTU2	0,34
CPTU3	0,00

Tabella 5.3– *Indice potenziale liquefazione calcolato*

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU1 Bagnara di Ro

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
28.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.02	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.04	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.06	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.08	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.10	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.12	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.14	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.16	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.18	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.20	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.22	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.24	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.26	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.28	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.30	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.32	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.34	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.36	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.38	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.40	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.42	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.44	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.46	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.48	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.50	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.52	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.54	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.56	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.58	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.60	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.62	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.64	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.66	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.68	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.70	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.72	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.74	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.76	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.78	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.80	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	30.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00

Overall liquefaction potential: 0.23

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

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
F_L: 1 - FS
w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
d_z: Layer thickness (m)
LPI: Liquefaction potential index value for test point

FIGURA 5.8 - SCPTU1

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU2 Bagnara di Ro

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
26.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	26.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
26.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	26.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
26.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.02	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.04	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.06	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.08	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.10	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.12	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.14	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.16	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.18	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.20	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.22	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.24	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.26	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.28	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.30	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.32	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.34	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.36	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.38	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.40	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00

Overall liquefaction potential: 0.34

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

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
F_L: 1 - FS
w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
d_z: Layer thickness (m)
LPI: Liquefaction potential index value for test point

FIGURA 5.9 - CPTU2

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU3 Bagnara di Ro

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
28.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.02	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.04	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.06	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.08	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.10	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.12	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.14	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.16	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.18	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.20	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.22	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.24	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.26	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.28	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.30	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.32	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.34	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.36	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.38	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.40	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.42	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.44	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.46	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.48	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.50	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.52	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.54	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.56	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.58	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.60	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.62	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.64	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.66	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.68	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.70	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.72	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.74	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.76	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.78	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.80	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	30.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00

Overall liquefaction potential: 0.00

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

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
F_L: 1 - FS
w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
d_z: Layer thickness (m)
LPI: Liquefaction potential index value for test point

FIGURA 5.10 - CPTU3

Sono stati stimati i cedimenti postsismici nei banchi sabbiosi rilevati con le 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU con *rif. U91-19*. Del calcolo completo dei cedimenti post sismici si riporta solo il risultato finale.

Dalle elaborazioni informatiche, si ricava che con una Magnitudo di 6,14, con il profilo di CSR7,5 ricavato dalal Risposta Sismica Locale, e fattore di sicurezza per la liquefazione $F_L=1,2$, i cedimenti post sismici nei terreni granulari (**Tabella**) sono molto contenuti.

Prova	Cedimenti post-sismici (cm)
SCPTU1	2,91
CPTU2	2,80
CPTU3	0,27

Tabella 5.4– Cedimenti post-sismici

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU1 Bagnara di Ro

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)

Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)
30.00	71.57	2.00	0.00	1.00	0.00						

Total estimated settlement: 2.91

Abbreviations

$Q_{tn,cs}$:

Equivalent dean sand normalized cone resistance

FS:

Factor of safety against liquefaction

e_v (%)

Post-liquefaction volumetric strain

DF:

e_v depth weighting factor

Settlement:

Calculated settlement

FIGURA 5.11– Cedimenti post sismici SCPTU1

This software is licensed to: THOMAS VERONESE						CPT name: rif. U91-19 CPTU2 Bagnara di Ro					
:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)											
Depth (m)	Q _{tn,cs}	FS	e _v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	Q _{tn,cs}	FS	e _v (%)	DF	Settlement (cm)
26.46	79.66	2.00	0.00	1.00	0.00	26.48	80.87	2.00	0.00	1.00	0.00
26.50	79.43	2.00	0.00	1.00	0.00	26.52	75.62	2.00	0.00	1.00	0.00
26.54	70.56	2.00	0.00	1.00	0.00	26.56	65.15	2.00	0.00	1.00	0.00
26.58	61.82	2.00	0.00	1.00	0.00	26.60	62.21	2.00	0.00	1.00	0.00
26.62	67.26	2.00	0.00	1.00	0.00	26.64	73.63	2.00	0.00	1.00	0.00
26.66	77.98	2.00	0.00	1.00	0.00	26.68	77.95	2.00	0.00	1.00	0.00
26.70	76.70	2.00	0.00	1.00	0.00	26.72	74.84	2.00	0.00	1.00	0.00
26.74	72.27	2.00	0.00	1.00	0.00	26.76	68.17	2.00	0.00	1.00	0.00
26.78	63.58	2.00	0.00	1.00	0.00	26.80	59.35	2.00	0.00	1.00	0.00
26.82	56.83	2.00	0.00	1.00	0.00	26.84	55.20	2.00	0.00	1.00	0.00
26.86	54.98	2.00	0.00	1.00	0.00	26.88	54.32	2.00	0.00	1.00	0.00
26.90	53.72	2.00	0.00	1.00	0.00	26.92	51.63	2.00	0.00	1.00	0.00
26.94	48.47	2.00	0.00	1.00	0.00	26.96	44.96	2.00	0.00	1.00	0.00
26.98	42.66	2.00	0.00	1.00	0.00	27.00	41.28	2.00	0.00	1.00	0.00
27.02	39.64	2.00	0.00	1.00	0.00	27.04	38.01	2.00	0.00	1.00	0.00
27.06	37.02	2.00	0.00	1.00	0.00	27.08	36.96	2.00	0.00	1.00	0.00
27.10	37.23	2.00	0.00	1.00	0.00	27.12	37.42	2.00	0.00	1.00	0.00
27.14	37.99	2.00	0.00	1.00	0.00	27.16	38.51	2.00	0.00	1.00	0.00
27.18	40.53	2.00	0.00	1.00	0.00	27.20	44.75	2.00	0.00	1.00	0.00
27.22	53.23	2.00	0.00	1.00	0.00	27.24	65.29	2.00	0.00	1.00	0.00
27.26	78.10	2.00	0.00	1.00	0.00	27.28	89.15	2.00	0.00	1.00	0.00
27.30	100.31	2.00	0.00	1.00	0.00	27.32	116.55	2.00	0.00	1.00	0.00
27.34	138.32	2.00	0.00	1.00	0.00	27.36	164.70	2.00	0.00	1.00	0.00
27.38	193.21	2.00	0.00	1.00	0.00	27.40	214.22	2.00	0.00	1.00	0.00
						Total estimated settlement: 2.80					
Abbreviations											
Q _{tn,cs} :	Equivalent dean sand normalized cone resistance										
FS:	Factor of safety against liquefaction										
e _v (%):	Post-liquefaction volumetric strain										
DF:	e _v depth weighting factor										
Settlement:	Calculated settlement										

FIGURA 5.12 – Cedimenti post sismici CPTU2

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU3 Bagnara di Ro

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)

Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)
29.90	74.52	2.00	0.00	1.00	0.00	29.92	76.72	2.00	0.00	1.00	0.00
29.94	77.61	2.00	0.00	1.00	0.00	29.96	77.19	2.00	0.00	1.00	0.00
29.98	75.40	2.00	0.00	1.00	0.00	30.00	74.12	2.00	0.00	1.00	0.00

Total estimated settlement: 0.27

Abbreviations

$Q_{tn,cs}$:

Equivalent dean sand normalized cone resistance

FS:

Factor of safety against liquefaction

e_v (%):

Post-liquefaction volumetric strain

DF:

e_v depth weighting factor

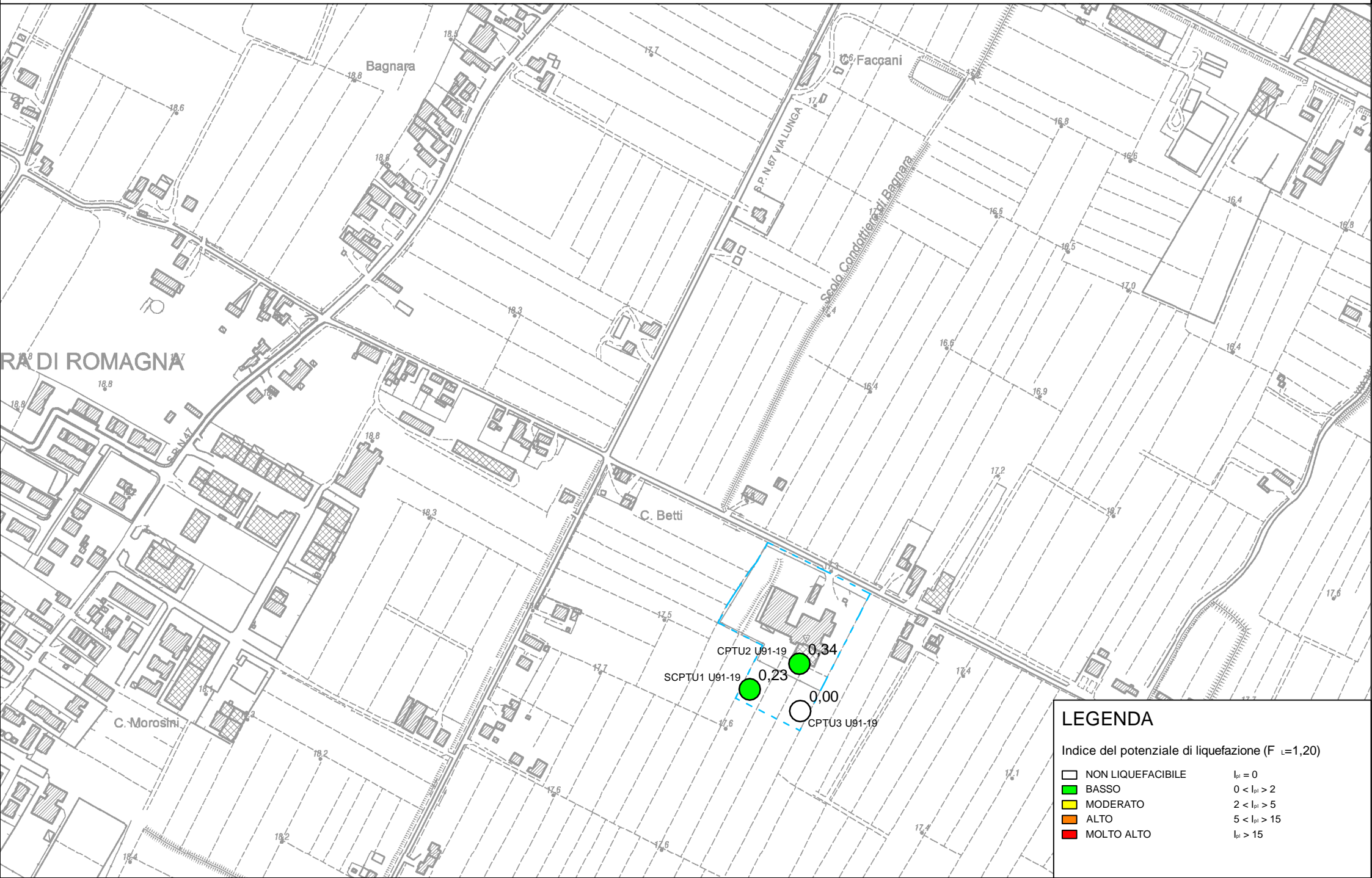
Settlement:

Calculated settlement

FIGURA 5.13 - Cedimenti post sismici CPTU3

L'area si può considerare stabile, da punto di vista dell'effetto di sito della liquefazione delle sabbie.
Codigoro, lì 22/04/2022

Dott. Geol. Thomas Veronese



ALLEGATO A

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

COMUNE DI BAGNARA DI ROMAGNA (RA)

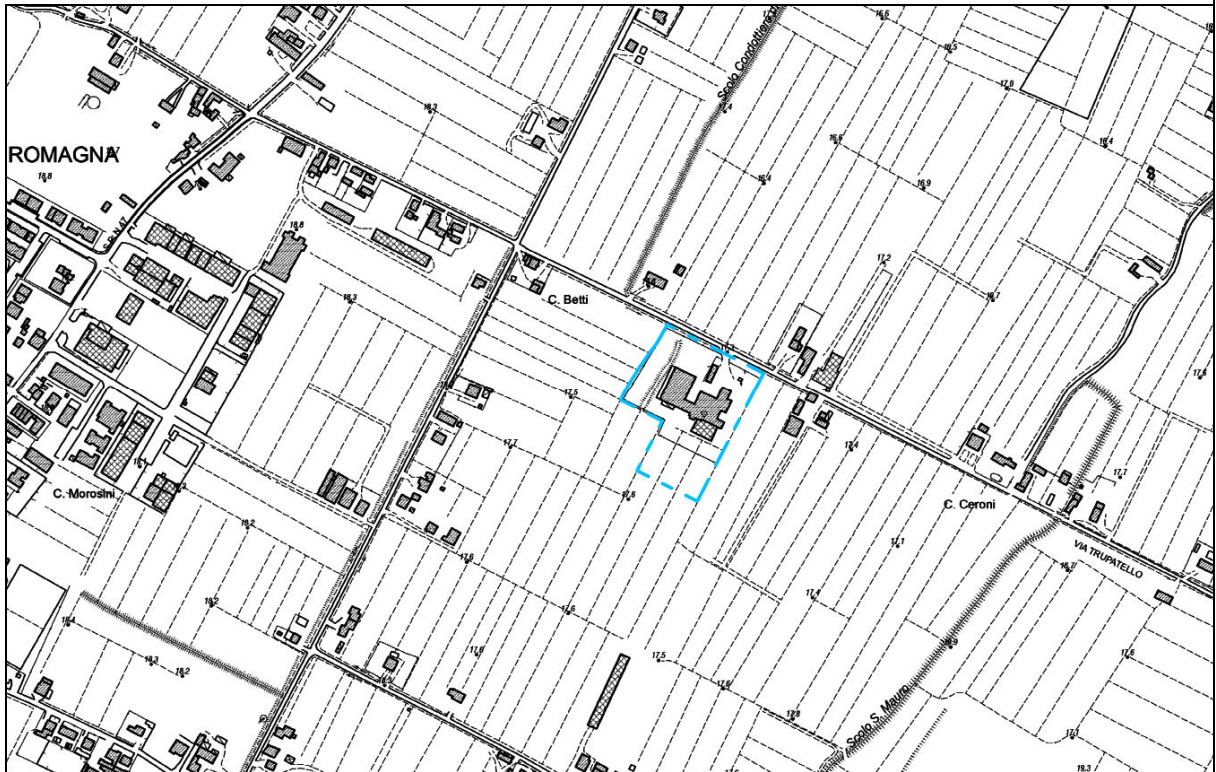
Variante alla Pianificazione Territoriale e Urbanistica dell'area oggetto di ammodernamento di impianto per la produzione di mangimi in ottica 4.0 (mangime Bio/Ogm) sito in via Trupatello a Bagnara di Romagna (Ra). Riferimenti catastali foglio 7 mappale 149 e 65 del comune di Bagnara di Romagna (Ra).

Ubicazione sito:
Coordinate (datum WGS84): lon. 11.8404° lat. 44.3900°

RELAZIONE DI CALCOLO

ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Archivio: Eurovo Bagnara.lsr - Data : 18/04/2022



Oggetto: Analisi della Risposta Sismica Locale - Eurovo Bagnara di Romagna

Committente

EUROVO srl

Progettista

Dott. Geol. Thomas Veronese

Thomas Veronese

A circular professional stamp of the Dott. Geol. Thomas Veronese. The stamp contains the text 'ORDINE DEI GEOL. REGIONE EMILIA', 'DOTT. THOMAS VERONESE', 'Emilia-Romagna', 'GEOL. VERONESE', and 'ALBO P. VERONESE'.

Sommario

1 - Introduzione	3
1.1 - Impostazione del Problema di Calcolo dell'Amplificazione Locale	6
1.2 - Normativa di Riferimento	7
2 - Risposta Sismica Locale	8
3 - Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D	9
3.1 - Metodo lineare equivalente	9
3.2 - Soluzione alla singola iterazione mediante FEM	11
3.2.1 - Smorzamento	12
3.2.2 - Free-field boundaries	12
3.3 - Procedimento iterativo	13
3.4 - Interpretazione dei risultati	13
4 - Input	14
4.1 - Curve di Decadimento dei Materiali	14
4.2 - Stratigrafia e Caratteristiche meccaniche dei singoli strati	19
4.3 - Accelerogrammi e Spettri di Input	24
5 - Output	33
5.1 - Accelerogrammi Output	33
5.2 - Spettri Output	36
5.3 - Interpretazione dei risultati	40
5.4 - Calcolo fattori di amplificazione	49
5.5 - Calcolo dei valori di Hsm	50
5.6 - Calcolo della funzione di trasferimento	51
6 - Sintesi tabellare dei risultati della RSL	53
7. Analisi della liquefazione delle sabbie sature da RSL	54

1 - Introduzione

In passato si è potuto osservare, a seguito di terremoti distruttivi, una distribuzione anomala del danneggiamento delle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di modeste dimensioni.

Oltre alle intrinseche differenze della vulnerabilità sismica delle costruzioni ed alle differenti caratteristiche dinamiche delle stesse, tali cause possono essere attribuite principalmente alle modificazioni delle caratteristiche del moto sismico indotte da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

Il moto sismico in un determinato sito, infatti, è influenzato da tre parametri importanti:

- Il meccanismo di sorgente;
- La propagazione;
- La risposta sismica locale;

I primi due fattori dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'evento sismico; questi variano in funzione delle caratteristiche della sorgente (magnitudo e tipo di rottura della faglia) e dalla distanza tra il sito in esame e la sorgente.

La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

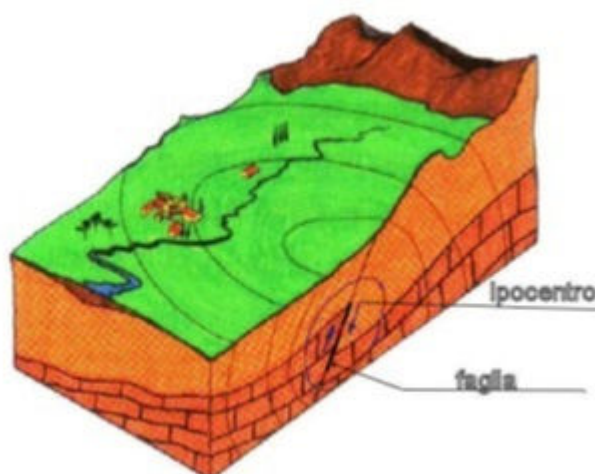


Figura 1. Schema della rottura del terreno e generazione e propagazione delle onde sismiche.

In altre parole le caratteristiche del sito sono le responsabili delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (terremoto di riferimento), subisce attraversando gli strati dal bedrock fino alla superficie (Lanzo G. et al.,1999).

Nella Figura 1 è rappresentato uno schema della rottura fragile del terreno in profondità con conseguente generazione di onde che si irradiano dall'ipocentro.

Se si ipotizza di avere installato un sismometro ad una grande distanza dall'ipocentro un possibile segnale registrato potrebbe essere quello mostrato nella Figura 2. Il segnale inizia con l'arrivo delle onde P caratterizzate da alte frequenze a bassa ampiezza. Successivamente arrivano le onde S che si propagano meno velocemente delle P e sono di frequenza più bassa e di maggiore ampiezza. Queste ultime sono in genere la causa dei maggiori danni. Le onde P e quelle S, come già descritto nel capitolo A sono chiamate onde di volume per distinguerle da quelle di superficie che sono più lente.



Figura 2. Tipico sismogramma registrato in superficie a grande distanza.

In generale si può dire che le onde generate dalla sorgente sismica sono di due differenti tipi, cioè quelle associate a stati deformativi di compressione-dilatazione volumetrica, dette onde **P** che si propagano con velocità V_p pari a:

$$V_p = \sqrt{\frac{M_v}{\rho}}$$

con:

$$M_v = \lambda + 2G$$

dove:

- λ = modulo di Lamé del terreno;
- G = modulo elastico del taglio del terreno;
- ρ = densità del volume del terreno;

Per le onde **P** il moto oscillatorio delle particelle di terreno avviene parallelamente alla direzione di propagazione.

Le onde **S** sono associate a deformazione di taglio ed hanno una velocità V_s pari a:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Il moto delle particelle di terreno è in tal caso perpendicolare alla direzione di propagazione. Il campo di spostamenti, in genere, è scomposto in due componenti perpendicolari tra di loro: le onde **SV** polarizzate nel piano verticale contenente la sorgente e le onde **SH** polarizzate nel piano orizzontale (piano della superficie libera del terreno in direzione perpendicolare al precedente).

Per maggiore chiarezza, se si considera il piano π verticale e contenente la direzione di propagazione dell'onda incidente, il moto della particella di terreno perpendicolare a tale piano costituisce l'onda **SH**, viceversa il moto nel piano costituisce l'onda **SV**.

Le onde **P** e **S** arrivate in superficie possono trasformarsi parzialmente in onde di diverso tipo (**P** in **S** oppure **S** in **P**) oppure in onde superficiali chiamate così perché viaggiano in superficie attenuandosi rapidamente con la profondità. Queste ultime si differenziano in onde di Rayleigh quando il moto della particella di terreno è in un piano verticale oppure onde di Love quando il moto è in un piano orizzontale.

Con riferimento alla Figura 3, il fenomeno della propagazione delle onde può essere descritto come segue. Nella sua complessità morfologica, litologica e stratigrafica, un territorio può essere

rappresentato come un insieme di formazioni superficiali, interessate dai loro fenomeni evolutivi tipici, poggianti su formazioni più profonde, i cui andamenti possono essere stati resi complessi fino alla creazione di affioramenti dai fenomeni tettonici ed orogenetici.

Prevalentemente, le formazioni profonde saranno costituite da rocce ignee o metamorfiche di origine sedimentaria, mentre quelle superficiali saranno di natura sedimentaria più recente, coerenti od incoerenti, e quindi di caratteristiche meccaniche ben differenziate rispetto alle prime. Le onde sismiche che si sono generate in profondità, e che sono già caratterizzate diversamente a seconda del meccanismo proprio della sorgente, subiscono una serie di modificazioni ulteriori (riflessioni e rifrazioni) nell'attraversare la crosta terrestre e giungere fino alle formazioni di base per il sito. Ad una certa distanza dall'epicentro, e per una porzione di territorio ragionevolmente limitata, il moto sismico apparirà come un fronte d'onda uniforme propagantesi dal basso verso l'alto, con una certa angolazione rispetto alla verticale, che viene trasmesso dalle formazioni di base a quelle superficiali.

Il moto al suolo tende a non dipendere più solamente dal tipo di rottura della sorgente e a diventare il risultato di due ulteriori meccanismi eventualmente combinati:

- la propagazione delle onde sismiche all'interno delle formazioni di base e dalla conformazione delle frontiere della stessa;
- la risposta dinamica delle formazioni superficiali.

Tutto ciò comporta una non omogeneità del moto vibratorio in superficie che può cambiare da punto a punto anche a breve distanza. Sugli aspetti quantitativi e qualitativi del fenomeno hanno pertanto grande rilevanza diversi fattori quali la natura delle onde sismiche incidenti ed in particolare il meccanismo di sorgente, le diversità fra le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, ed in particolare tra formazioni di base e superficiali, la conformazione e la giacitura degli strati, la presenza di falde idriche, l'entità dei fenomeni dissipativi ed altri ancora.

Al variare delle condizioni locali, il moto alla superficie risulterà quindi differente per quanto attiene ai suoi caratteri principali e cioè: ampiezza, contenuto in frequenza e durata. Si osserva che tutti e tre questi caratteri sono significativi e concorrono a causare il danneggiamento delle strutture e l'instabilità dei terreni (frane, cedimenti, liquefazioni).

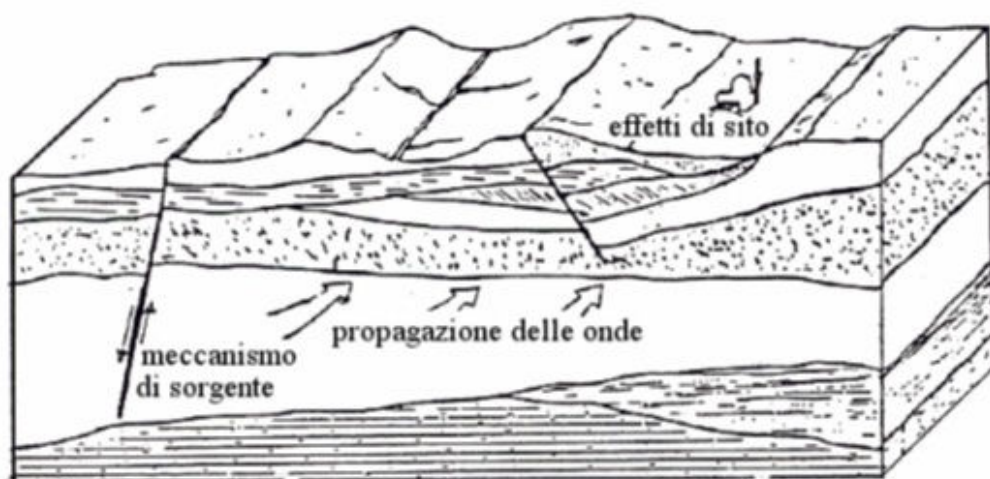


Figura 3. Schema di una situazione reale.

1.1 - Impostazione del Problema di Calcolo dell'Amplificazione Locale

Per illustrare gli aspetti principali del fenomeno della risposta sismica locale si paragoni il moto in corrispondenza di tre siti, indicati con A, B e C nella Figura 4, posti alla stessa distanza dalla sorgente sismica durante lo stesso evento sismico. Si supponga inoltre che il primo sito sia su un semispazio affiorante (per esempio roccia) e il secondo B su un deposito alluvionale posto al di sopra del semi spazio ed il terzo C su di un rilievo.

In corrispondenza della coltre alluvionale si verifica, rispetto al moto sul semi spazio affiorante, una amplificazione del moto in particolari campi di frequenza e una deamp1ificazione negli altri campi. Analogamente sul rilievo in C si verificheranno focalizzazioni oppure diradazioni di onde per effetto della forma del rilievo e della direzione di incidenza delle onde.

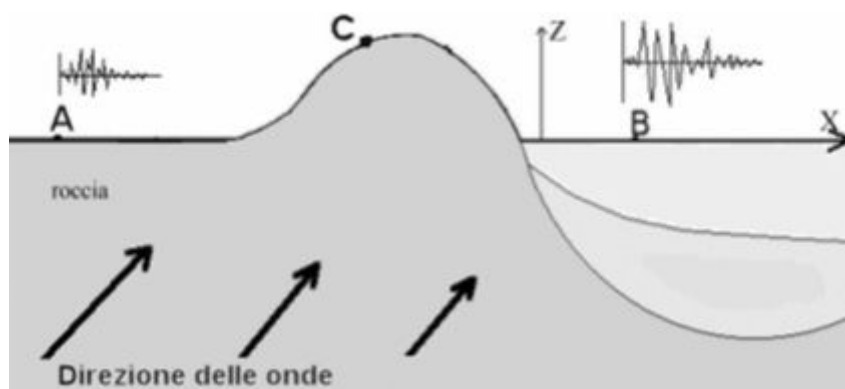


Figura 4. Schema della propagazione delle onde dalla sorgente e delle differenti condizioni locali.

In letteratura si parla di effetti stratigrafici o monodimensionali nel caso in cui le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi in direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento roccioso siano essenzialmente attribuibili a fenomeni di filtraggio. L'amplificazione delle onde sismiche dipende, in questo caso dalla stratigrafia del sottosuolo, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza del moto sismico.

Il termine "effetti di bacino" è utilizzato quando le onde incidenti incontrano una valle alluvionale; in tal caso ai fenomeni sopra descritti si sovrappongono quelli dovuti al manifestarsi di fenomeni complessi di interazione tra le onde, che possono sommarsi o elidersi a vicenda, e generazione di onde superficiali. Spesso ai bordi della valle si verificano maggiori amplificazioni, dette: "effetti di bordo".

Con "effetti topografici" si intendono le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate essenzialmente da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare geometria della superficie (per es. la cresta di un rilievo o un canyon) e sono molto influenzati dalla lunghezza d'onda del moto incidente e dalla direzione di incidenza.

Lo scopo delle analisi di amplificazione sismica locale è quello di determinare il moto in B oppure in C una volta noto il moto nel sito di riferimento A. Tale moto di riferimento è in genere determinabile in via statistica (analisi di pericolosità) o deterministica dallo studio del meccanismo di rottura della sorgente nell'ipotesi che tra la sorgente stessa ed il sito in esame il mezzo sia omogeneo ed isotropo.

Come è facile immaginare le caratteristiche del moto in superficie sono fortemente influenzate, oltre che dalla geometria degli strati e delle loro proprietà meccaniche, anche dalle caratteristiche del moto incidente, cioè dalla direzione di propagazione, dal suo contenuto energetico e dalla direzione del moto delle particelle del terreno.

1.2 - Normativa di Riferimento

La normative di riferimento per lo studio del problema in esame sono:

- NTC 2018 Cap 7.11.3.1 (Risposta Sismica Locale);
- Circolare n. 7/2019 del C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 Gazzetta Ufficiale n. 35/2019 - 11 febbraio 2019.
- Deliberazione della Giunta Regionale 12 aprile 2021, N. 476 Aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)" di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630
- Delibera di Giunta Regionale Num. 630 del 29/04/2019, Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r. n. 24/2017).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
- "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (giugno 1977).
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
- "Raccomandazioni sui pali di fondazione (dicembre 1984)".
- A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana)
- "Aspetti geotecnici nella progettazione in zona sismica (Edizione Provvisoria, marzo 2005)".
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- Eurocode EC-7: Geotechnics, design – dicembre 1987.
- C.N.R. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.
- Eurocode EC-8: Design provisions for earthquake resistance of structures – ottobre 1994.

2 - Risposta Sismica Locale

Come già detto in precedenza, il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I passi da seguire nello studio del problema della risposta sismica locale sono:

1. Definizione input sismico;
2. Stima dell'accelerazione di base;
3. Dati di disaggregazione;
4. Estrazione, conversione e normalizzazione accelerogrammi di input;
5. Analisi di Risposta Sismica Locale;
6. Inserimento sismostratigrafia di input (derivata da indagine sismica MASW);
7. Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica.

Le analisi numeriche che consentono di valutare gli effetti del sito nell'amplificazione delle onde sismiche possono essere distinte in:

- Analisi numeriche monodimensionali;
- Analisi numeriche bidimensionali;
- Analisi numeriche tridimensionali.

Il primo approccio consente di definire una realistica risposta sismica stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali. Questo approccio è ritenuto la via ufficiale delle NTC 2018 (Cap. 3.2.2) e consente, in determinati casi e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo, elementi di risparmio rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazione per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli di normativa.

Il secondo approccio è da preferire in quelle situazioni in cui il sottosuolo presenta una geometria variabile in cui, oltre alla profondità, è importante considerare un'altra delle due restanti dimensioni spaziali. Un esempio di situazione che richiede l'utilizzo di modelli bidimensionali è il caso delle aree marginali delle valli alluvionali, in cui alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli effetti di bordo connessi alla geometria del problema.

Il terzo approccio necessita di modelli complessi che richiedono capacità computazionali notevoli; solo recentemente iniziano ad avere una certa diffusione grazie al rapido sviluppo degli strumenti informatici. Il loro utilizzo è principalmente concentrato sulla valutazione delle amplificazioni in presenza di effetti morfologici, data l'importanza assunta in queste analisi dalla conoscenza precisa e dalla gestione di un modello tridimensionale del terreno.

3 - Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo LSR 2D

Il codice di calcolo LSR 2d, alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. QUAD4 e QUAD4M), 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 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.

3.1 - 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 Figura 5. 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;

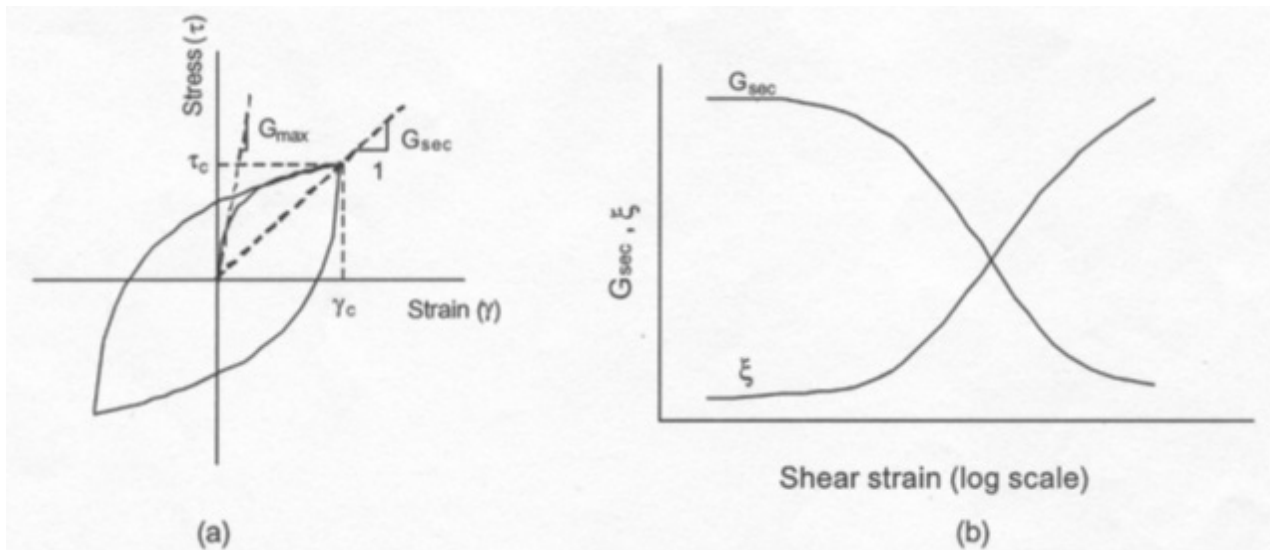


Figura 5. Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in Figura 5. 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 (Figura 5b).

3.2 - 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 (Figura 6) 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.

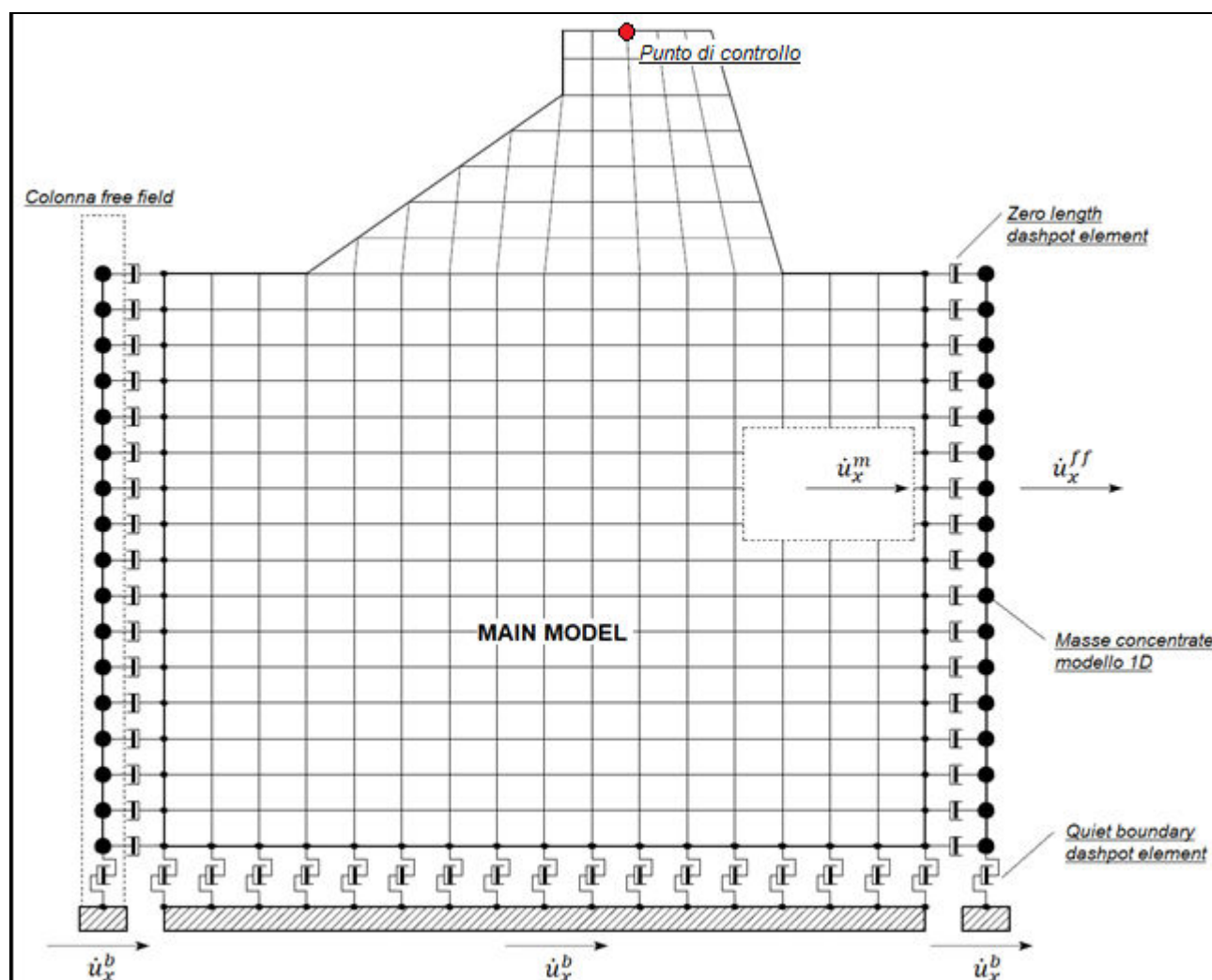


Figura 6. Discretizzazione FEM del deposito di terreno.

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

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 tn 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 tn e $tn - 1$;
- β = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- γ = parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

3.2.1 - 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:

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

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 $n = \omega_l / \omega_1$ (approssimato all'intero pari più grande) e ω_l frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione di bedrock;

3.2.2 - Free-field boundaries

Le condizioni di free-field sulle frontiere laterali vengono implementate mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi delle frontiere laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Le coordinate dei nodi delle frontiere laterali del modello e delle colonne free-field possono essere uguali. È necessario, affinché tali condizioni al contorno siano applicabili, che le frontiere laterali del modello siano perfettamente verticali. Le forze interne agli smorzatori possono essere ottenute mediante le seguenti equazioni:

$$F_x = -\rho V_p (\dot{u}_x^m - \dot{u}_x^{ff}) A \quad (1)$$

$$F_y = -\rho V_s (\dot{u}_y^m - \dot{u}_y^{ff}) A \quad (2)$$

dove:

- ρ : densità di massa del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_p : velocità delle onde P del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- V_s : velocità delle onde S del terreno adiacente alla frontiera laterale;
- A : area di influenza relativa al nodo su cui agisce lo smorzatore;
- \dot{u}_x^m : velocità del nodo del modello in direzione x;
- \dot{u}_y^m : velocità del nodo del modello in direzione y;
- \dot{u}_x^{ff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione x;
- \dot{u}_y^{ff} : velocità del nodo della colonna free-field in direzione y.

Le componenti della velocità dei nodi delle colonne laterali ad ogni istante di tempo vengono ottenute mediante una soluzione numerica monodimensionale a masse concentrate dell'equazione di propagazione delle onde. Tale soluzione è affidata ad un processo di calcolo che opera in parallelo rispetto a quello impiegato per la soluzione del modello principale. In altre parole, per il generico passo di integrazione temporale, vengono dapprima ottenute le componenti delle velocità delle colonne di campo libero attraverso la soluzione 1D, per poi essere convertite in carichi applicati al modello principale mediante le equazioni (1) e (2).

3.3 - 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 rigidezza e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Facendo riferimento alla Figura 5, 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:

- definizione di curve $G = G(\gamma)$ e $D = D(\gamma)$ per i diversi strati;
- inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni ($G0$ e $D0$);
- calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato ($\gamma1$, Figura 5);
- aggiornamento dei valori $G1 = G(\gamma1)$ e $D1 = D(\gamma1)$;
- iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma l - 1 \sim \gamma l$).

3.4 - 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.

4 - Input

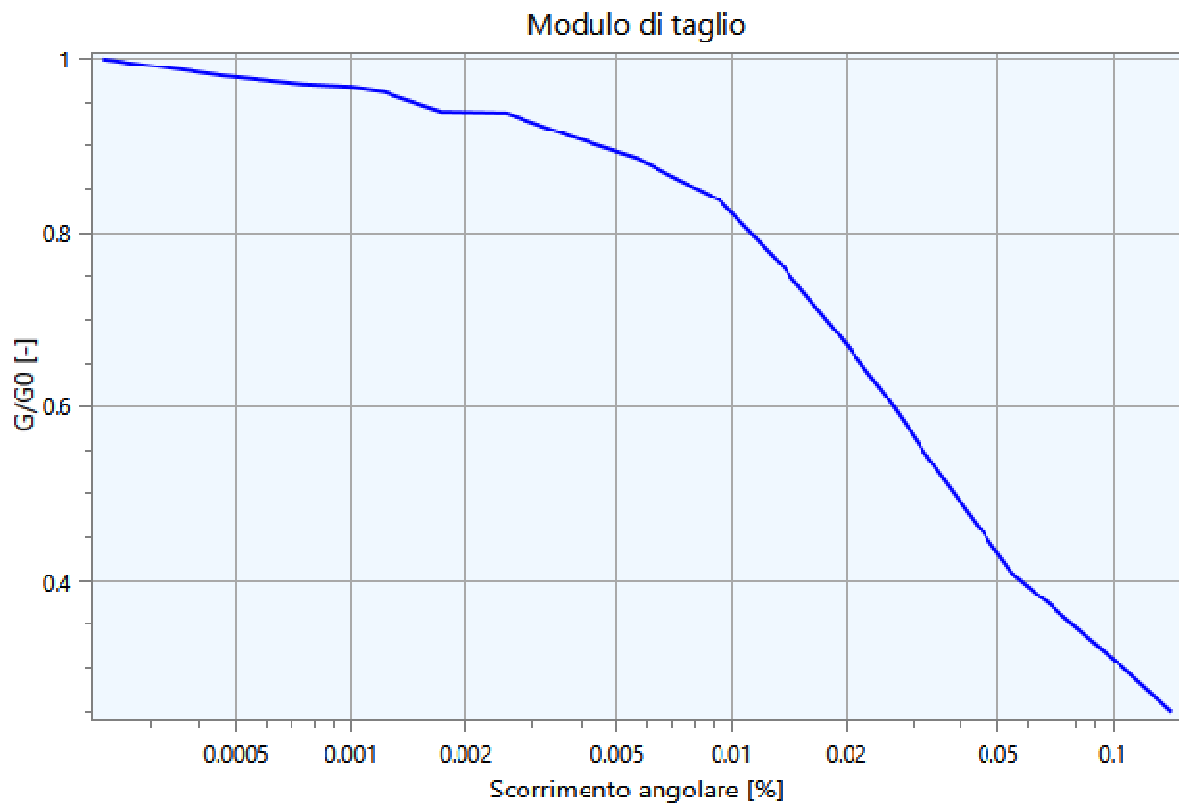
Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai dati di input utilizzati per lo studio della risposta sismica locale del deposito.

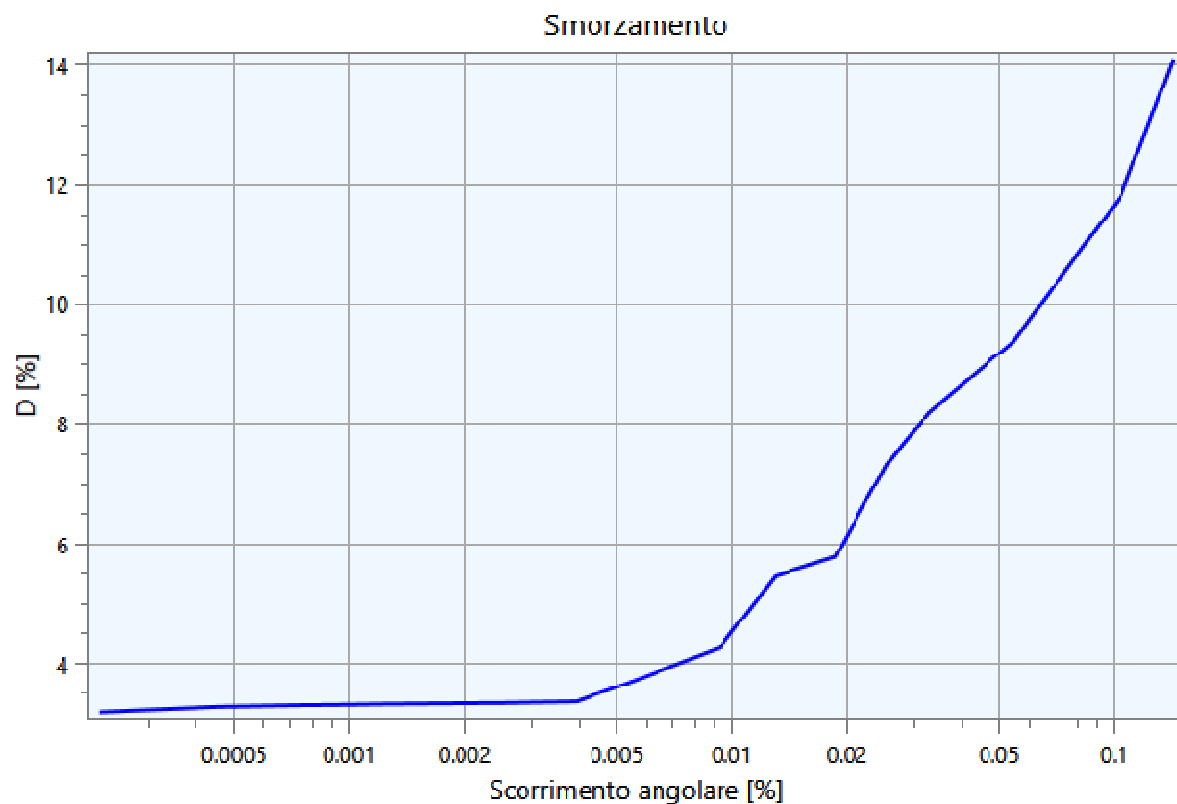
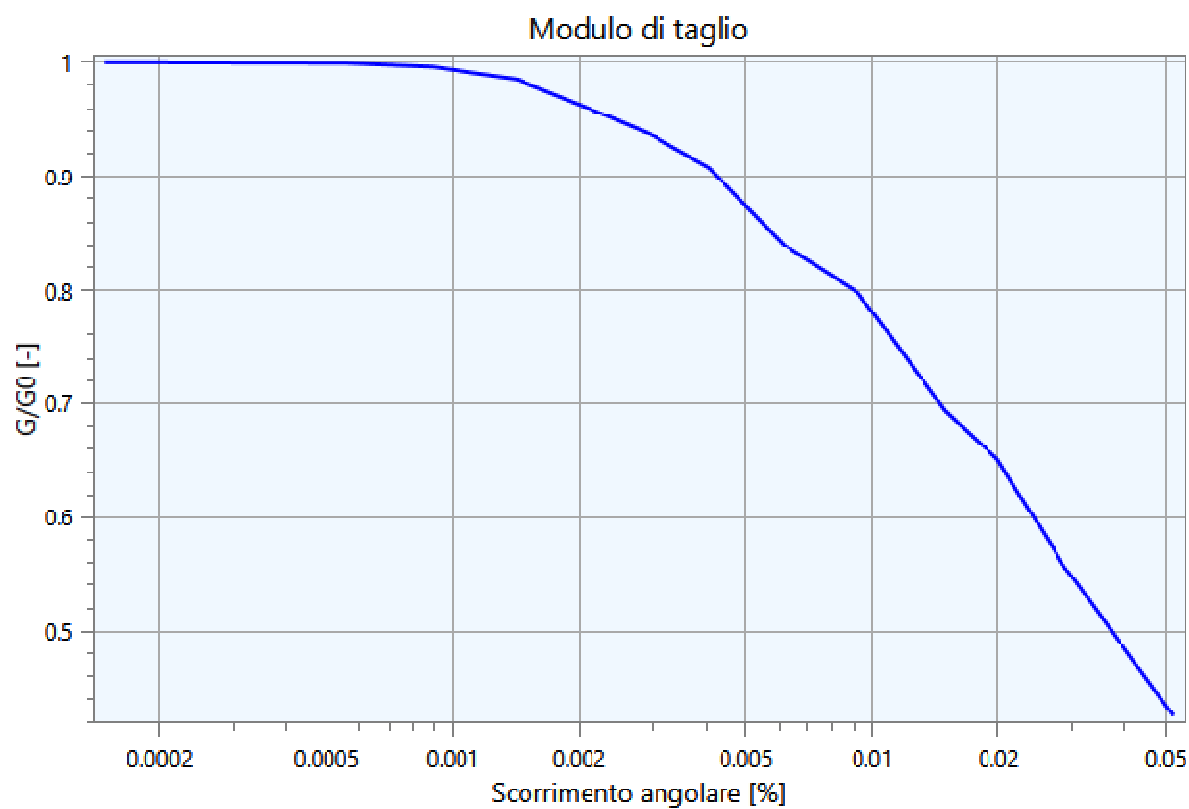
4.1 - Curve di Decadimento dei Materiali

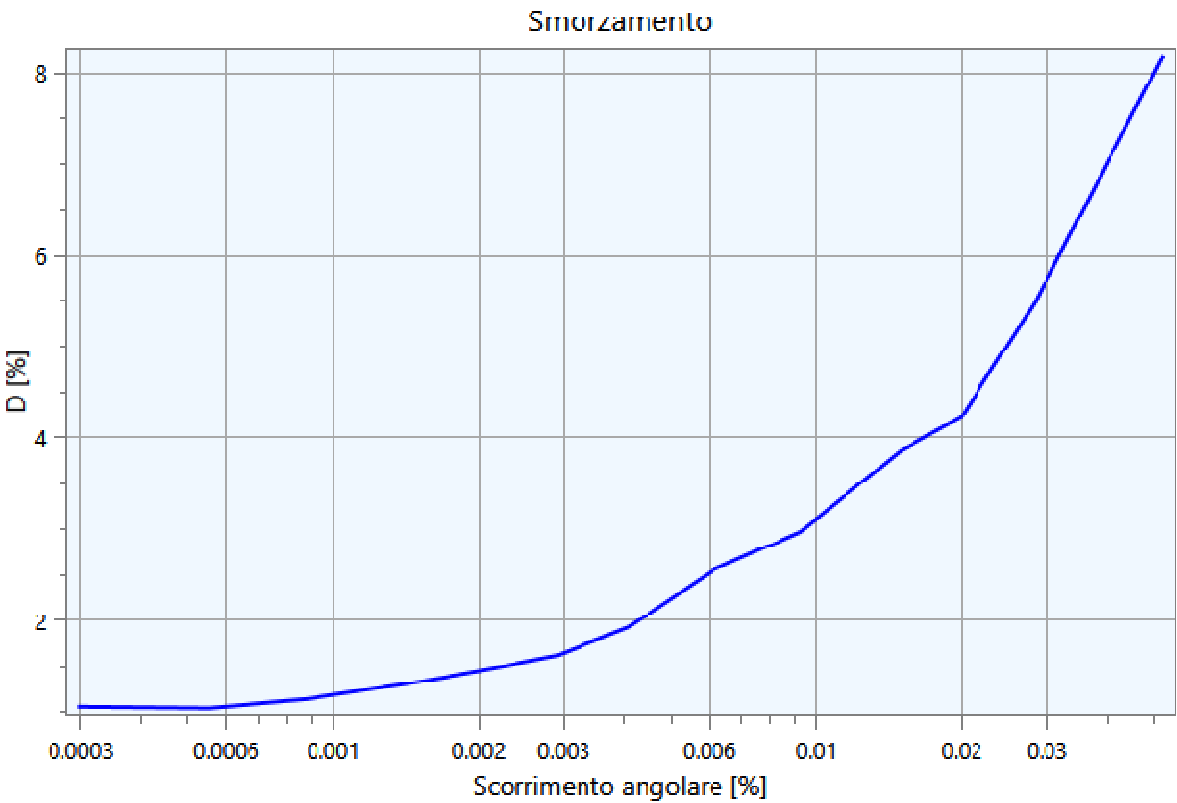
All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D . Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a G ed una D .

Di seguito si riportano le curve di riferimento utilizzate nell'analisi:

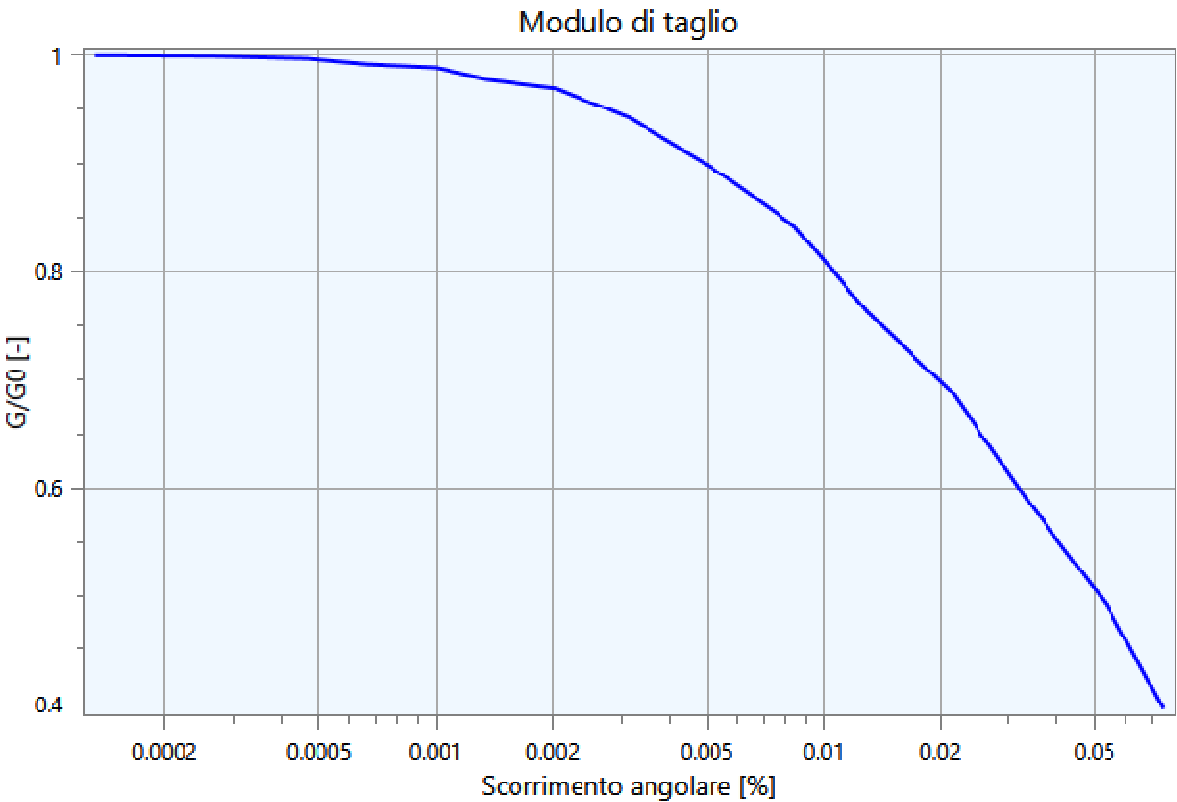
Curva n. 1: Bag01

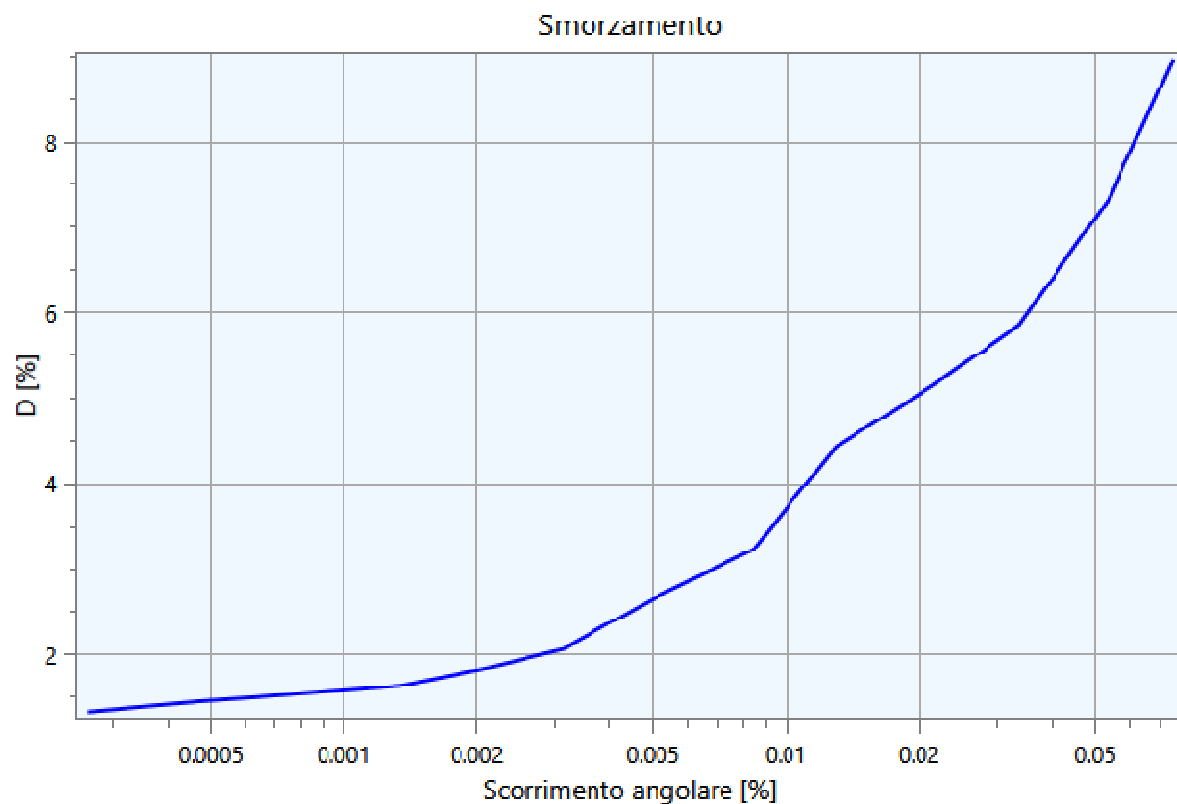


**Curva n. 2: Bag02**

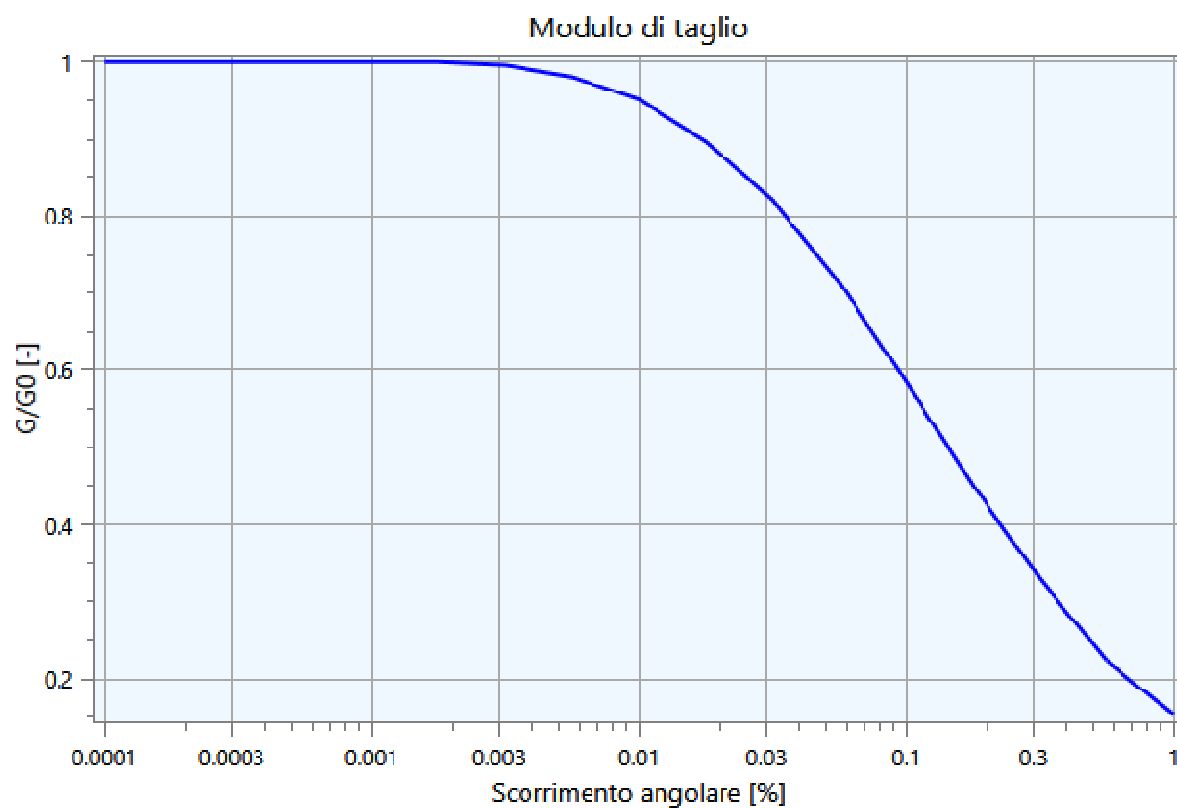


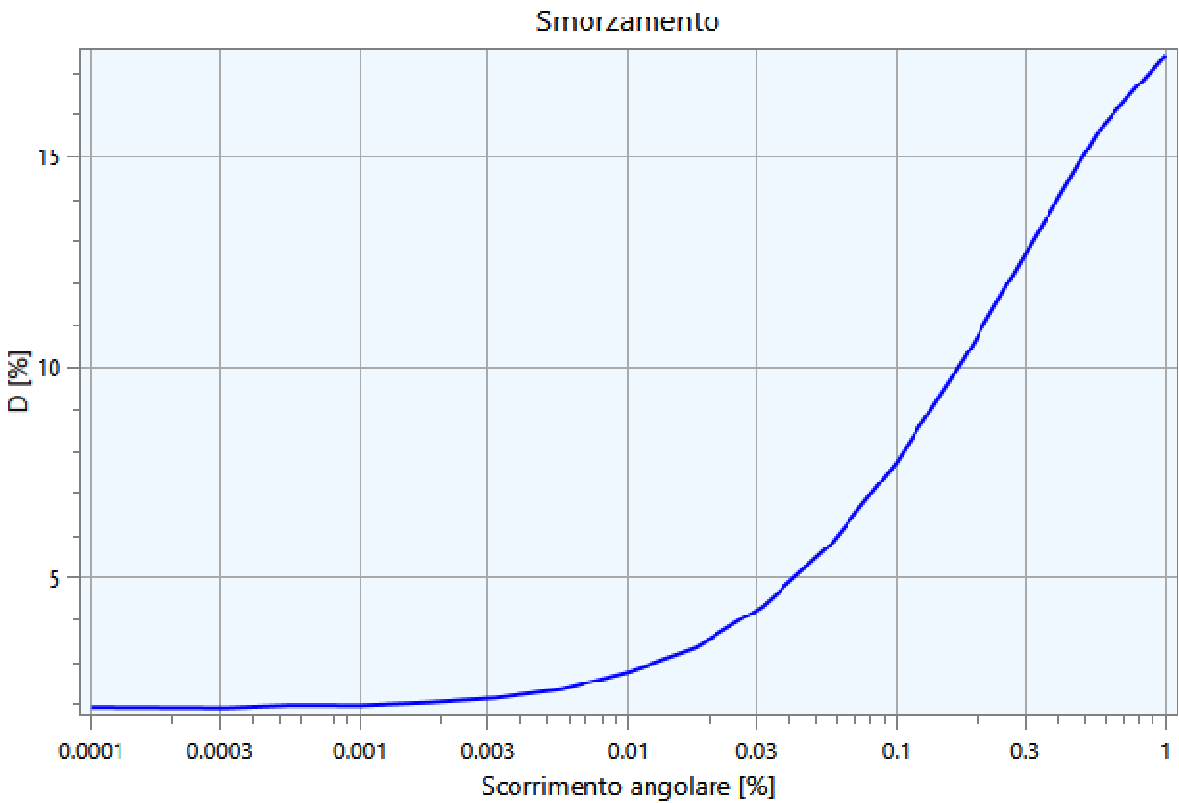
Curva n. 3: Bag03



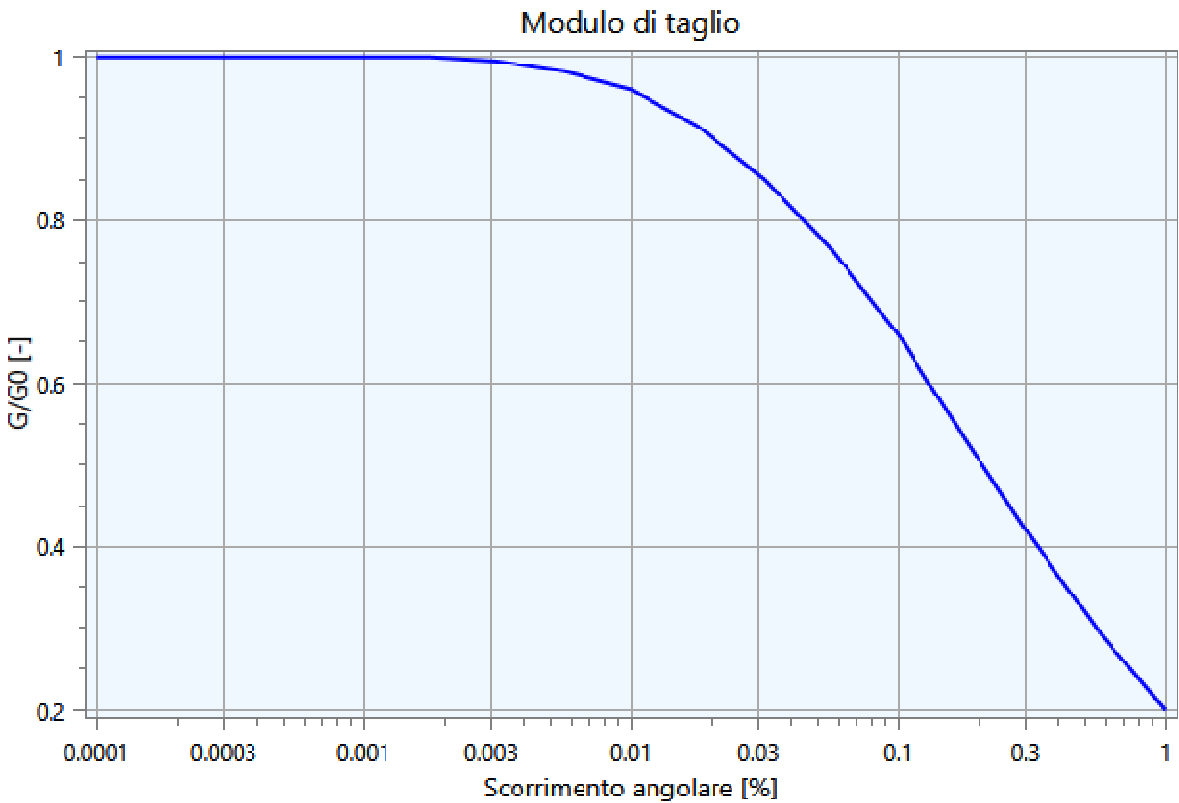


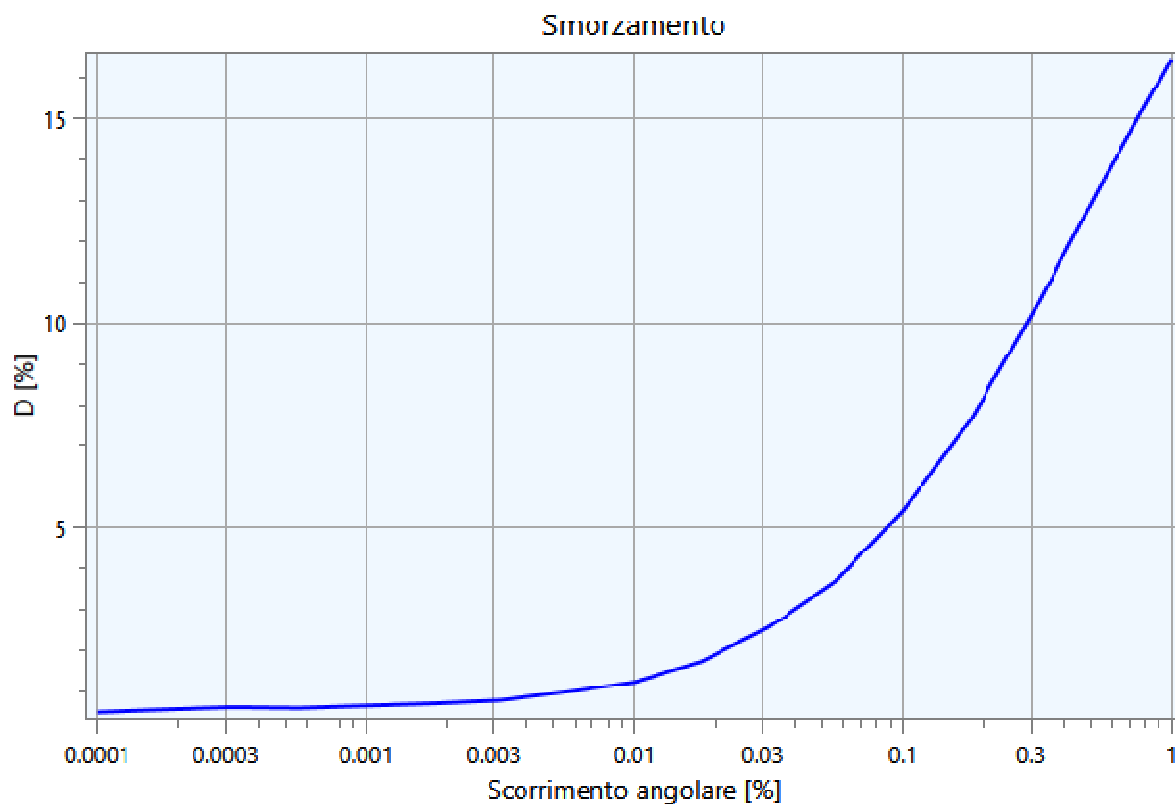
Curva n. 4: EPRI (93), $PI=50$





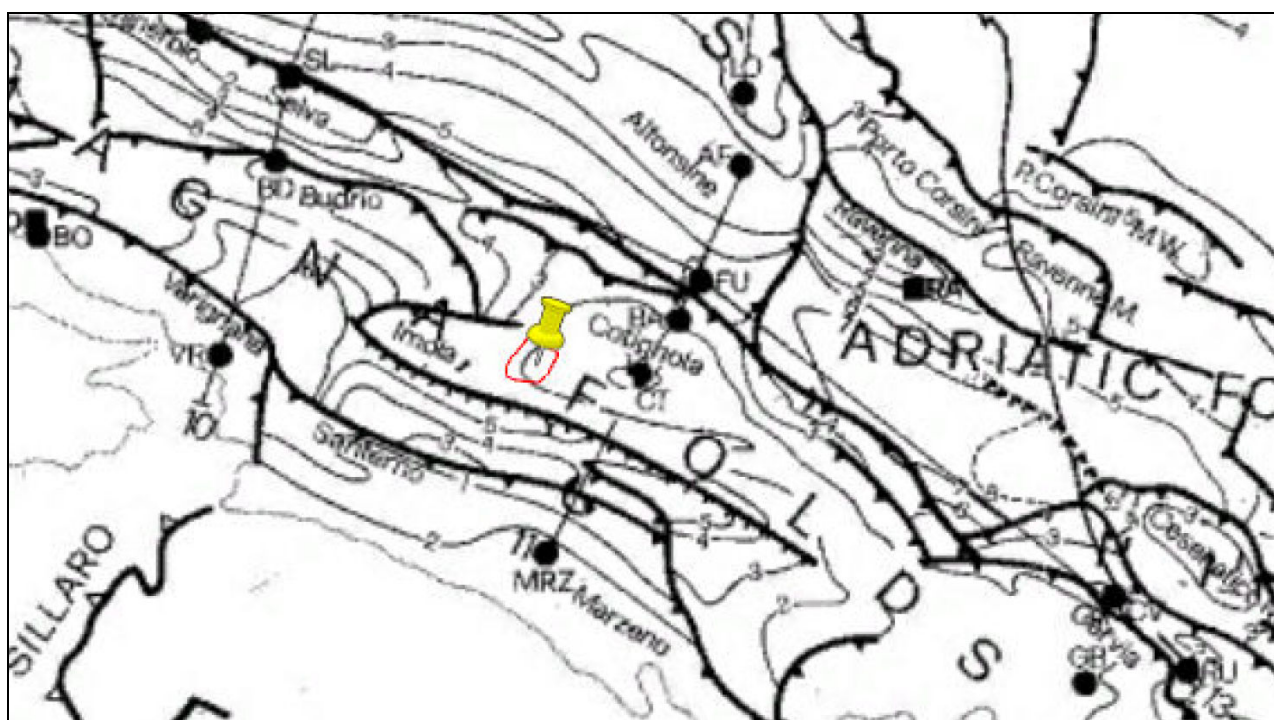
Curva n. 5: EPRI (93), 500-1000 ft

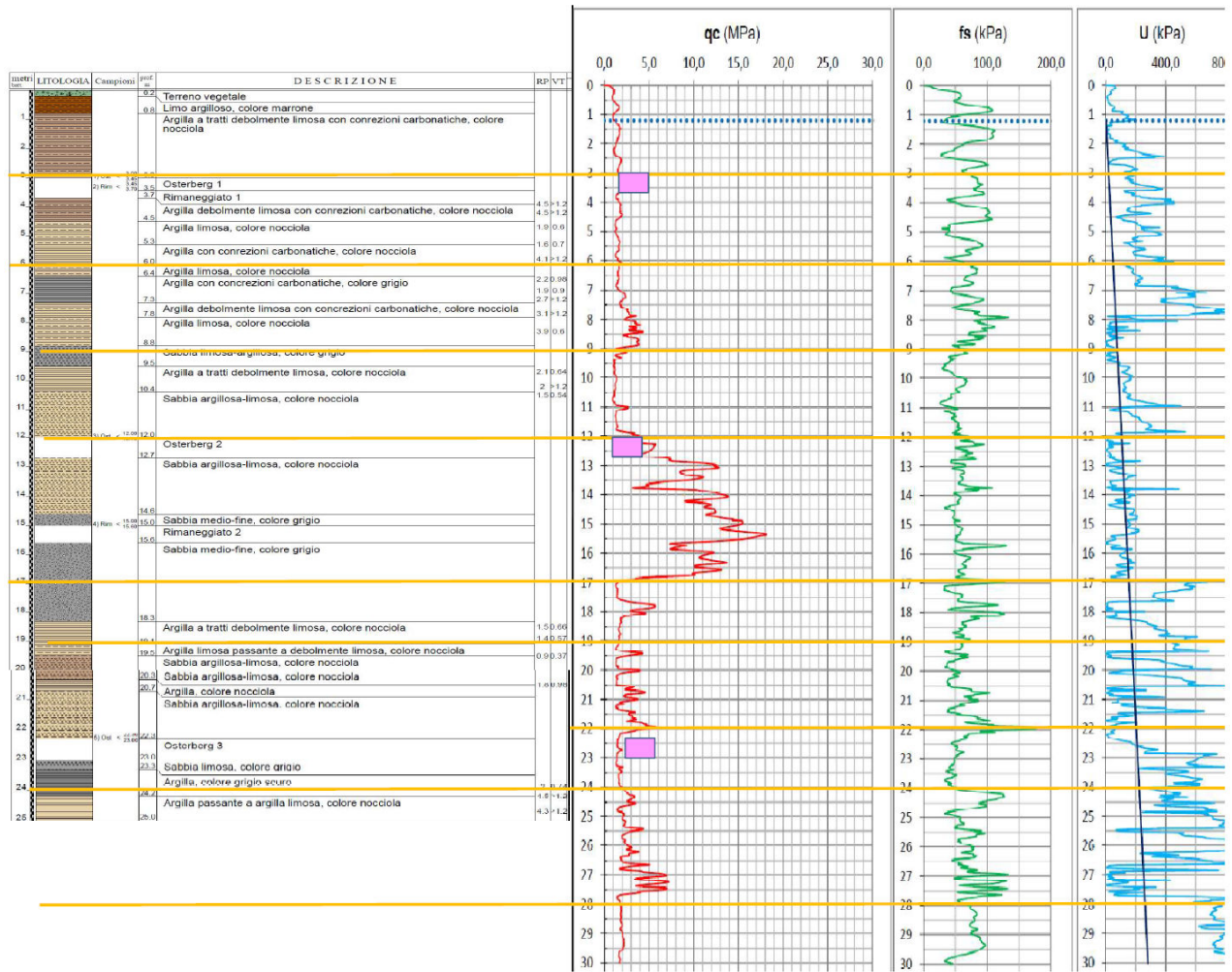


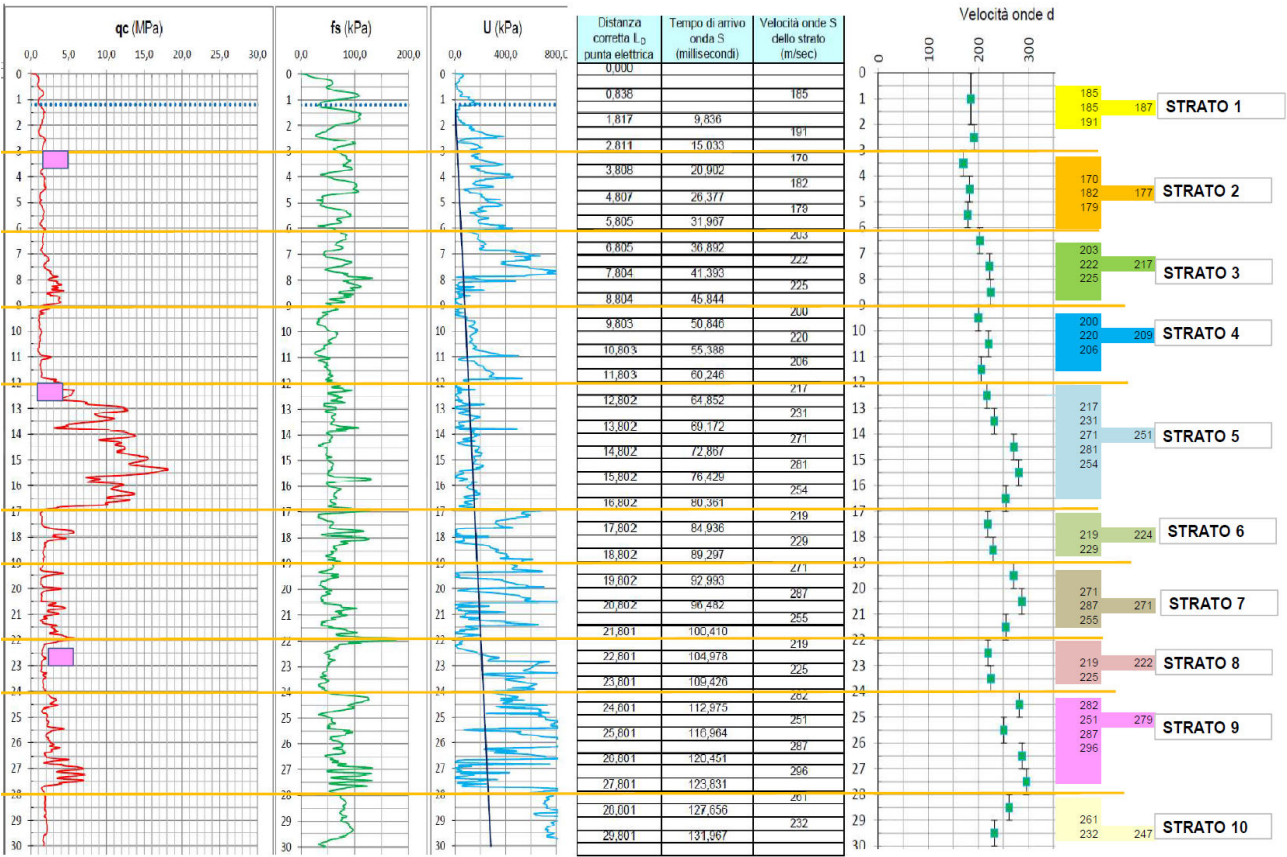


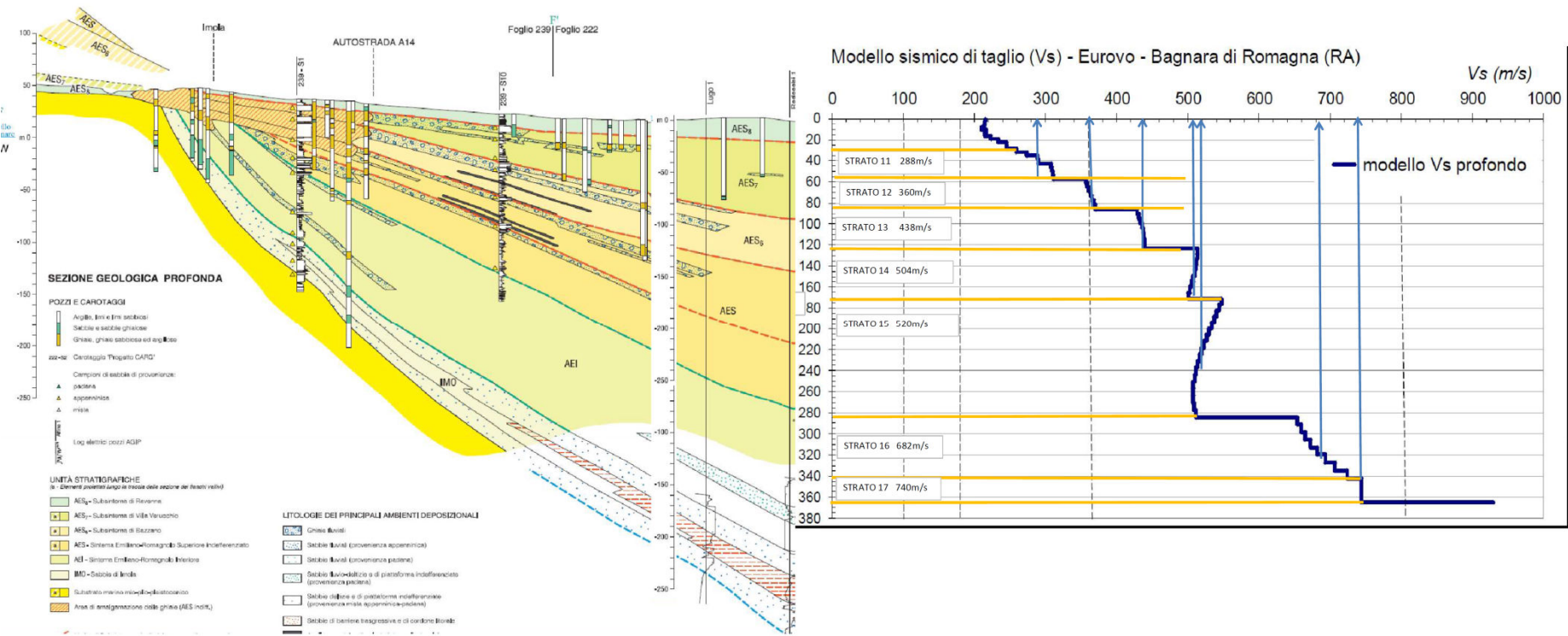
4.2 - Stratigrafia e Caratteristiche meccaniche dei singoli strati

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato dal problema in esame, viene definita una stratigrafia di progetto che rappresenta l'andamento delle singole lenti di terreno in una sezione verticale.









Tale stratigrafia viene rappresentata nel piano verticale X-Z mediante una serie di spezzate ognuna delle quali identifica l'andamento del singolo strato. La prima di tali spezzate serve ad identificare l'orografia della porzione di sito oggetto di studio.

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica della stratigrafia di progetto:

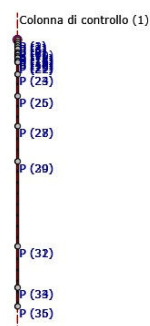


Figura 9. Stratigrafia di progetto.

Di seguito si riporta la tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

Strato	Descrizione	S [m]	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ	Curva decadimento
Strato (1)	-	3.00	1850.00	187.00	0.35	Bag01
Strato (2)	-	3.00	1900.00	177.00	0.35	Bag01
Strato (3)	-	3.00	1900.00	217.00	0.35	Bag01
Strato (4)	-	3.00	1900.00	209.00	0.35	Bag01
Strato (5)	-	5.00	1870.00	251.00	0.35	Bag02
Strato (6)	-	2.00	1850.00	224.00	0.35	Bag03
Strato (7)	-	3.00	1900.00	271.00	0.35	Bag03
Strato (8)	-	2.00	1850.00	222.00	0.35	Bag03
Strato (9)	-	4.00	1900.00	279.00	0.35	Bag03
Strato (10)	-	2.00	1900.00	247.00	0.35	Bag03
Strato (11)	-	26.00	1900.00	288.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (12)	-	29.00	1950.00	360.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (13)	-	40.00	2000.00	438.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (14)	-	47.00	2000.00	504.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (15)	-	113.00	2050.00	520.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (16)	-	55.00	2050.00	682.00	0.35	EPRI (93), PI=50
Strato (17)	-	25.00	2100.00	740.00	0.35	EPRI (93), 500-1000 ft

Tabella 1. Caratteristiche meccaniche strati.

dove:

- S = spessore del singolo strato;
- ρ = densità di massa del singolo strato;
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- γ = coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

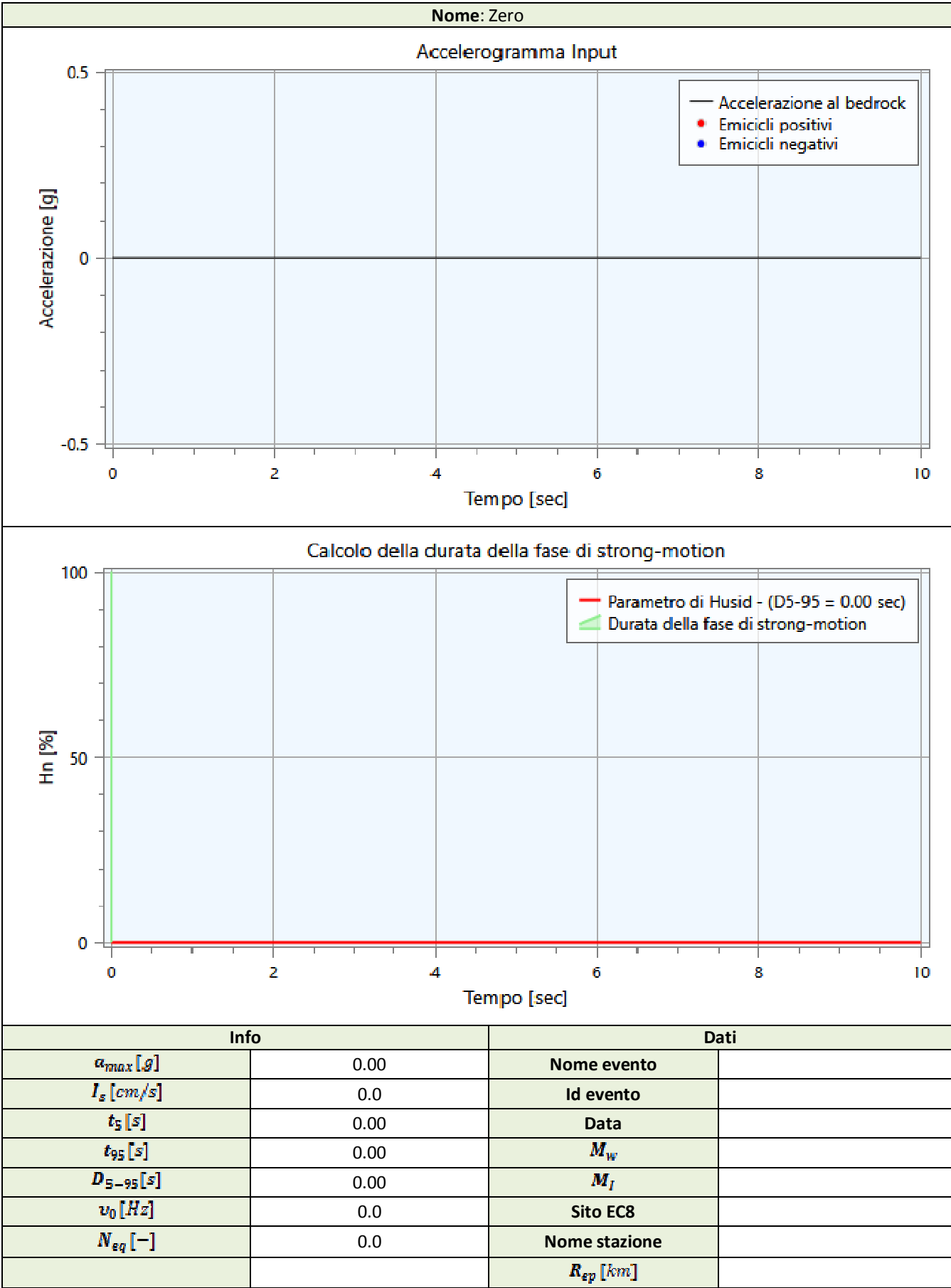
4.3 - Accelerogrammi e Spettri di Input

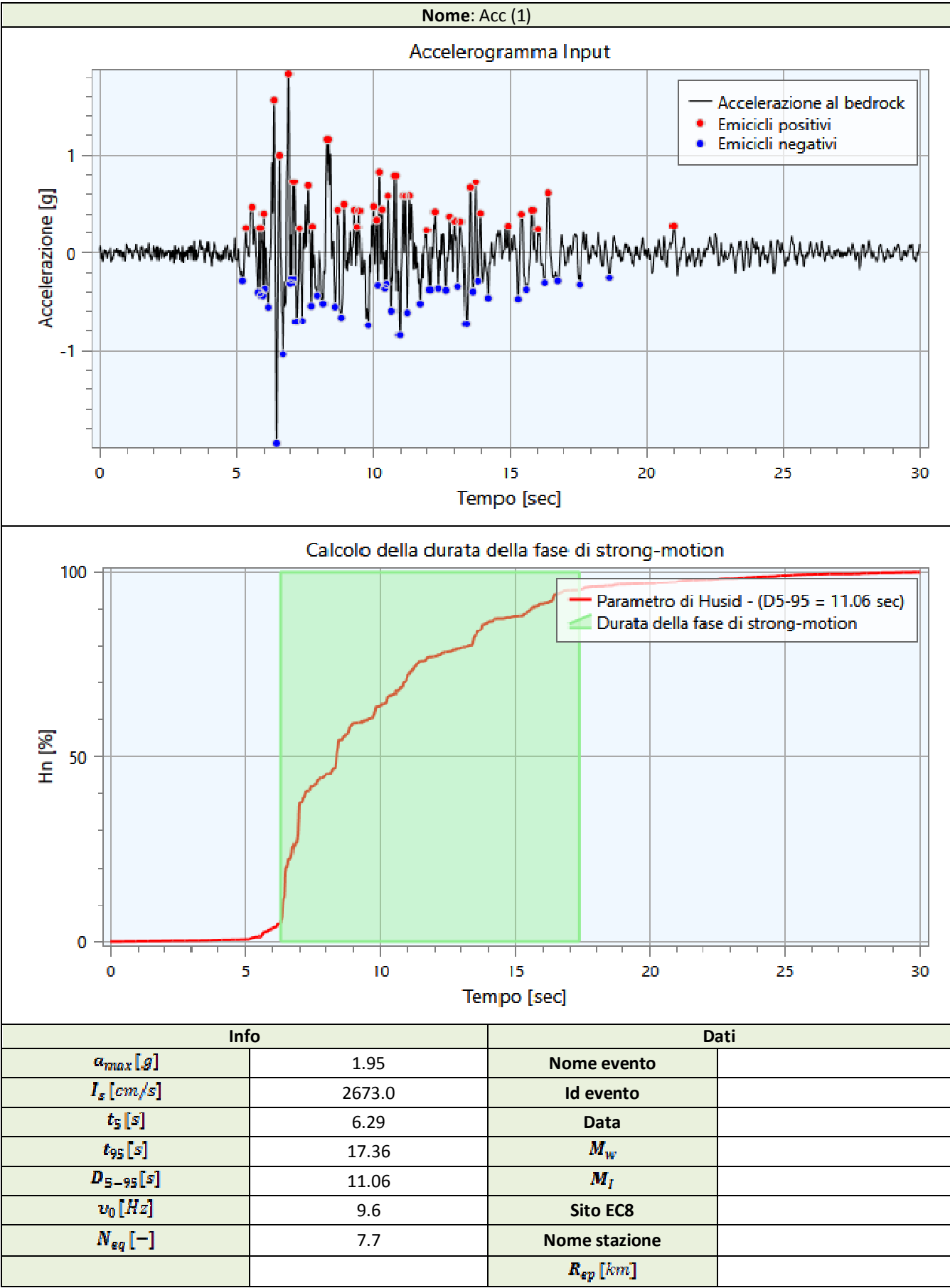
Gli accelerogrammi di input relativi allo stato limite in esame (ad esempio SLV) possono essere ottenuti tramite un'analisi con l'utilizzo dell'applicativo software REXEL v. 3.4 beta, che permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spetti delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018), dell'Eurocodice 8 (EC – CEN 2003), dell'ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010). Il database utilizzato è l'Italian Accelerometric Archive (ITACA) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), scaricabile dal sito <http://itaca.mi.ingv.it>.

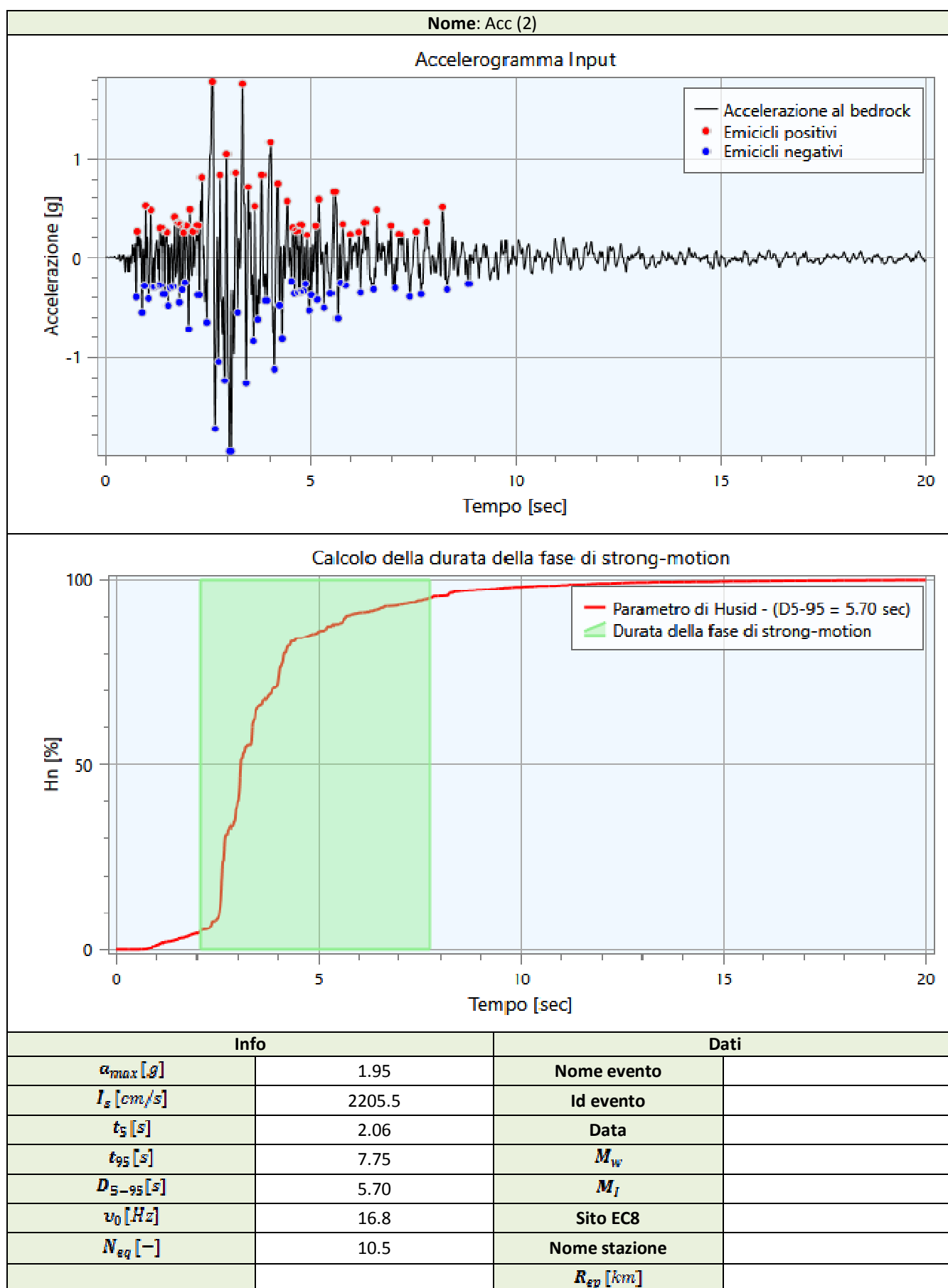
Per ogni accelerogramma viene ottenuto il numero di cicli equivalenti N_{eq} secondo la procedura proposta da Biondi et al. (2012) oltre ad una serie di informazioni di seguito descritte:

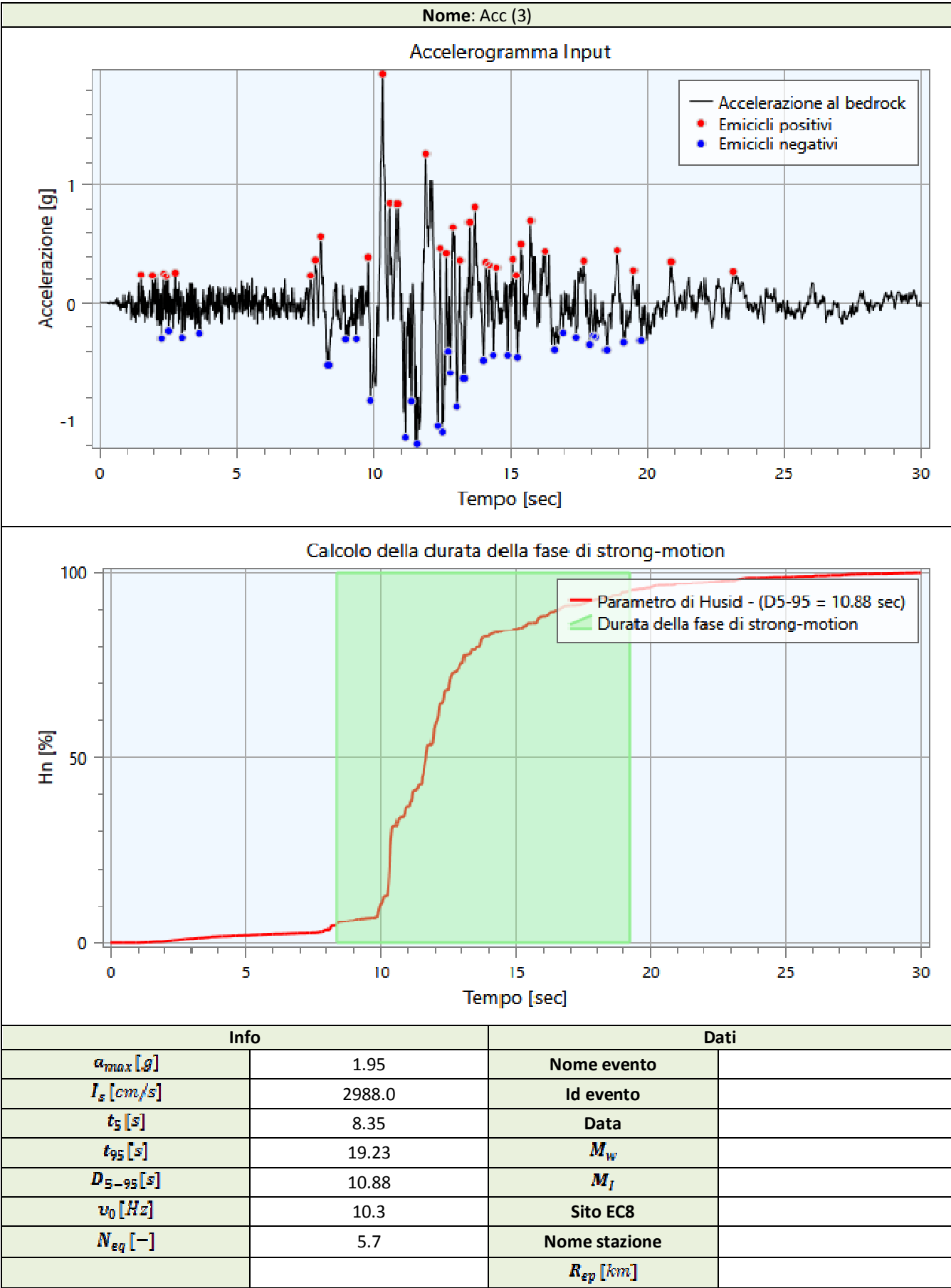
- a_{max} : accelerazione massima;
- I_S : intensità di Arias;
- t_S : istante iniziale della fase di strong motion;
- t_{gS} : istante finale della fase di strong motion;
- D_{S-gS} : durata della fase di strong motion;
- v_0 : frequenza di passaggi per lo zero nella fase di strong motion;
- N_{eq} : numero di cicli equivalenti;

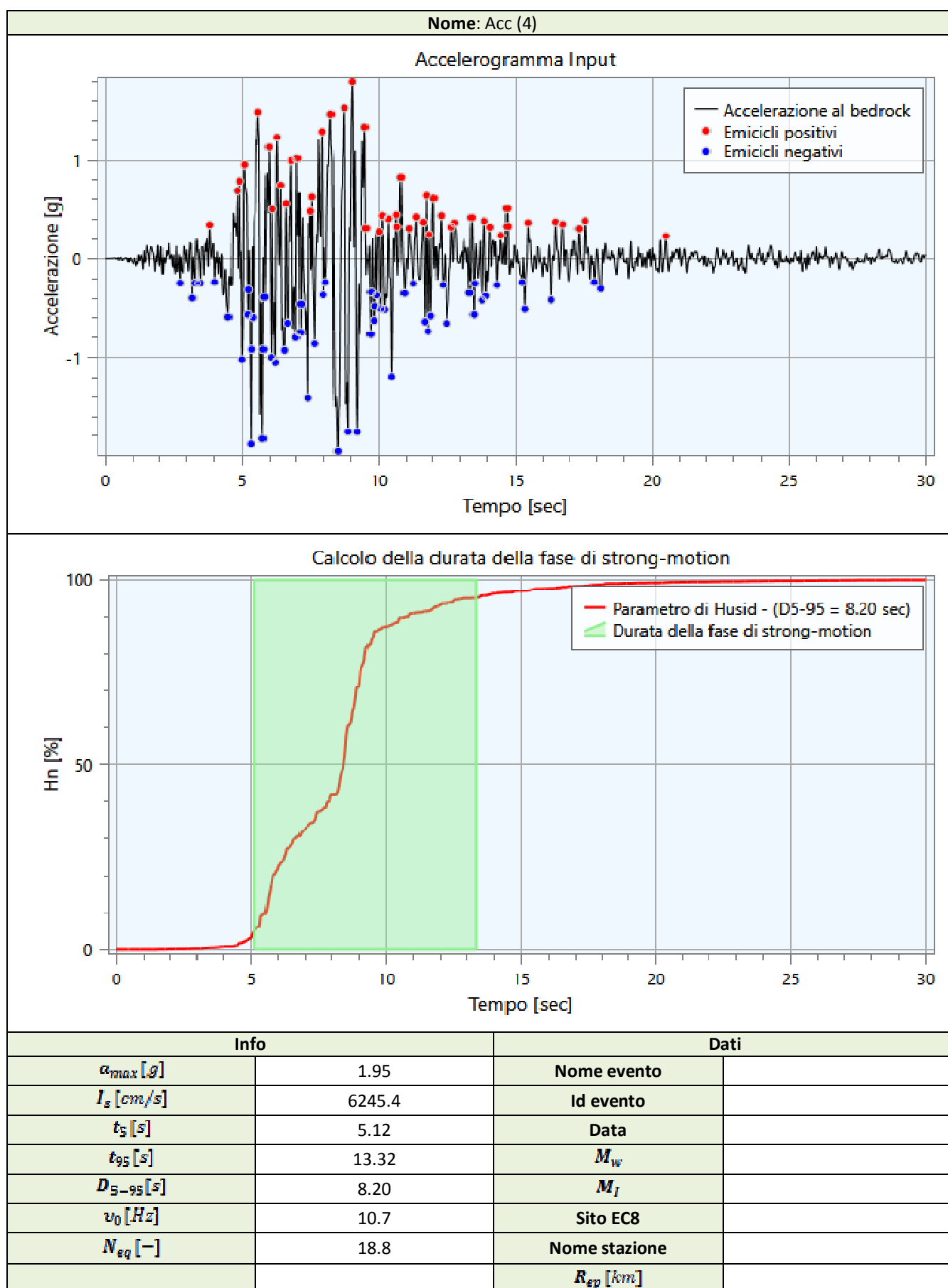
Di seguito si riportano gli accelerogrammi di progetto riferiti ad una condizione detta di 'outcrop':

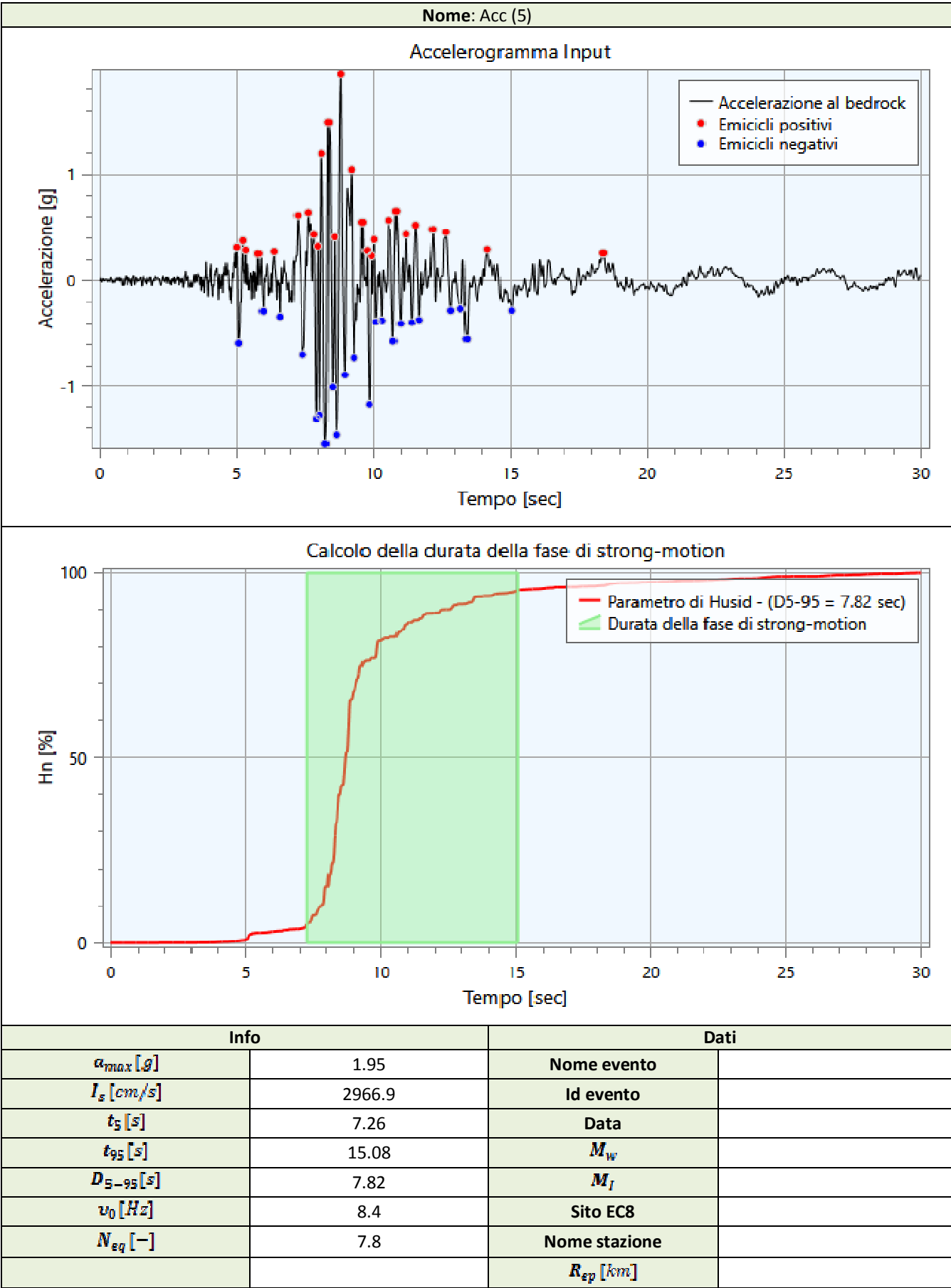


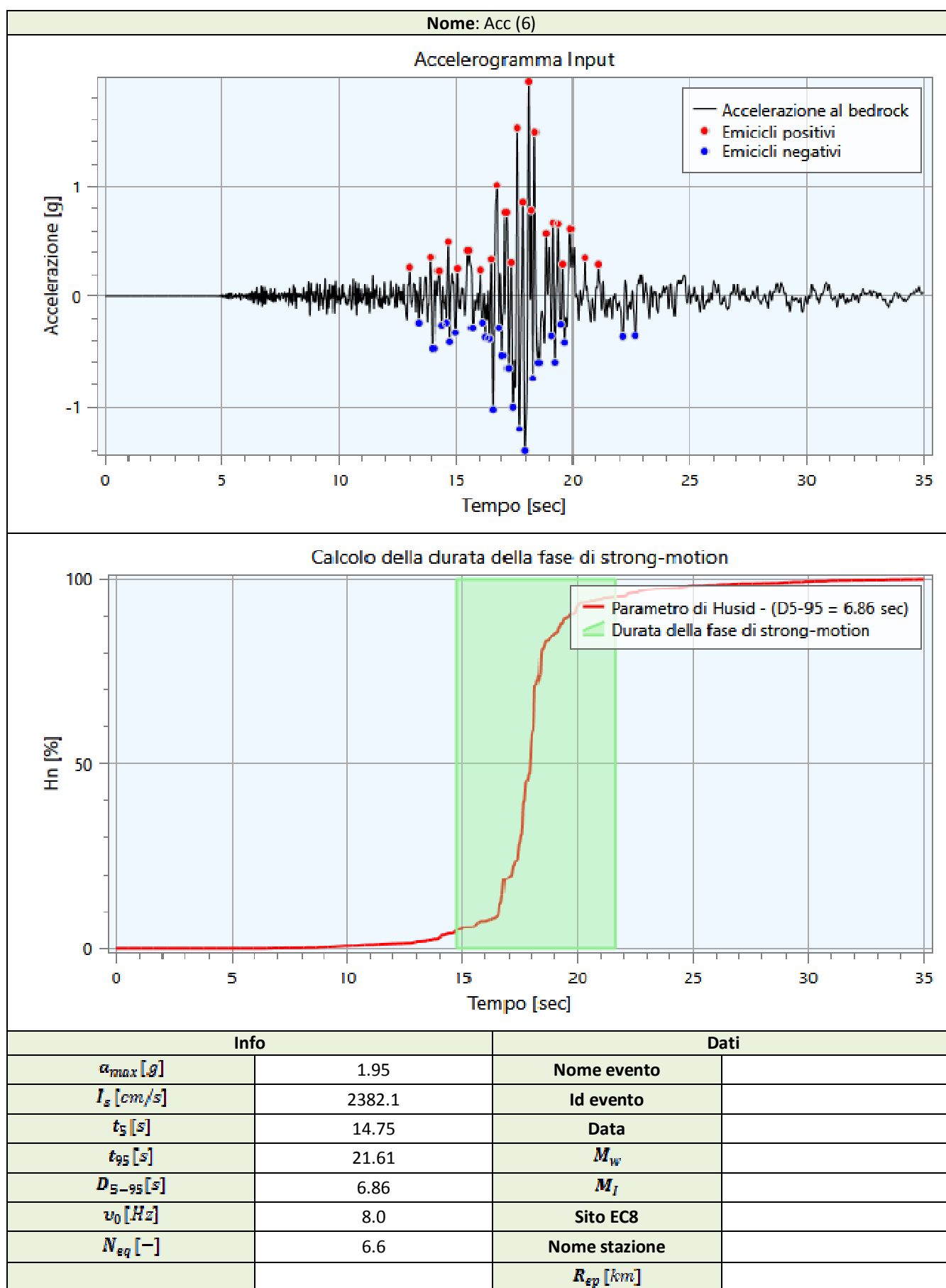


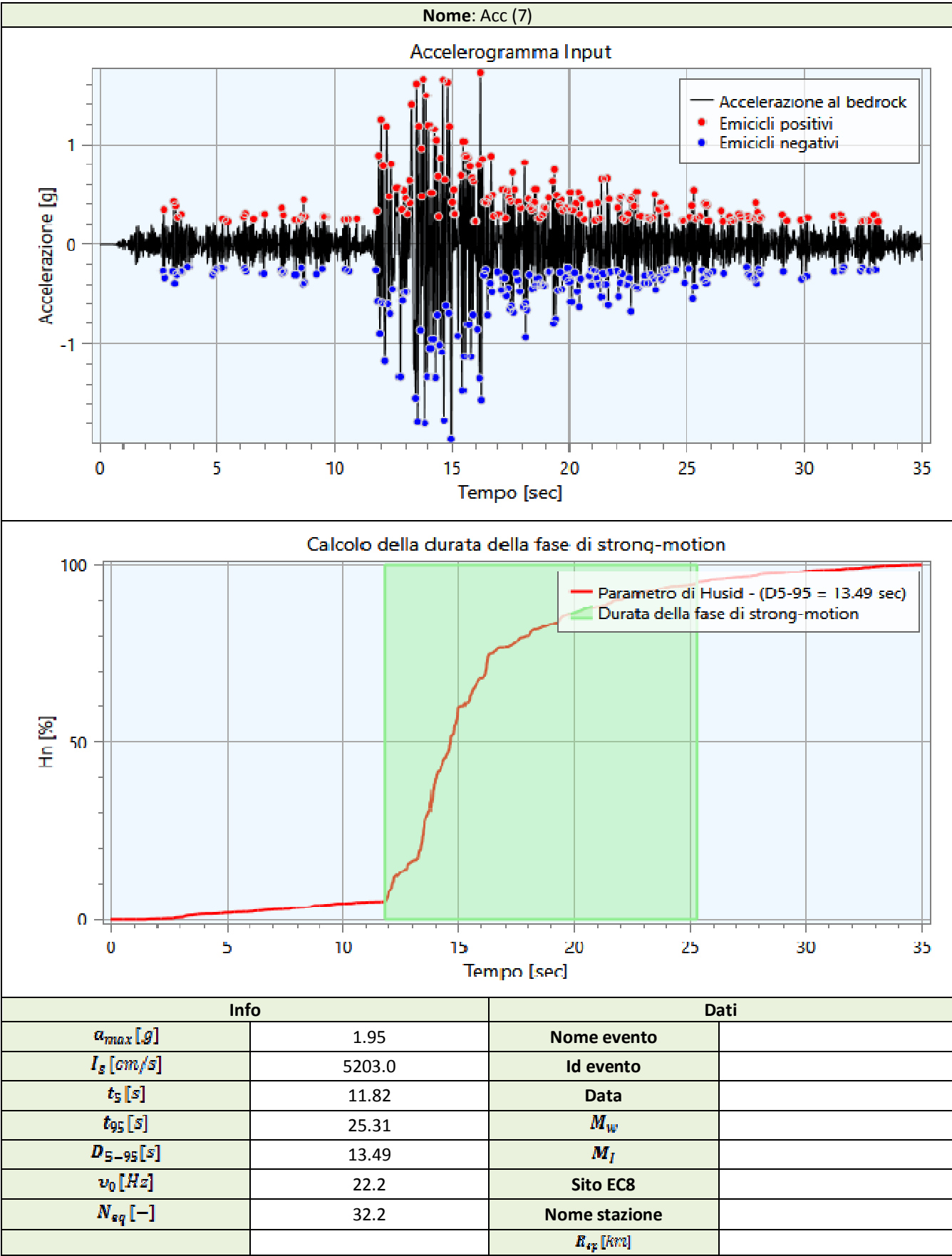










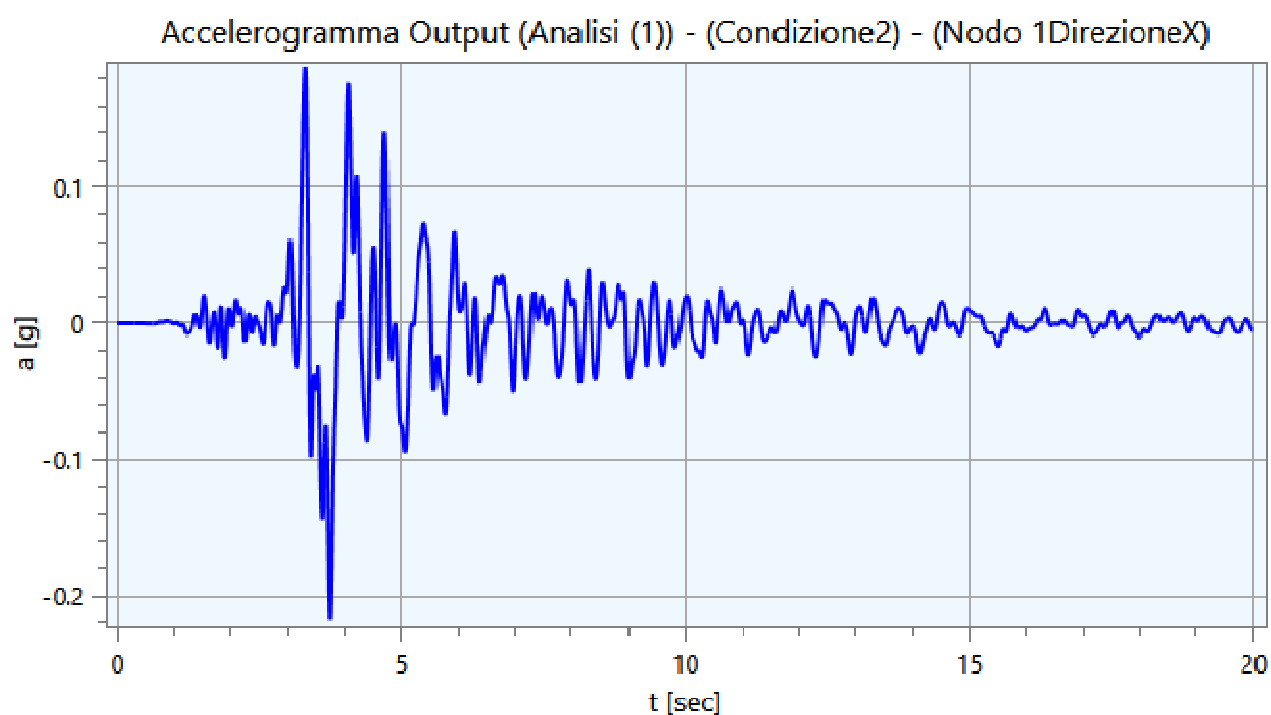
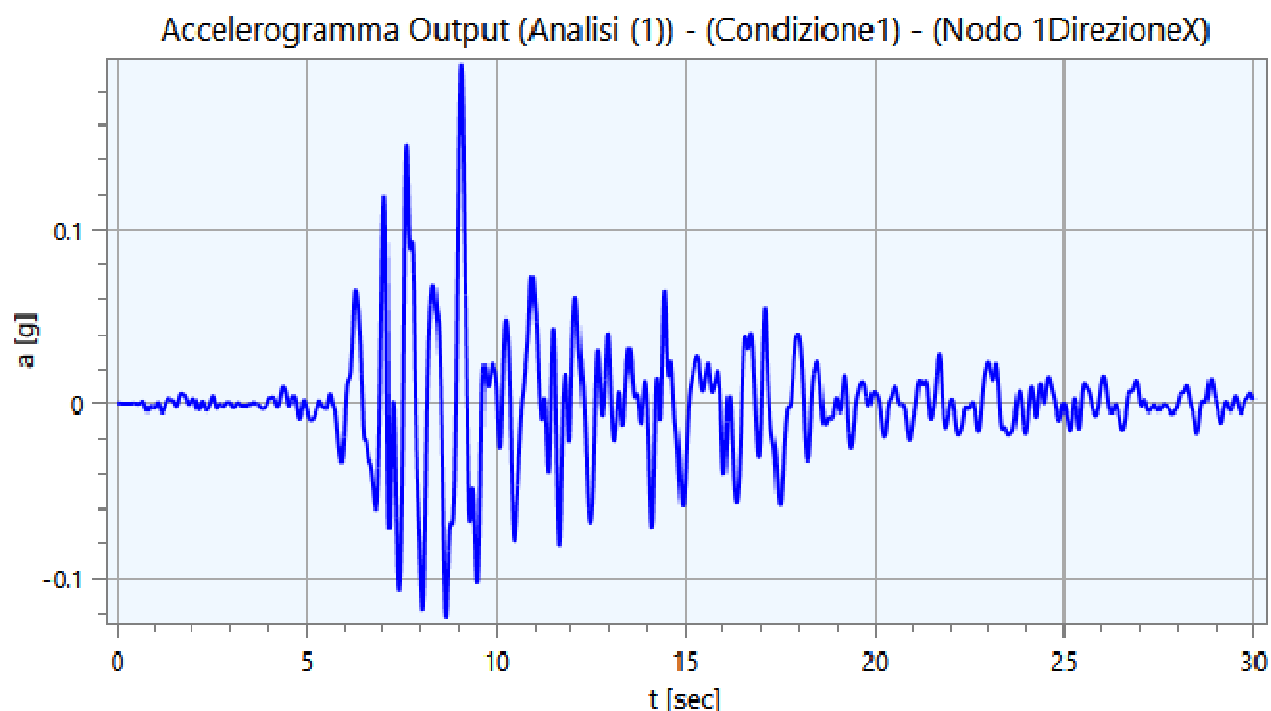


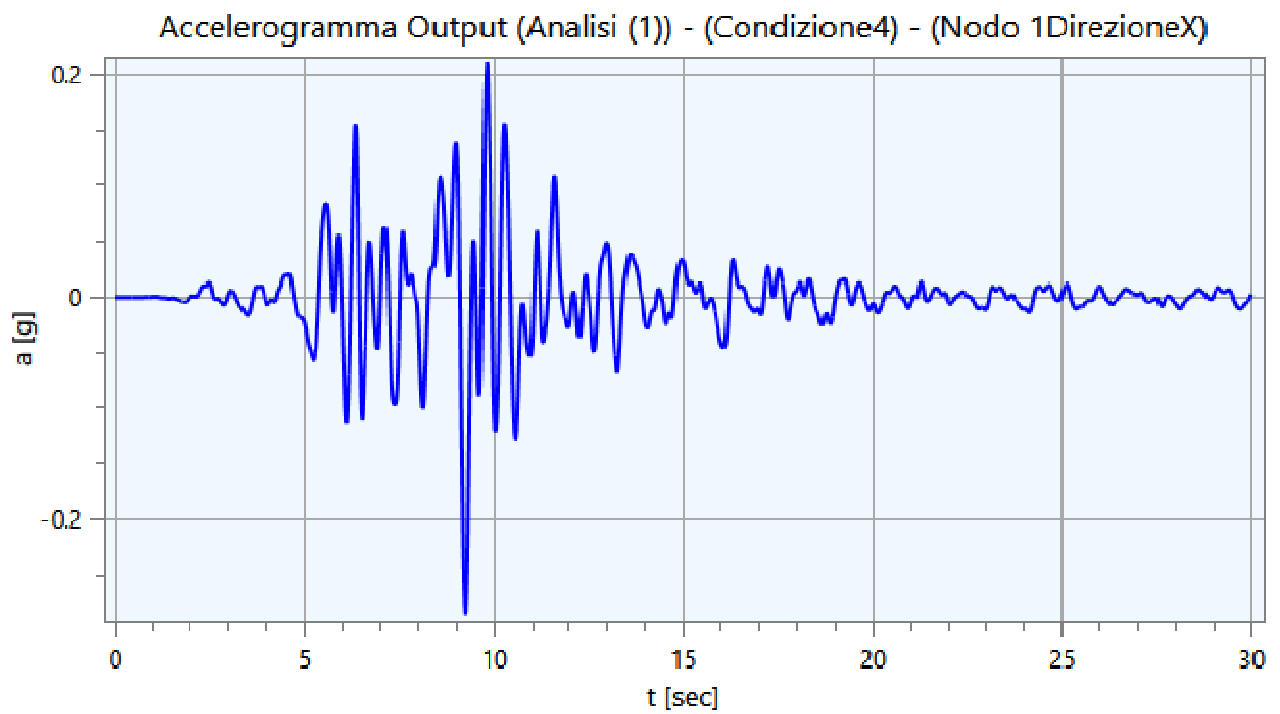
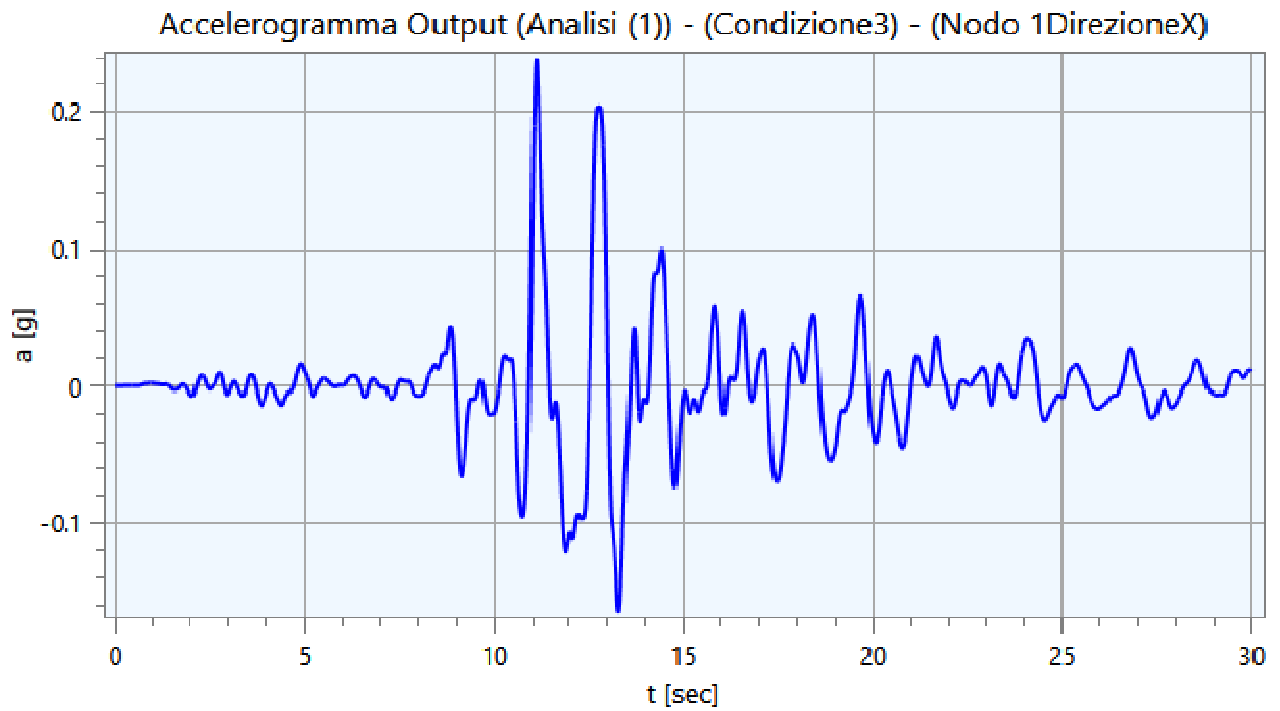
5 - Output

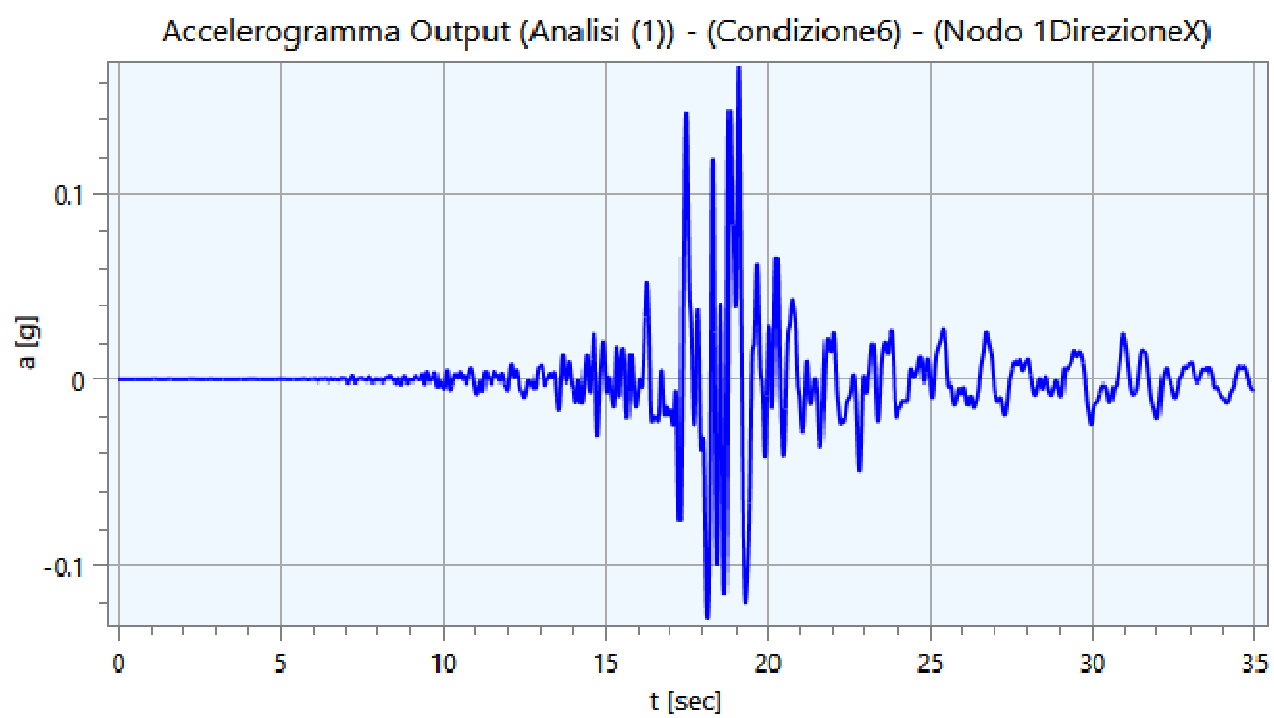
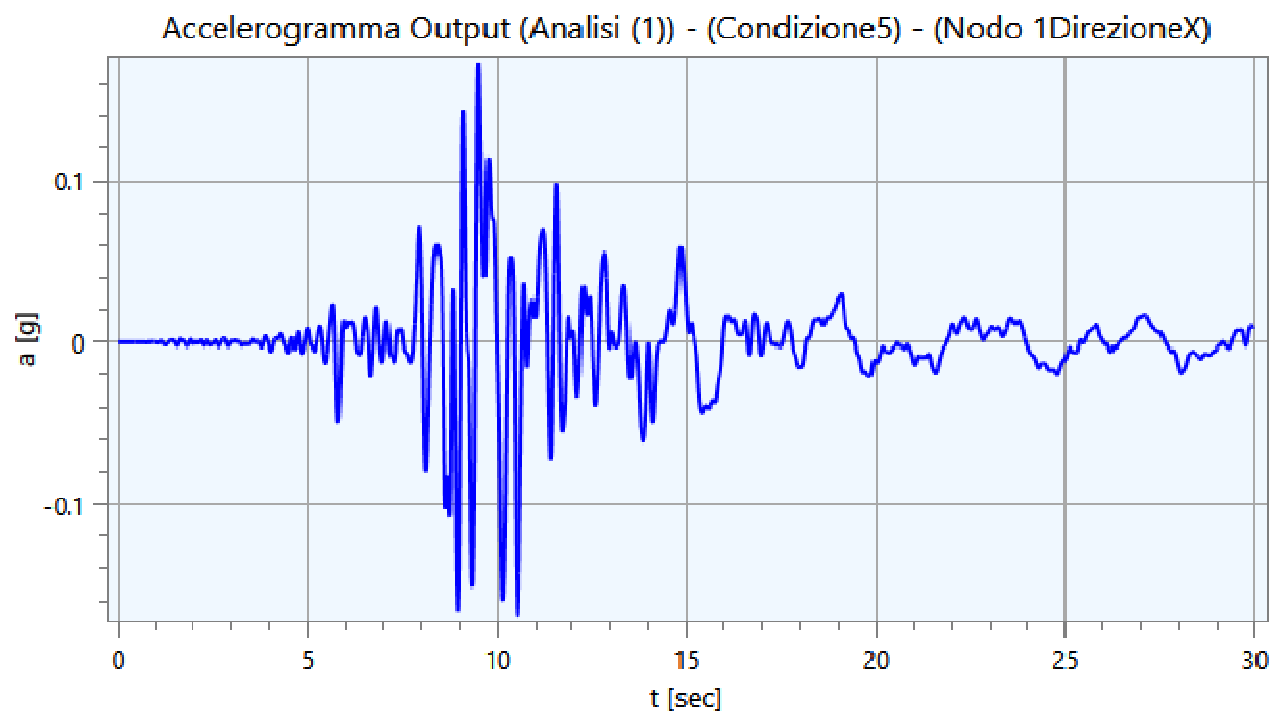
Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai risultati del calcolo.

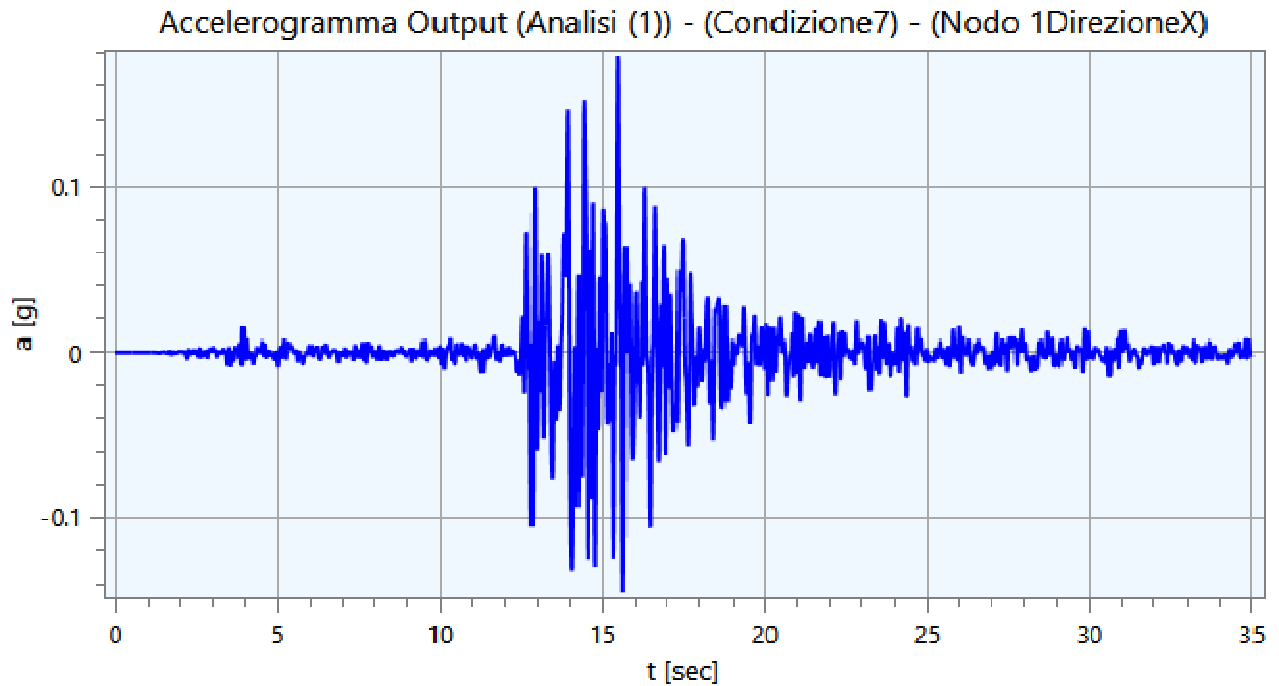
5.1 - Accelerogrammi Output

Di seguito vengono riportati gli accelerogrammi relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:



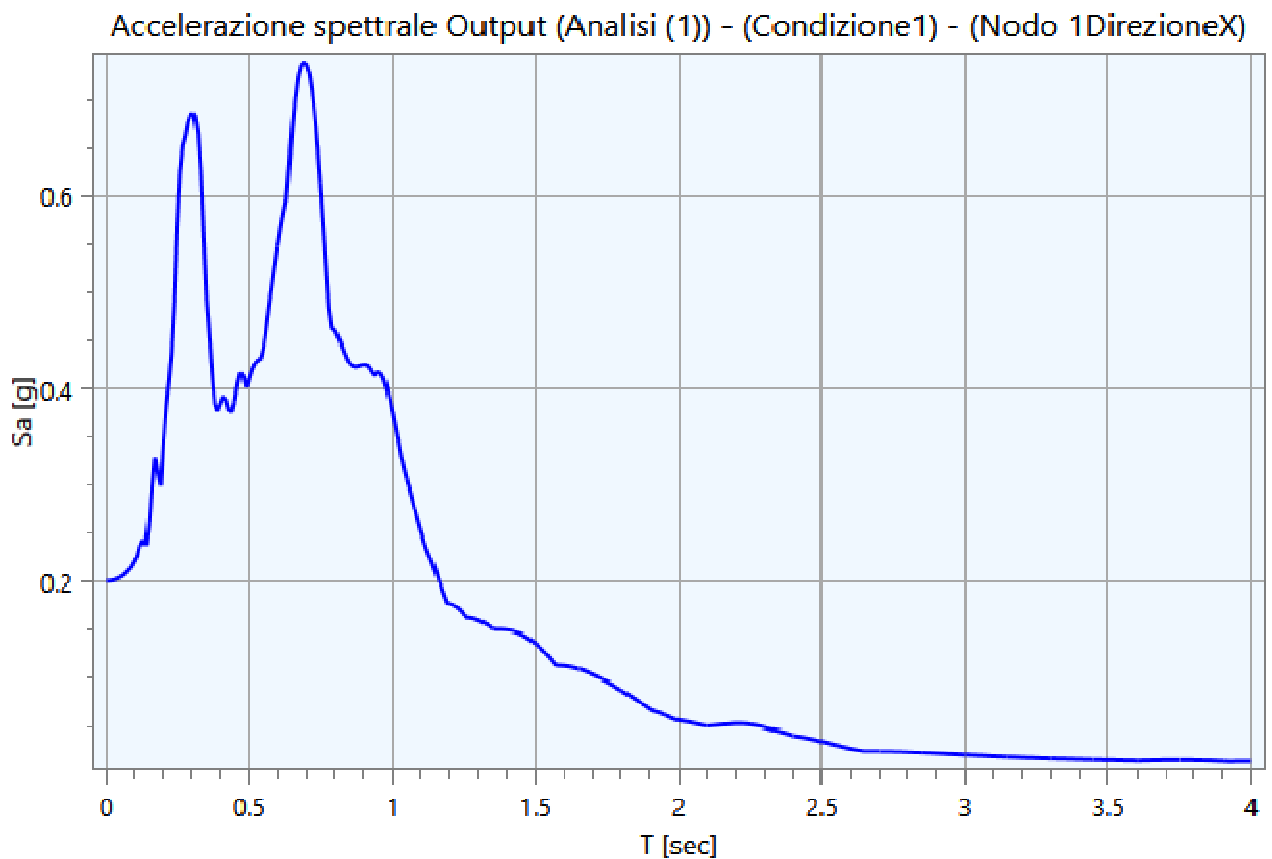




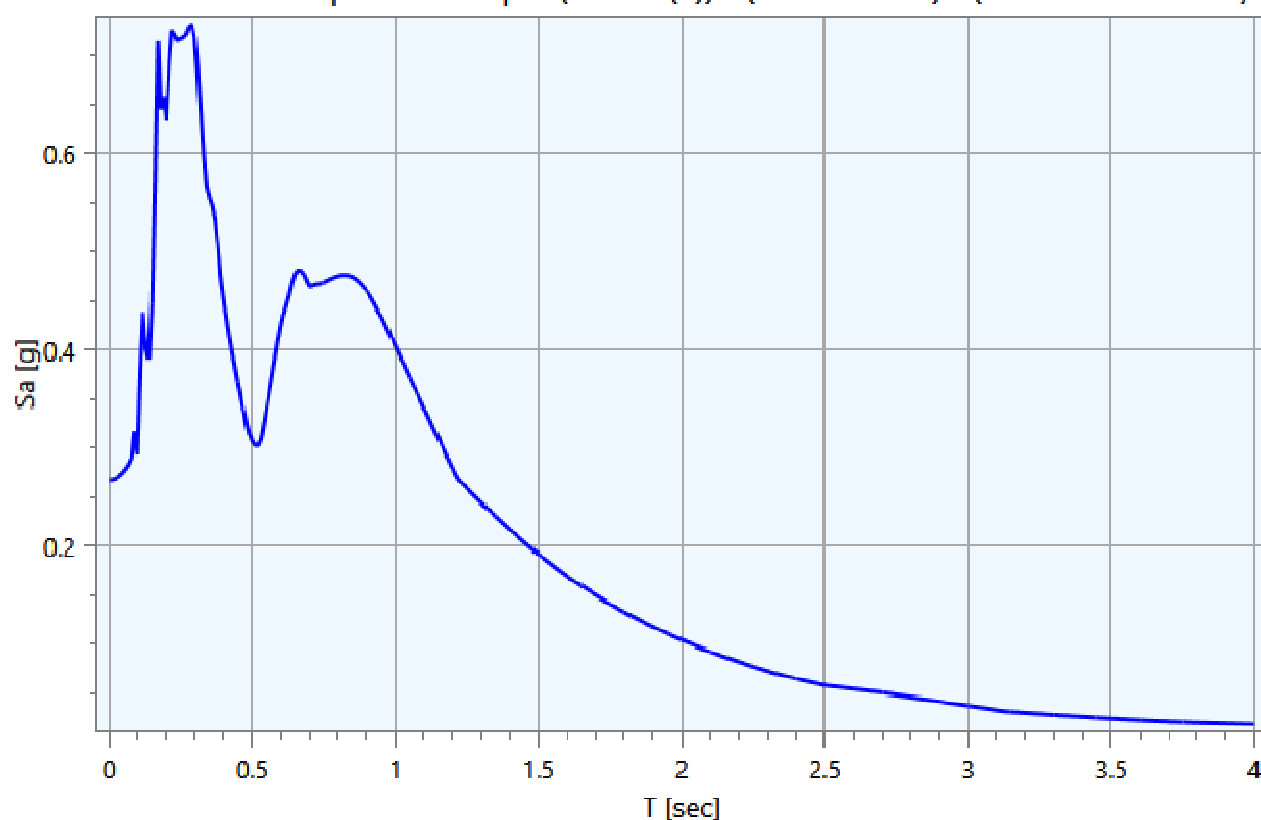


5.2 - Spettri Output

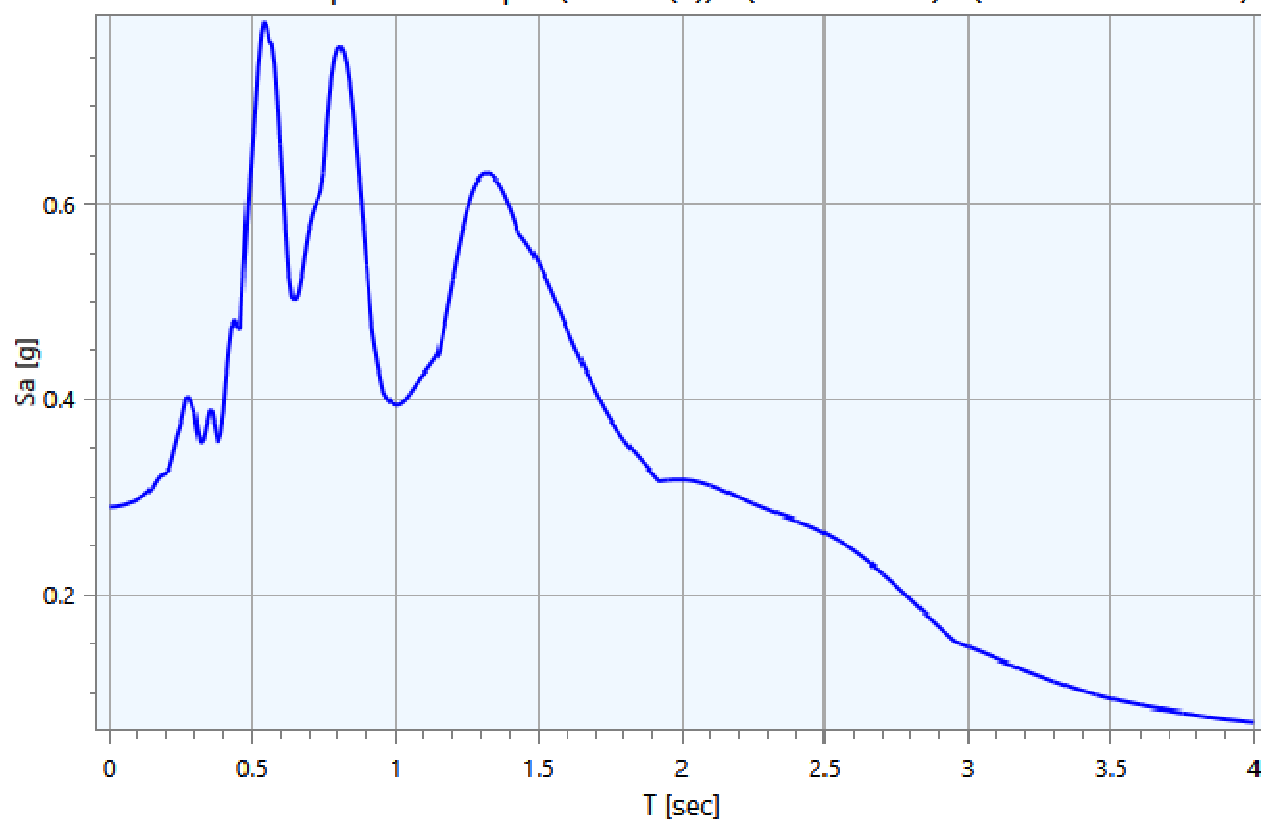
Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:

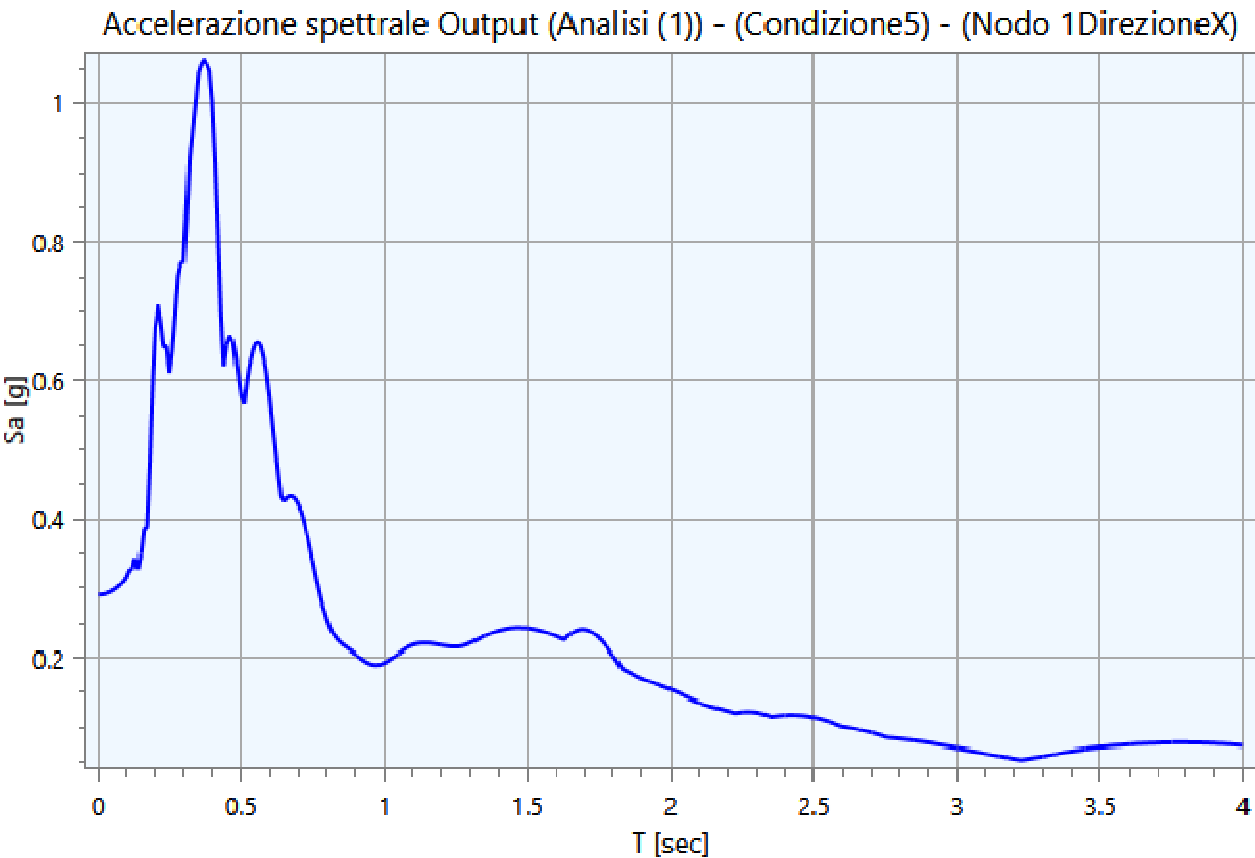
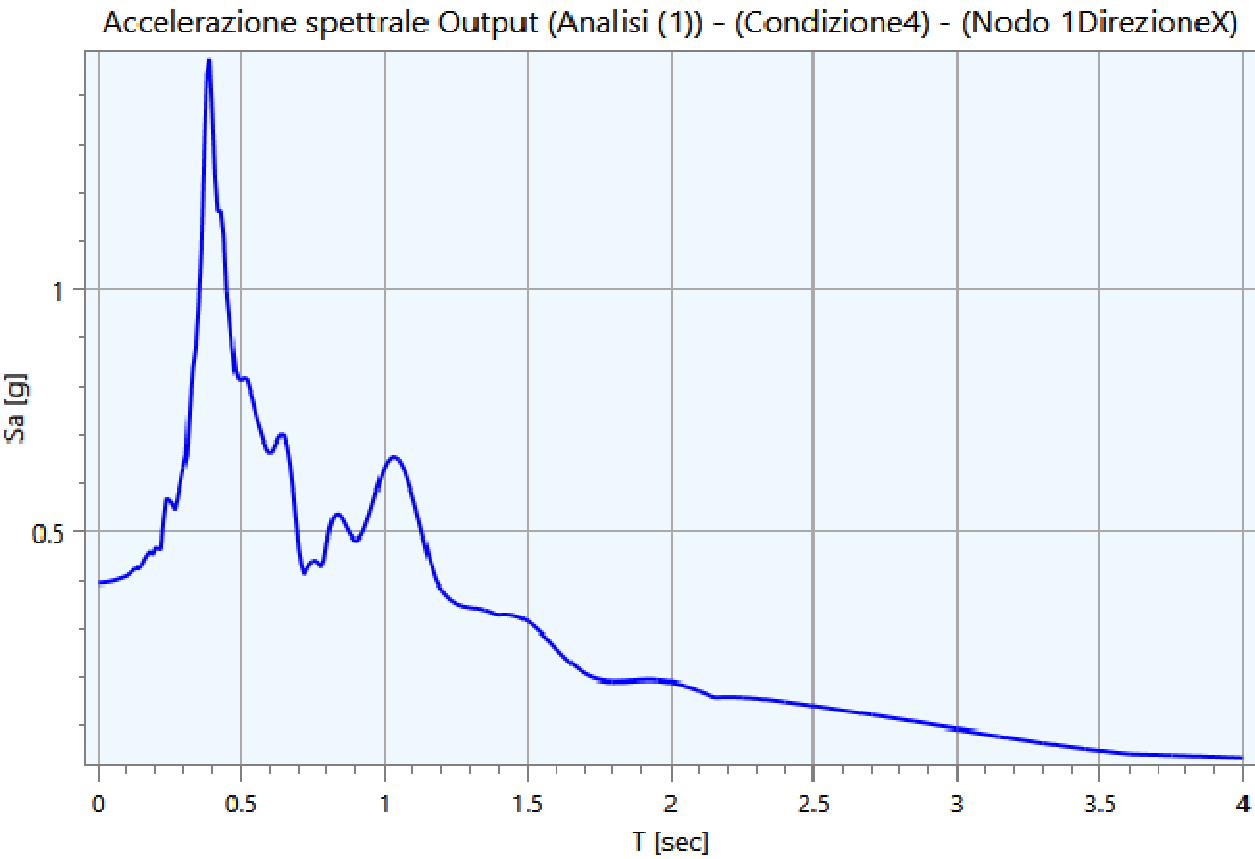


Accelerazione spettrale Output (Analisi (1)) - (Condizione2) - (Nodo 1DirezionaleX)

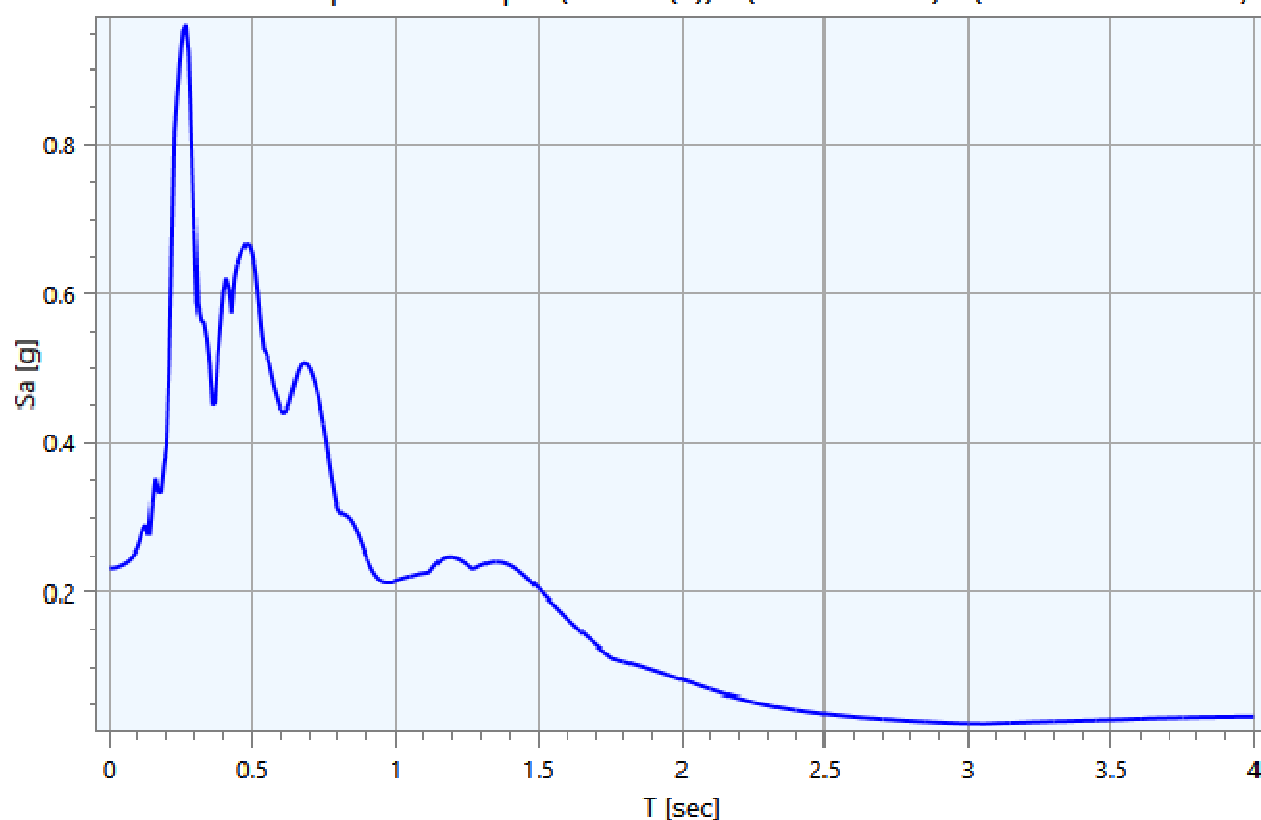


Accelerazione spettrale Output (Analisi (1)) - (Condizione3) - (Nodo 1DirezionaleX)

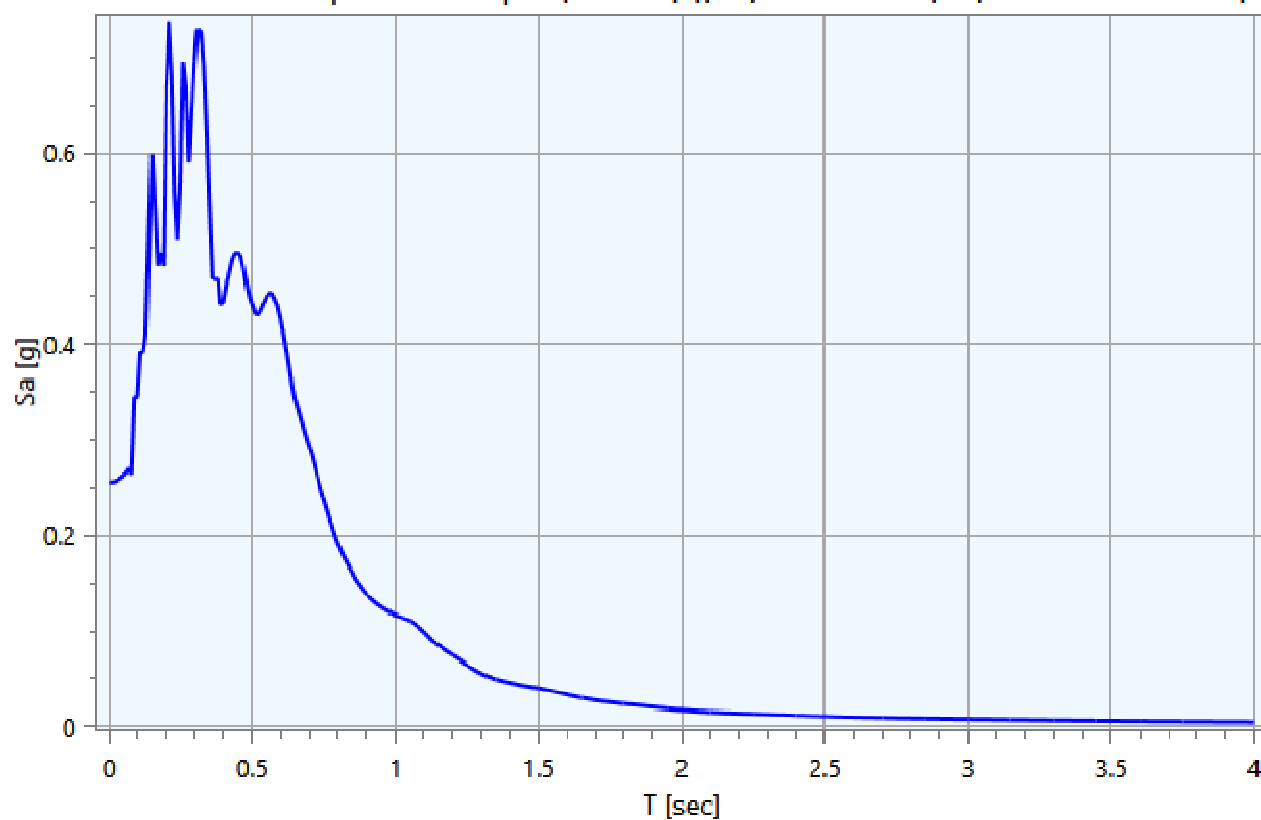




Accelerazione spettrale Output (Analisi (1)) - (Condizione6) - (Nodo 1DirezioneX)



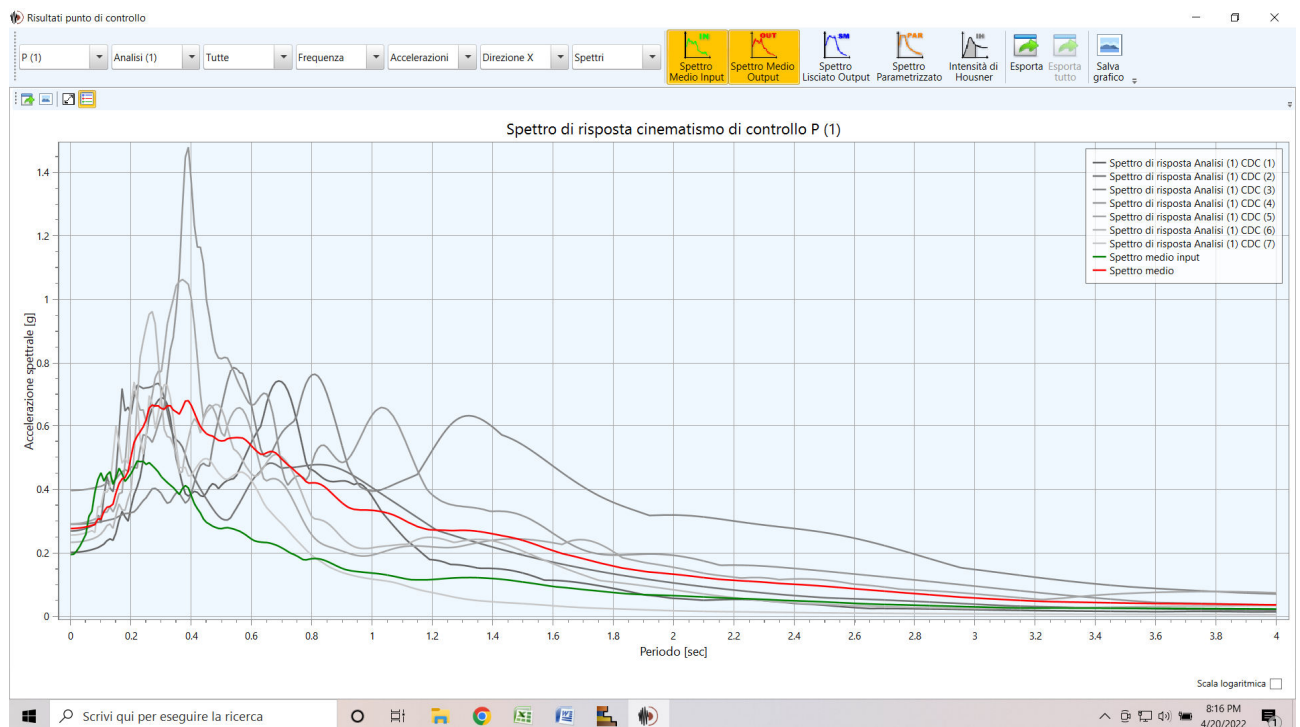
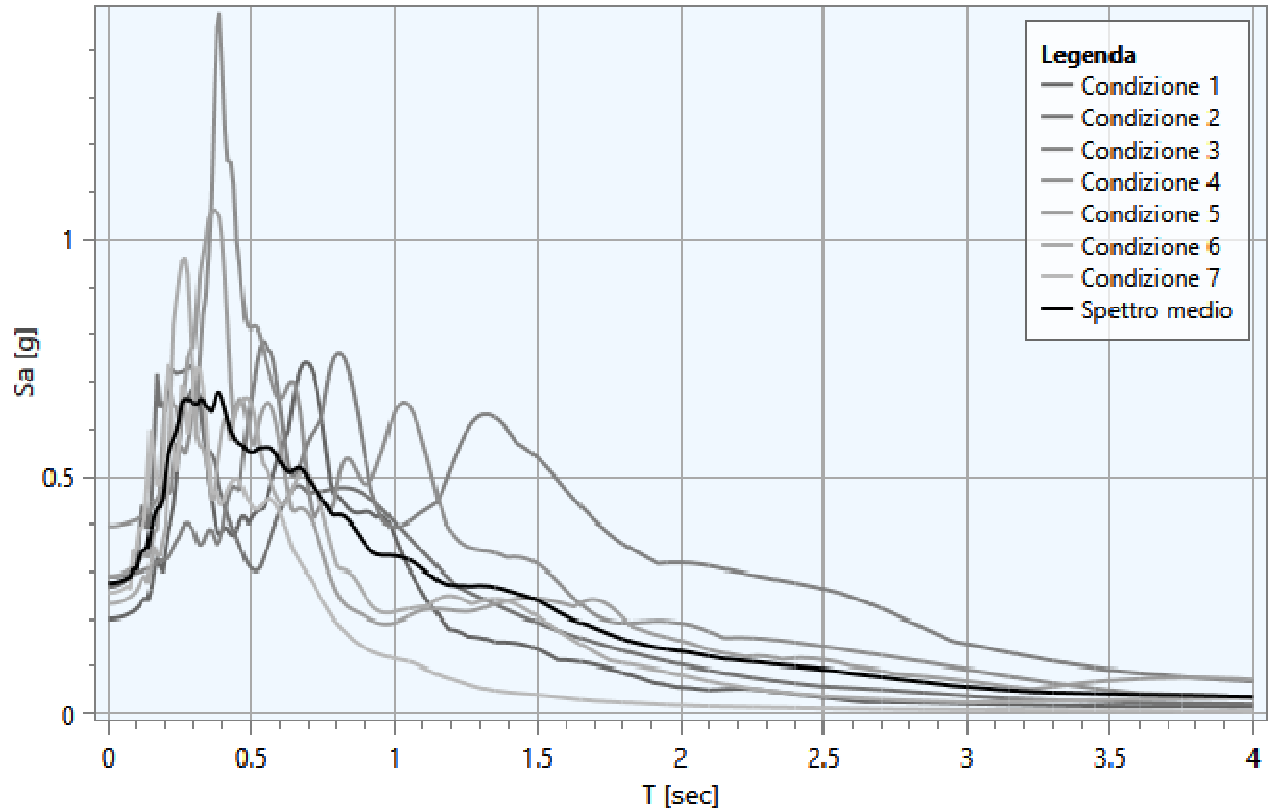
Accelerazione spettrale Output (Analisi (1)) - (Condizione7) - (Nodo 1DirezioneX)



5.3 - Interpretazione dei risultati

Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:

Accelerazione spettrale media Output (Analisi (1)) - (Nodo 1 Direzione X)



La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (GdL MS, 2008 – parti I e II – punto 2.5.4.3.1 pag 92). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede:

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione (TA);
- il calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione (SA) nell'intorno tra $0.5 TA - 1.5 TA$;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità (TV);
- il calcolo del valor medio dello spettro in pseudovelocità (SV) nell'intorno tra $0.8 TV - 1.2 TV$;
- il calcolo del valore di $T_c = 2\pi \frac{SV}{SA}$;
- il calcolo del valore di $T_b = 1/3 T_c$;
- il calcolo del valore $T_d = 4 a_g + 1.6$ con a_g uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l'applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra T_0, T_b, T_c, T_d, T_4 .

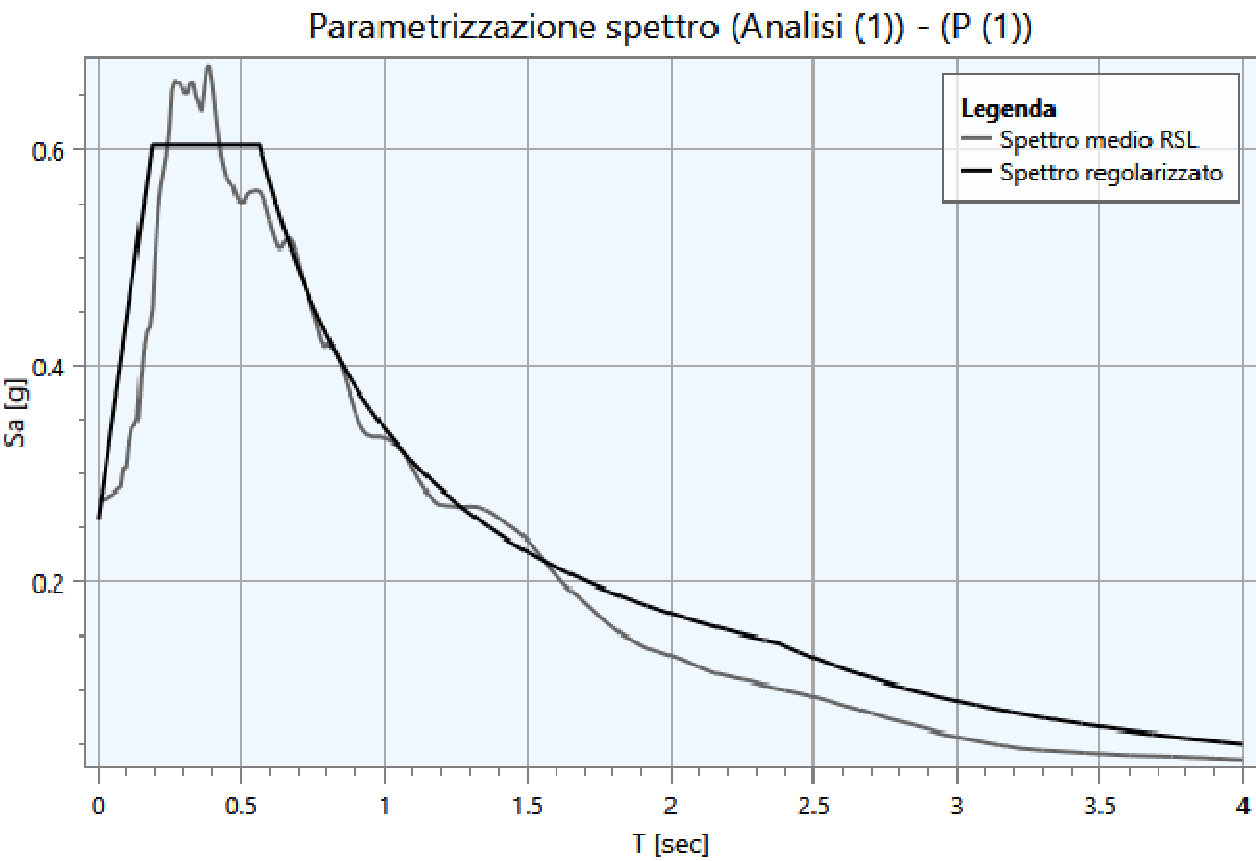
Di seguito vengono riportati, per ogni analisi, i parametri degli spettri parametrizzati per i vari punti di controllo presenti nella sezione oggetto di studio.

Analisi (1)

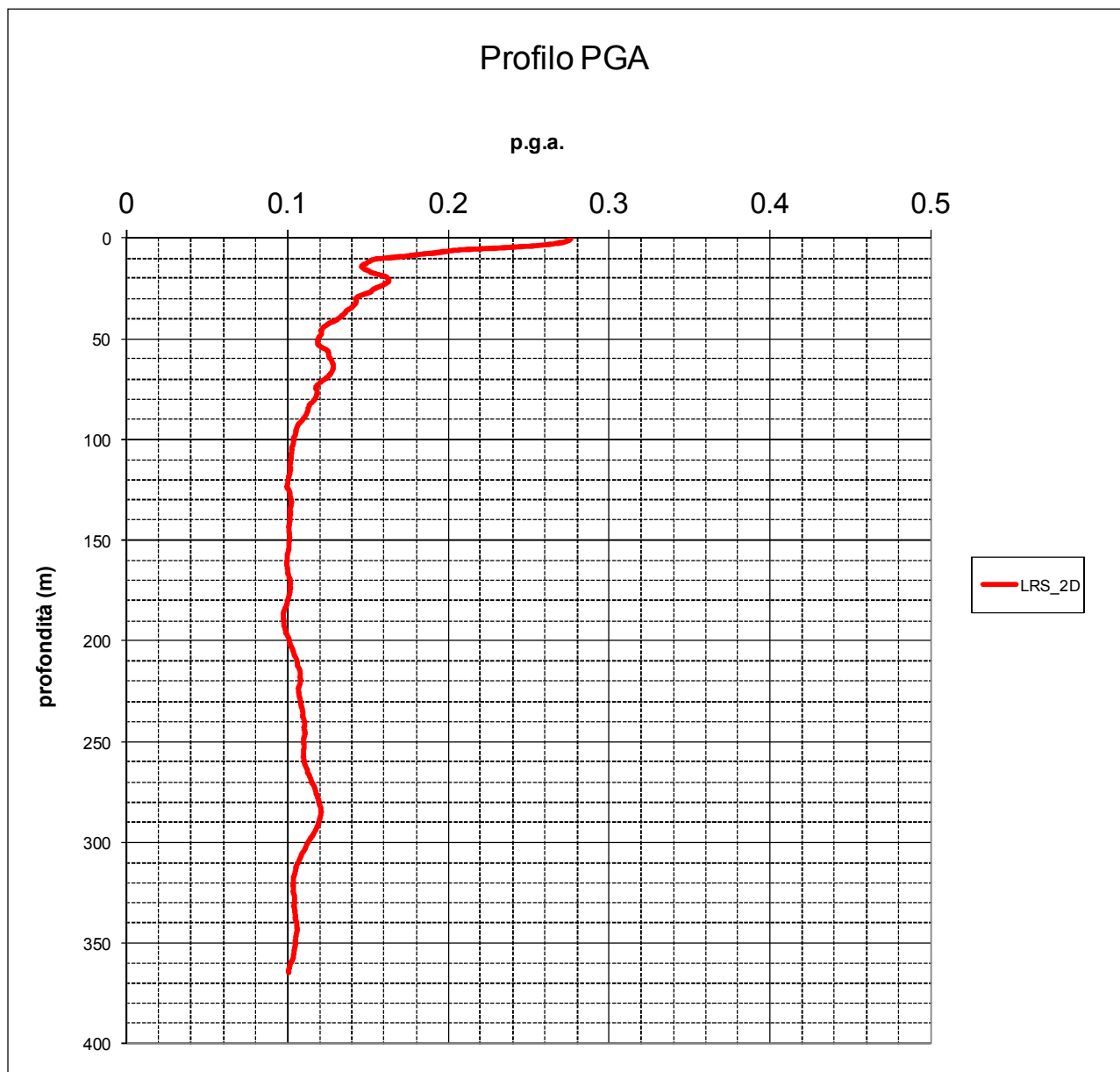
Punto di controllo	A_g [g]	$F0$	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (1)	0.194	2.341	1.330	0.258	0.189	0.567	2.376

dove:

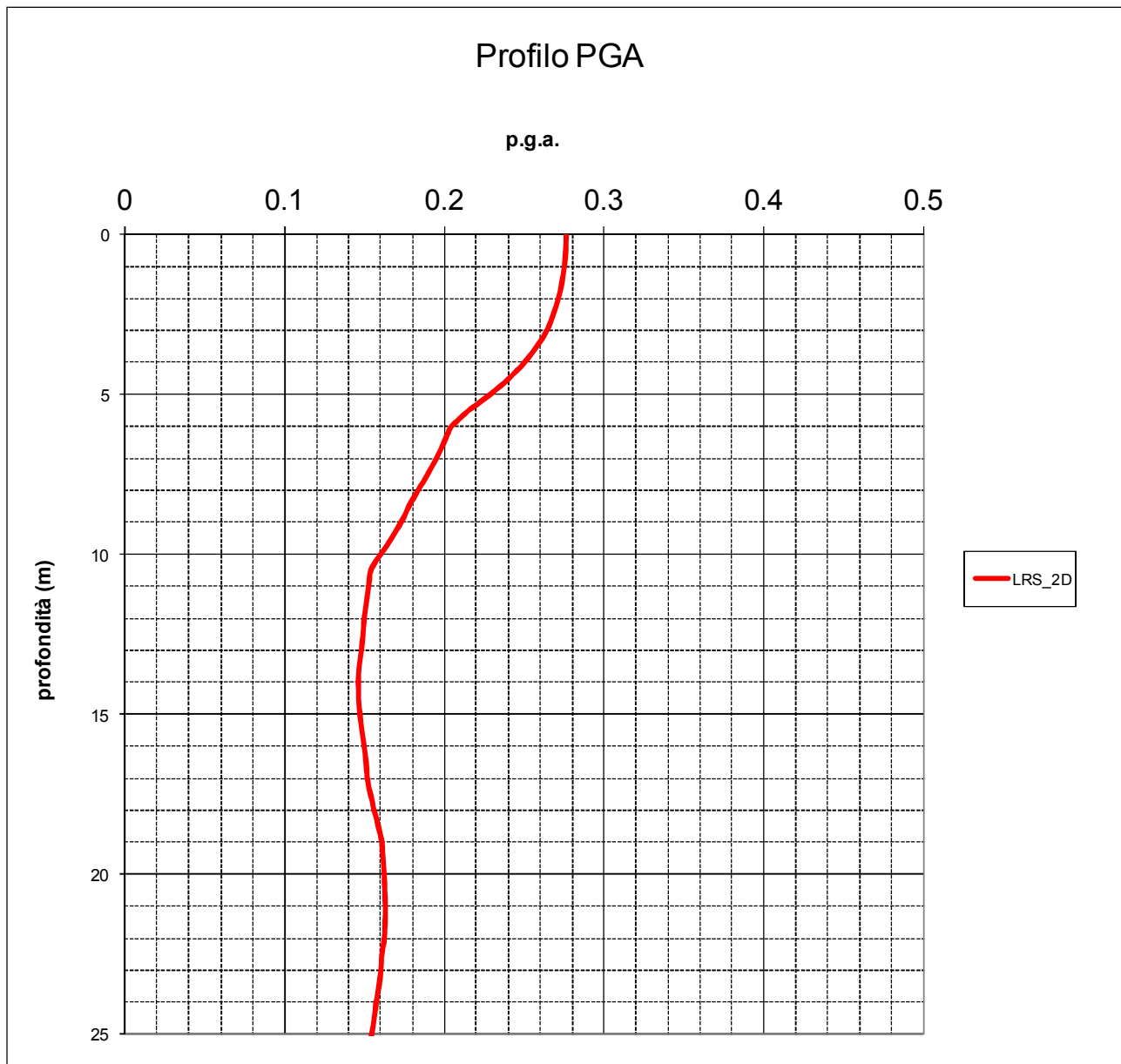
- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F0$: valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.



Nel grafico che segue è riportato profilo di PGA medio, ricavato dall'analisi dei 7 accelerogrammi, dal bedrock fino al piano campagna.



In particolare, per l'analisi della liquefazione delle sabbie si propone il medesimo profilo di PGA con la profondità dal piano campagna fino a -20m dal p.c.:



Profilo di dettaglio delle PGA alle diverse profondità nei primi 20m di profondità.

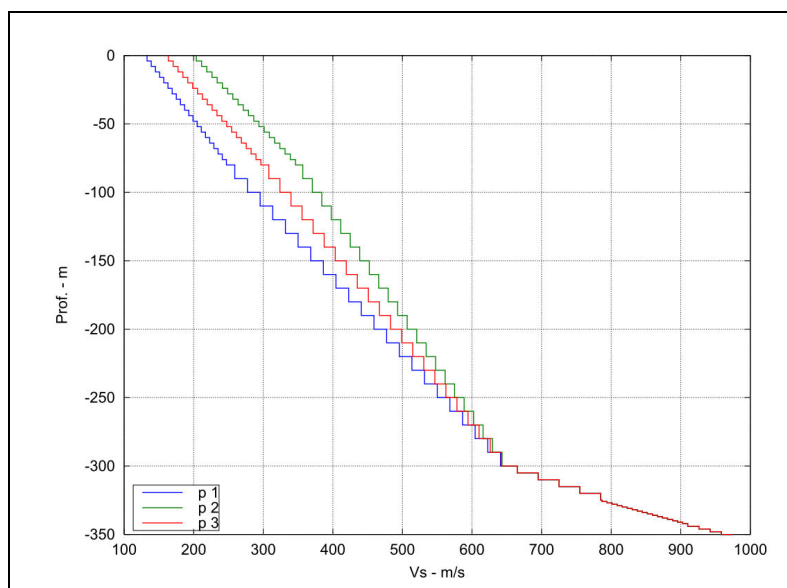
$$F.A. = PGA/PGA_0 = 0,276g/0,198g = 1,39$$

prof (m)	PGA		
0	0.276039		
0.25	0.275969		
0.5	0.275751		
0.75	0.27538		
1	0.274847		
1.25	0.274153	10.25	0.156266
1.5	0.273314	10.5	0.153739
1.75	0.272293	10.75	0.152935
2	0.271073	11	0.152361
2.25	0.269664	11.25	0.151729
2.5	0.268012	11.5	0.150986
2.75	0.266094	11.75	0.150323
3	0.263895	12	0.149589
3.25	0.260985	12.25	0.149272
3.5	0.257672	12.5	0.148847
3.75	0.253993	12.75	0.148341
4	0.249852	13	0.147766
4.25	0.245156	13.25	0.14713
4.5	0.239982	13.5	0.146482
4.75	0.234385	13.75	0.146067
5	0.228237	14	0.145919
5.25	0.221761	14.25	0.146025
5.5	0.214869	14.5	0.146128
5.75	0.209521	14.75	0.146519
6	0.204108	15	0.146929
6.25	0.20171	15.25	0.147439
6.5	0.199599	15.5	0.148135
6.75	0.197289	15.75	0.14892
7	0.194775	16	0.149657
7.25	0.192081	16.25	0.150261
7.5	0.189243	16.5	0.150804
7.75	0.186272	16.75	0.151237
8	0.183203	17	0.151528
8.25	0.180331	17.25	0.152513
8.5	0.17751	17.5	0.153619
8.75	0.175169	17.75	0.154777
9	0.172674	18	0.155785
9.25	0.169739	18.25	0.15716
9.5	0.166586	18.5	0.158495
9.75	0.163365	18.75	0.159679
10	0.159901	19	0.160681
		19.25	0.161176
		19.5	0.161579
		19.75	0.161874
		20	0.162072

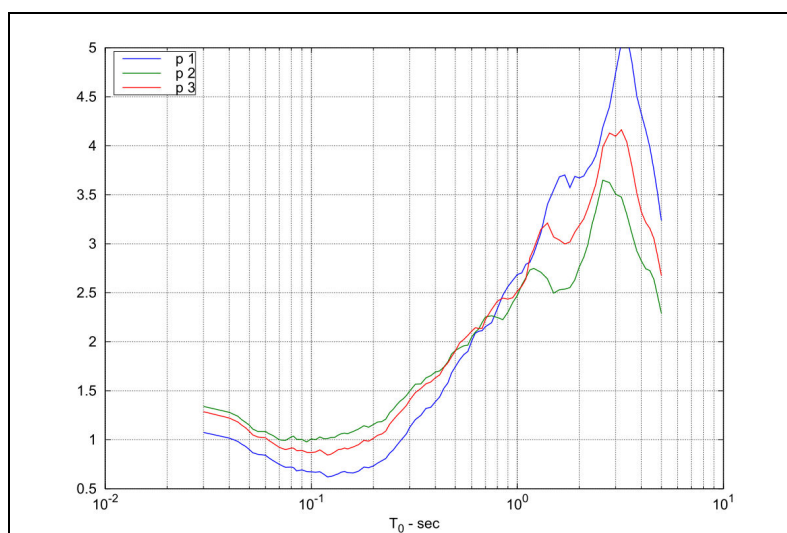
Nel 2015 è stato pubblicato uno studio da Tinto, Martelli e Marcellini, da cui emerge che in zone di pianura con bedrock sismico più profondo di 300m, i fattori di amplificazione F.A.PGA attesi in superficie dalle analisi di risposta sismica locale, per valori di Vs30 attorno a 225 m/sec, è di circa 1,3.

L'analisi della risposta sismica locale, per quanto condotta con dati bibliografici nella scelta delle curve di decadimento del modulo Go, appare dunque congrua e validata, in quanto i fattori di amplificazione emersi dal calcolo sono in linea con quelli attesi.



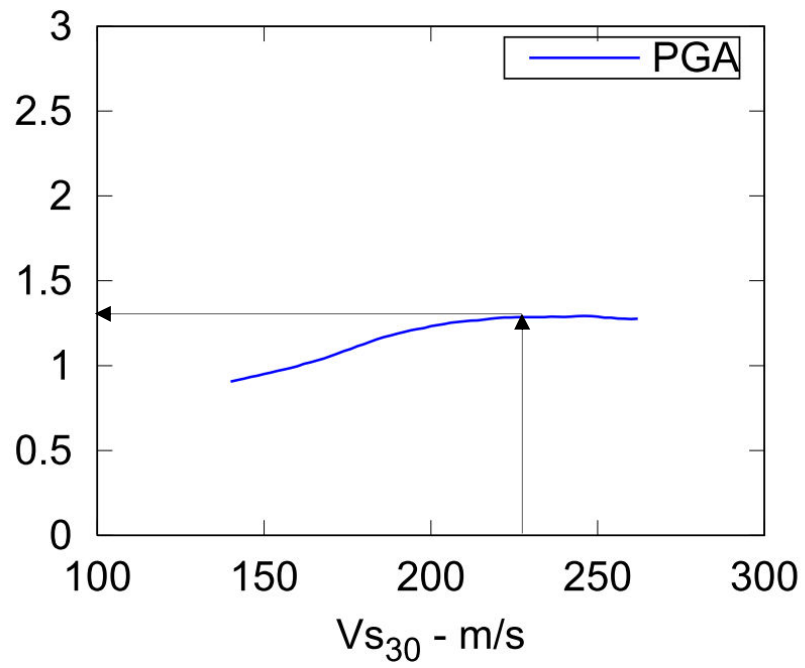


Profili medi utilizzati per il calcolo dei fattori di amplificazione



Prof.	V_{s30} m/s	FA PGA
p1	152	1.1
p2	227	1.3
p3	185	1.3

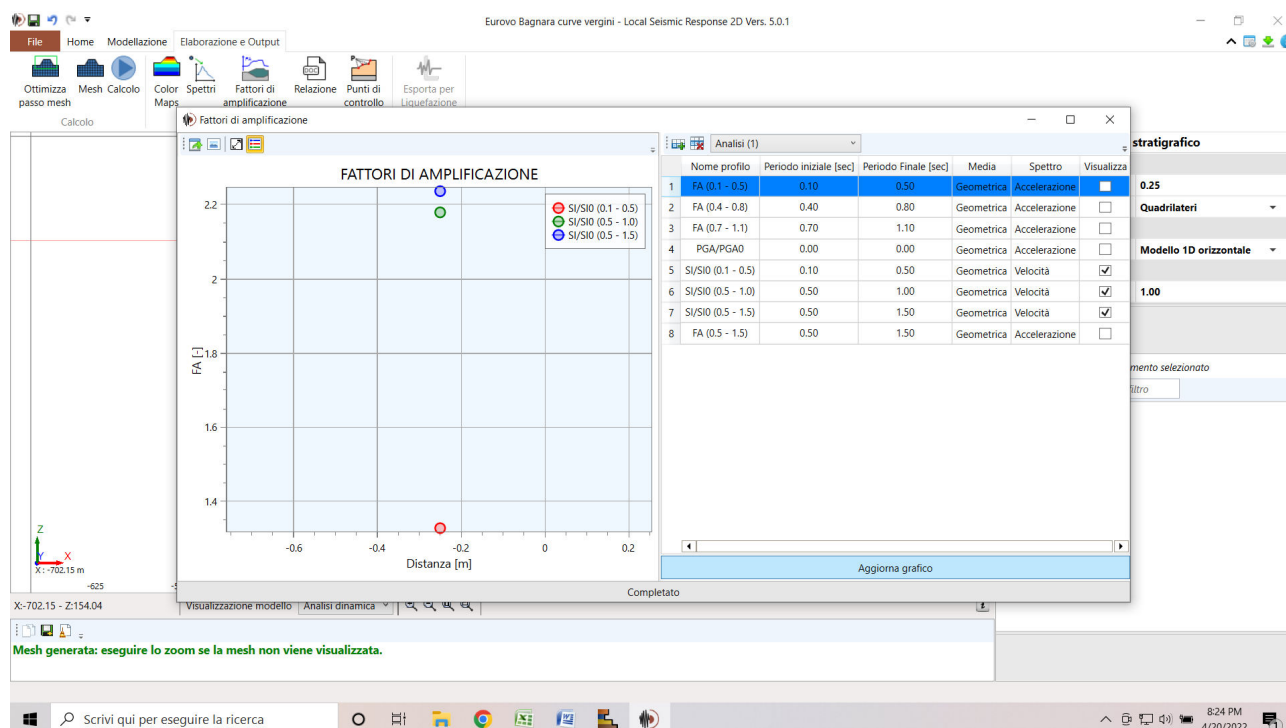
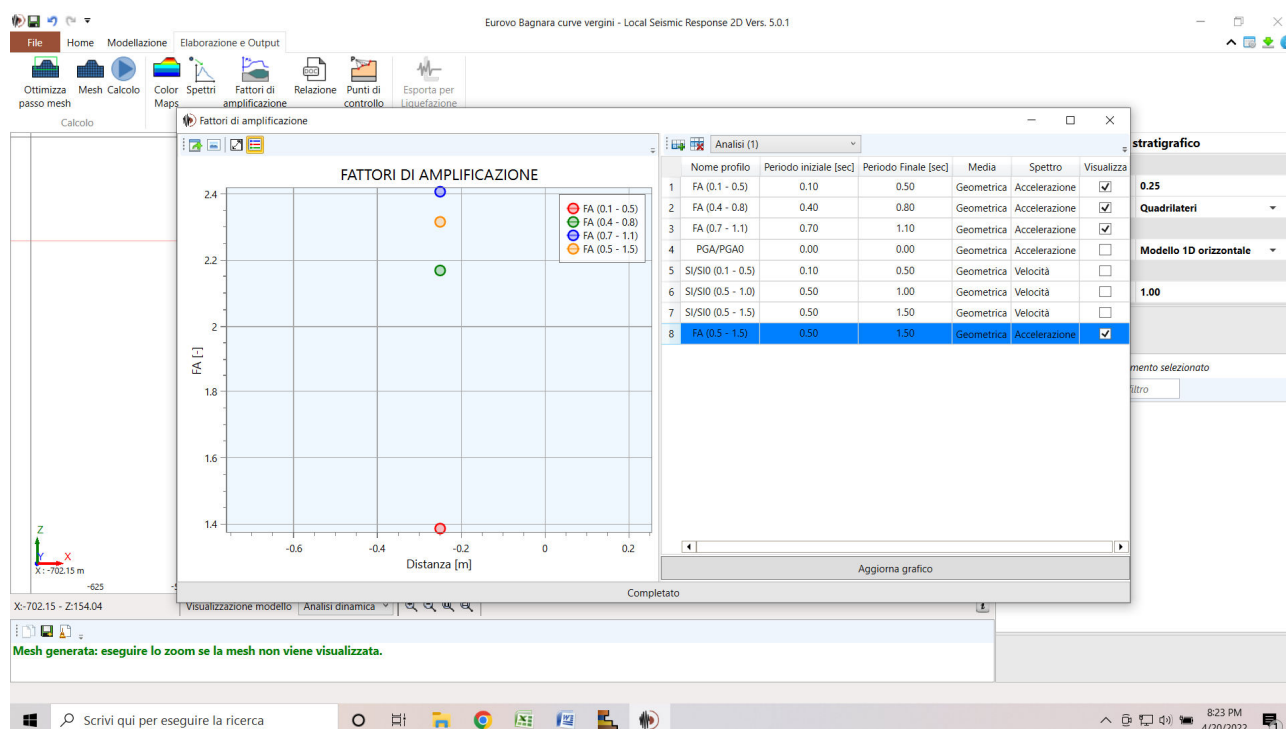
rapporti fra gli spettri di risposta in accelerazione (smorz. 5%) relativi ai profili e quello relativo al suolo A. La tabella riporta i fattori di amplificazione dei profili medi.

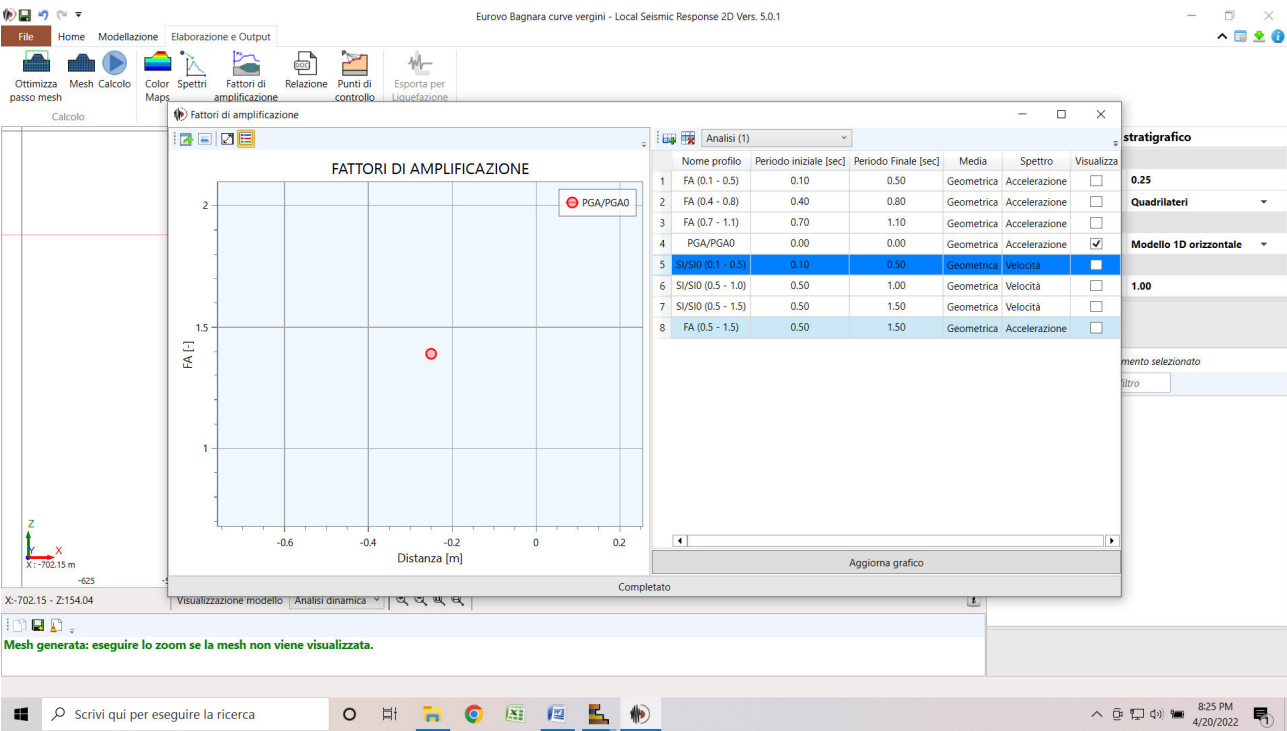


Fattori di Amplificazione PGA per $V_s=227$ m/sec

5.4 – Calcolo fattori di amplificazione

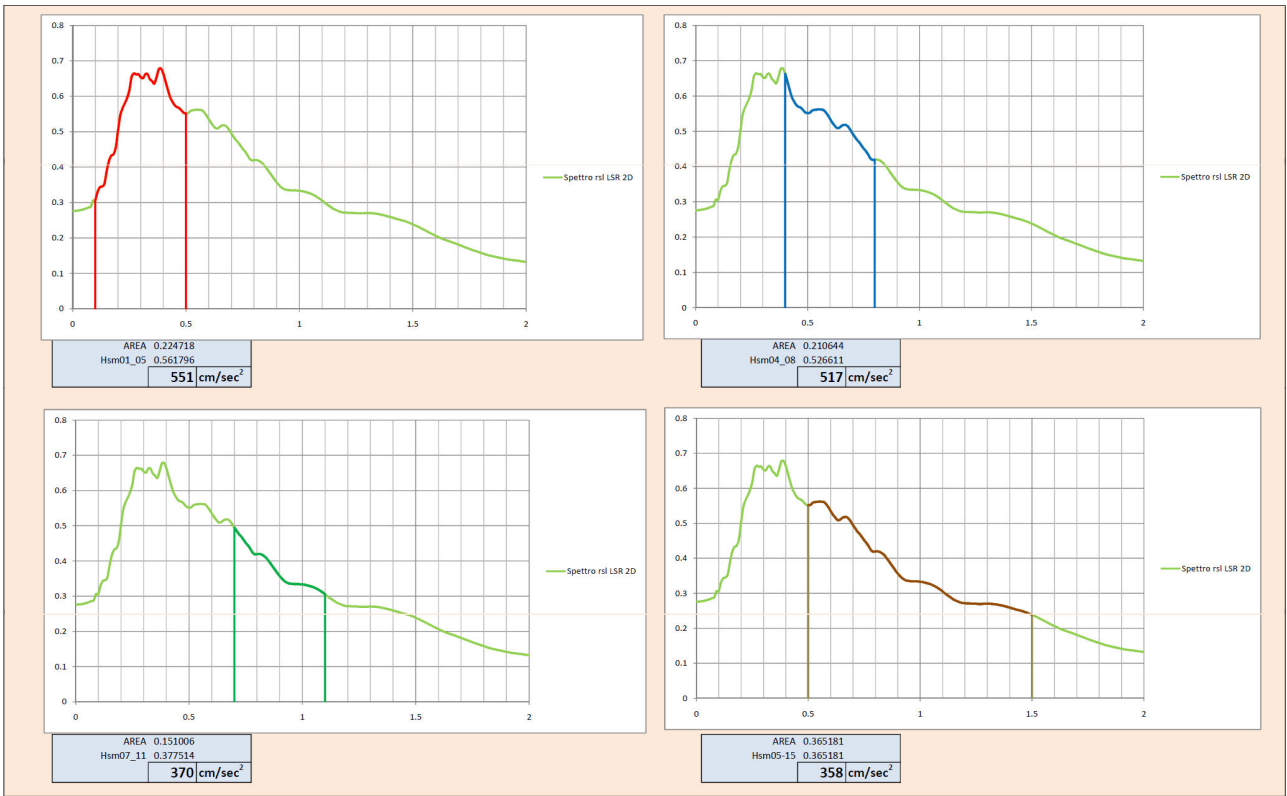
Di seguito vengono riportati i vari fattori di amplificazione richiesti per i diversi intervalli di periodo previsti dalla DGR 476/2021.





5.5 – Calcolo dei valori di Hsm

Di seguito vengono riportati i valori di Hsm richiesti per i diversi intervalli di periodo previsti dalla DGR 476/2021.



5.6 – Calcolo della funzione di trasferimento

Di seguito si riporta la funzione di trasferimento ricavata dalla RSL e quella misurata con la prova HVSR. Vi è una ottima convergenza di risultati che porta alla validazione del modello adottato per la RSL.

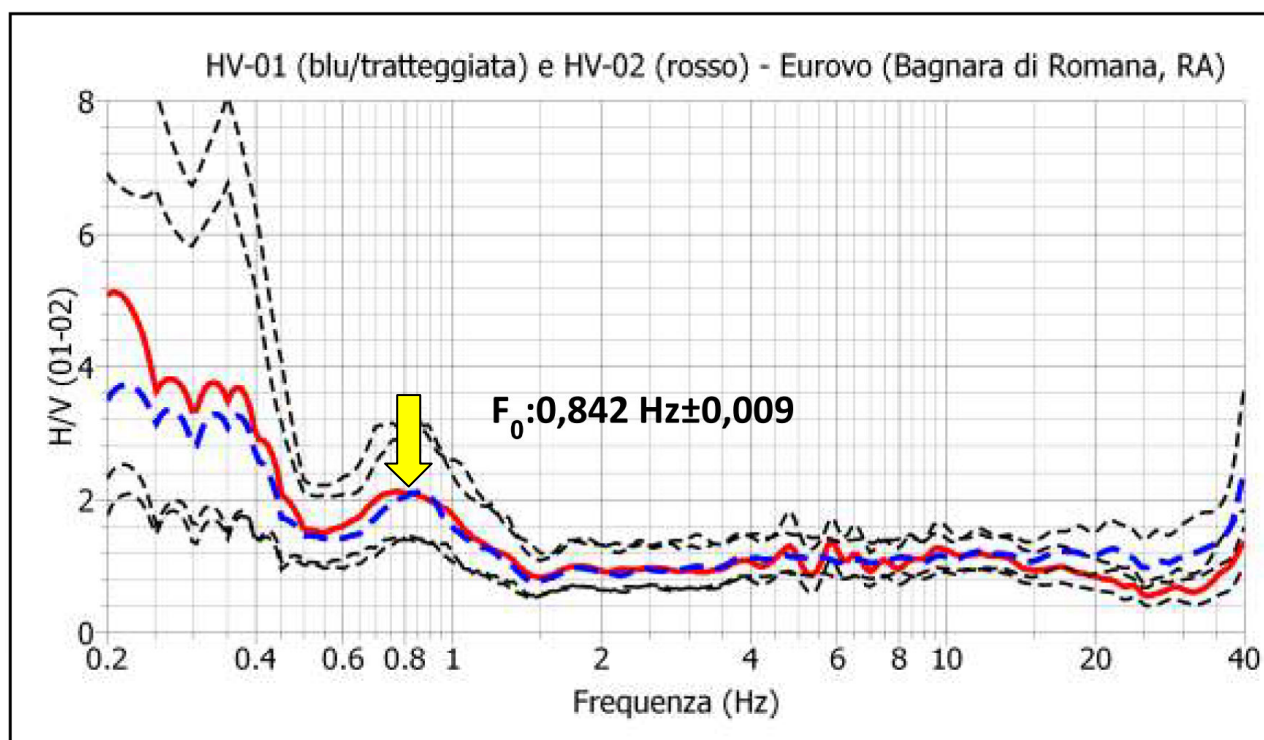
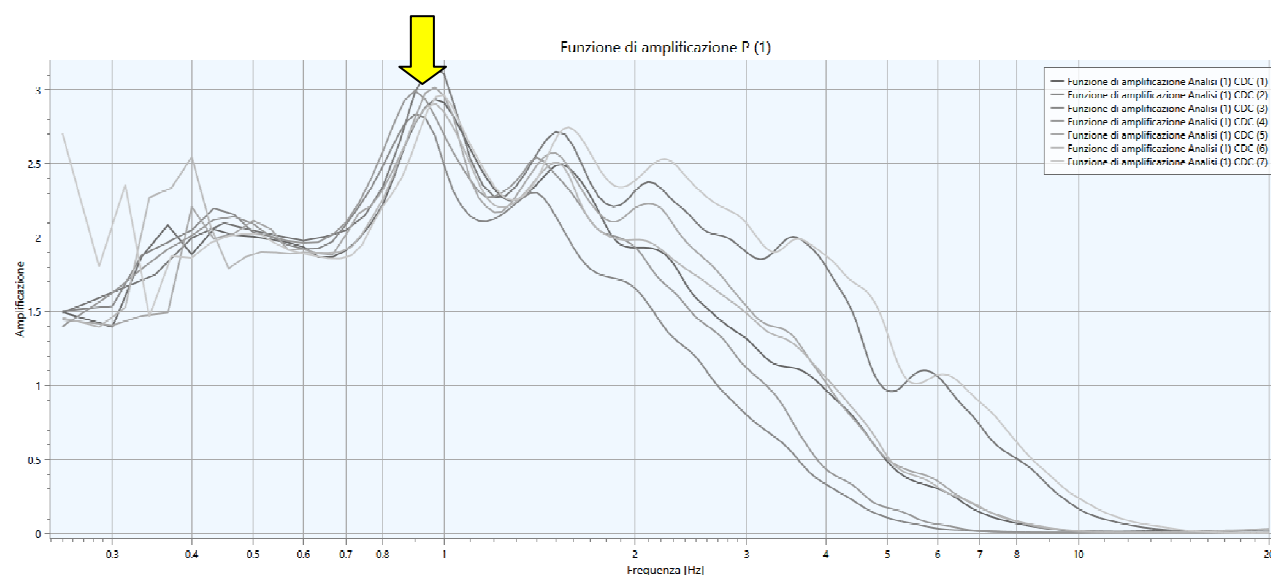



Figura 9. media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo libero (H/V-01) e (H/V-02) nell'area di proprietà della ditta 'Eurovo', sita in Via Trupatello, Comune di Bagnara di Romagna (RA). Freccia nera: frequenza di risonanza fondamentale (**F₀**) tipica dei terreni investigati.

Tabella 3: picchi di frequenze di risonanza fondamentale di risonanza ottenute dalle prove HVSR.

prova H/V	Frequenza (Hz)	Valore Frequenza	Periodo T_0 (sec)	Ampiezza (A)
Località: (Eurovo), Comune: Bagnara di Romagna (RA)				
01*	F_0	$0,836 \pm 0,008$	1,196	2,1
02*	F_0	$0,848 \pm 0,009$	1,179	2,1
media	F_0	$0,842 \pm 0,009^*$	$1,188^*$	$2,1^*$
*prova effettuata in campo libero.				

I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

- la frequenza di risonanza fondamentale con rapporto H/V medio di 2,1, tipica dei siti investigati è denominata **F_0** (Tabella 3), risulta essere pari a:
 **0,842 Hz** (periodo di risonanza medio: **1,188 secondi**) per il sito oggetto di studio. Questo valore suggerisce la presenza di una discontinuità elastica collocata a circa **123 ± 5 m** come risulta dal modello sismico di V_s (Fig. 7).

6 - Sintesi tabellare dei risultati della RSL

Successivamente si riporta una tabella di sintesi con i valori dei fattori di amplificazione e HSM calcolati attraverso l'analisi di risposta sismica locale R.S.L. e il confronto con quelli da abaco per PIANURA 3 secondo il Decreto della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 476/2021

Bagnara di Romagna	Prov. Ravenna				
latitudine:	44.389964	Coordinate WGS84			
longitudine:	11.840444			PIANURA 3	PIANURA 2
	ΔT (sec)	Fattori di amplificazione da RSL		Fattori di amplificazione da D.G.R. 476/2021	Fattori di amplificazione da D.G.R. 476/2021
FA SA1	0.1-0.5	1,39		1.30	1.80
FA SA2	0.4-0.8	2,17		2.00	2.70
FA SA3	0.7-1.1	2.41		2.40	3.20
FA SA4	0.5-1.5	2,32		2.30	3.10
PGA/PGAo		1.39		1.30	1.70
PGAo		0,194			
PGA		0,269			
SI1	0.1-0.5	1,33		1.50	2.00
SI2	0.5-1.0	2,18		2.20	3.00
SI3	0.5-1.5	2,24		2.40	3.30
		VALORE DA RSL		VALORE DA ABACO RER	
Hsm	0.1-0.5	551	cm/sec ²	554	cm/sec ²
Hsm	0.4-0.8	517	cm/sec ²		
Hsm	0.7-1.1	370	cm/sec ²		
Hsm	0.5-1.5	358	cm/sec ²		

7. Analisi della liquefazione delle sabbie sature da RSL

Con il software LSR_2D è possibile ricavare, come visto il profilo della PGA, per ogni profondità.

Si pone l'attenzione ai primi 20m, profondità oltre la quale non è attesa la liquefazione delle sabbie per via dello stato tensionale presente.

Nota la profondità della falda ed i pesi di volume dei terreni in questi primi 20m, è possibile ricavare le tensioni totali e quelle efficaci ad ogni profondità.

Avendo la PGA ad ogni profondità, la σ_{tot} e la σ'_v ad ogni profondità, è possibile calcolare la CSR con la nota formula:

$$CSR = \frac{\tau_{\text{media}}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \cdot \frac{a_{\text{max s}}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

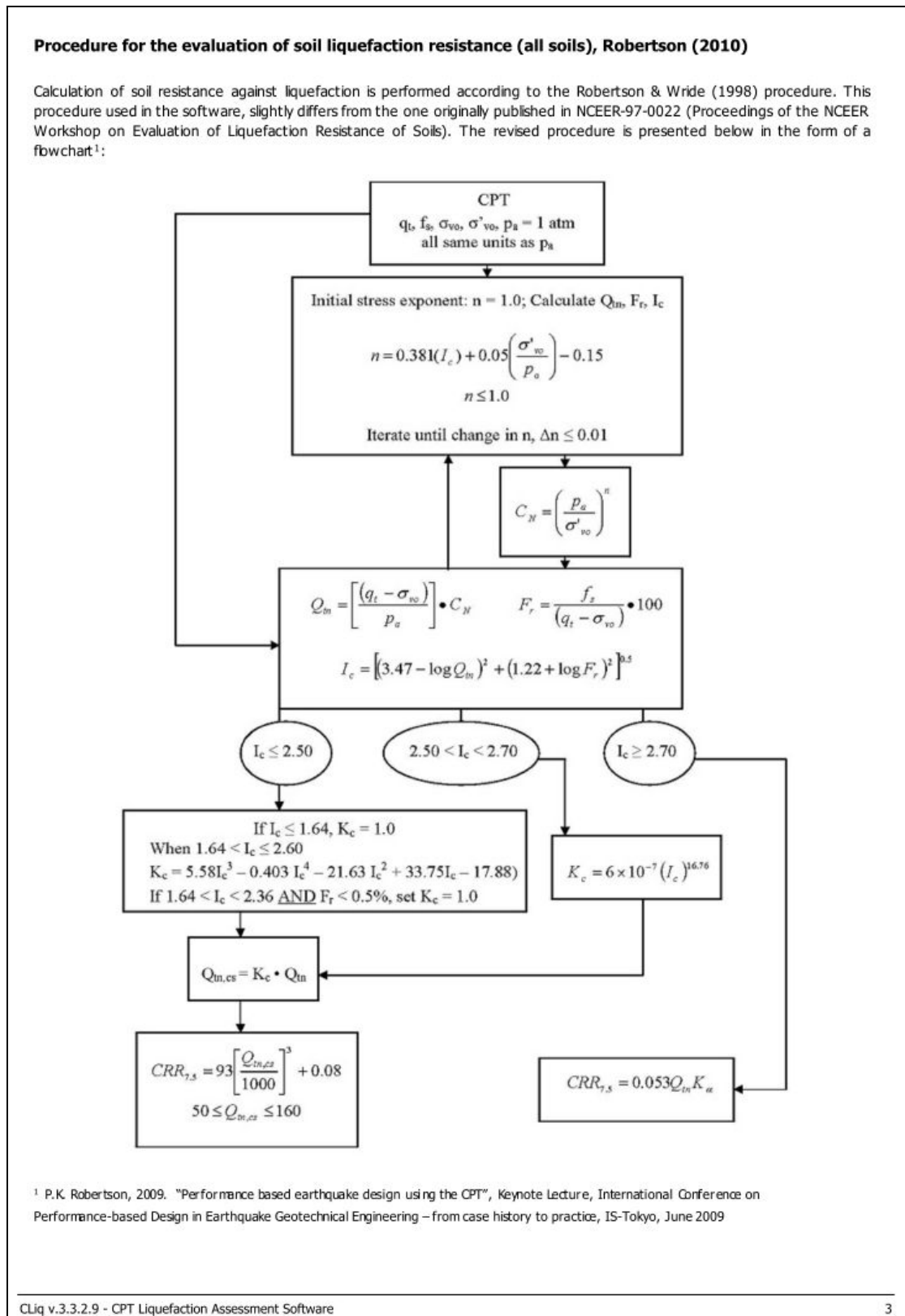
Il fattore r_d ovviamente non verrà preso in considerazione, poiché esso indica come aumenta la PGA dalla profondità arrivando in superficie secondo una funzione matematica che non tiene in alcun conto del comportamento geotecnico in campo dinamico dei diversi orizzonti di terreno presenti, mentre la RSL valuta l'amplificazione dalla profondità fino in superficie, proprio valutando il comportamento dei terreni con il decadimento di G_0 e lo smorzamento D durante il sisma. Quindi questa è una approssimazione più specifica del sito.

Poi occorre dividere la CSR così ottenuta per MSF, e si ottiene il profilo della CSR_{7,5} equivalente per un sisma di $M_w=6,14$

Una volta ricostruito il valore della CSR ad ogni profondità, lo si può diagrammare con la CRR (ovvero la resistenza che il deposito offre allo sforzo di taglio ciclico indotto dal sisma) ricavata ad ogni profondità dalla prova penetrometrica statica. In questo caso la CRR è stimata con il metodo NCEER (Robertson, 2010).

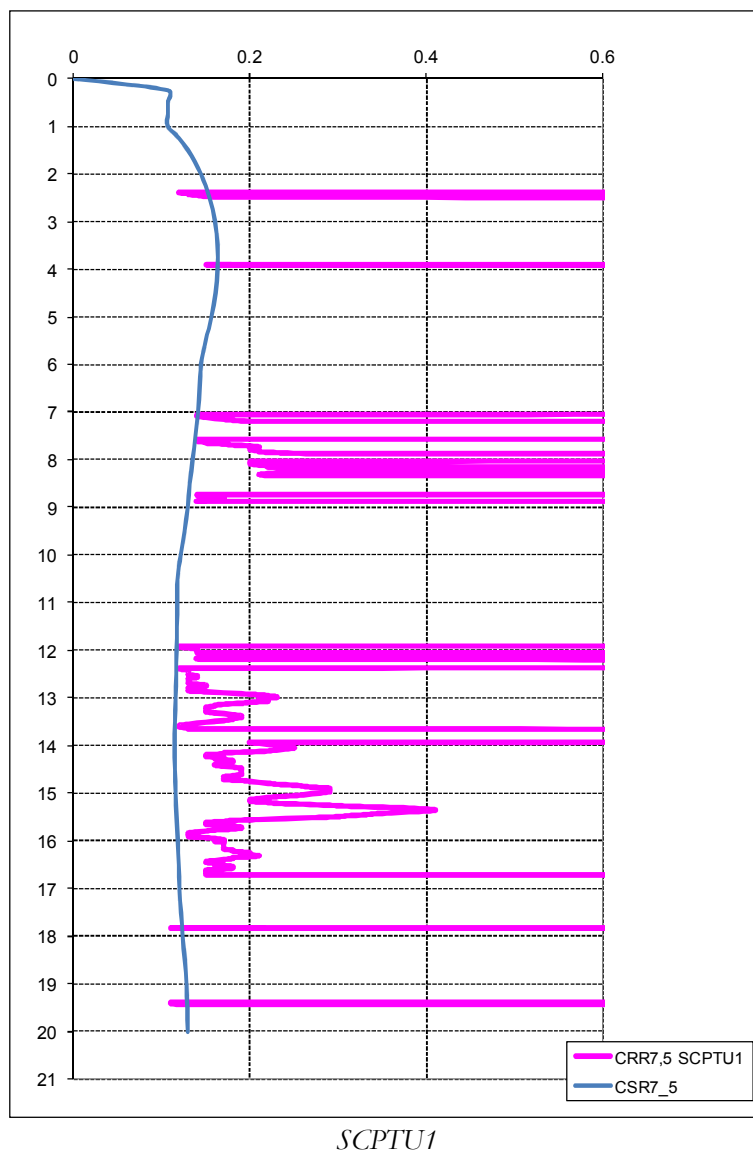
prof (m)	PGA	peso di volumie t/m3	s tot t/m2	u	s/v t/m2	CSR	MSF	CSR7,5
0	0.276039	1.85	0	0	0	0	1.67	0
0.25	0.275969	1.85	0.4625	0	0.4625	0.17938	1.67	0.107413
0.5	0.275751	1.85	0.925	0	0.925	0.179238	1.67	0.107328
0.75	0.27538	1.85	1.3875	0	1.3875	0.178997	1.67	0.107184
1	0.274847	1.85	1.85	0	1.85	0.178651	1.67	0.106976
1.25	0.274153	1.85	2.3125	0.25	2.0625	0.199799	1.67	0.11964
1.5	0.273314	1.85	2.775	0.5	2.275	0.216699	1.67	0.12976
1.75	0.272293	1.85	3.2375	0.75	2.4875	0.230354	1.67	0.137937
2	0.271073	1.85	3.7	1	2.7	0.241456	1.67	0.144584
2.25	0.269664	1.85	4.1625	1.25	2.9125	0.25051	1.67	0.150006
2.5	0.268012	1.85	4.625	1.5	3.125	0.257828	1.67	0.154388
2.75	0.266094	1.85	5.0875	1.75	3.3375	0.263652	1.67	0.157876
3	0.263895	1.85	5.55	2	3.55	0.268169	1.67	0.16058
3.25	0.260985	1.85	6.0125	2.25	3.7625	0.271086	1.67	0.162327
3.5	0.257672	1.85	6.475	2.5	3.975	0.272825	1.67	0.163368
3.75	0.253993	1.85	6.9375	2.75	4.1875	0.273516	1.67	0.163782
4	0.249852	1.85	7.4	3	4.4	0.273134	1.67	0.163553
4.25	0.245156	1.85	7.8625	3.25	4.6125	0.271631	1.67	0.162653
4.5	0.239982	1.85	8.325	3.5	4.825	0.26914	1.67	0.161162
4.75	0.234385	1.85	8.7875	3.75	5.0375	0.265762	1.67	0.159139
5	0.228237	1.85	9.25	4	5.25	0.261386	1.67	0.156518
5.25	0.221761	1.85	9.7125	4.25	5.4625	0.256294	1.67	0.15347
5.5	0.214869	1.85	10.175	4.5	5.675	0.250412	1.67	0.149947
5.75	0.209521	1.85	10.6375	4.75	5.8875	0.246065	1.67	0.147344
6	0.204108	1.85	11.1	5	6.1	0.241417	1.67	0.144561
6.25	0.20171	1.85	11.5625	5.25	6.3125	0.240155	1.67	0.143805
6.5	0.199599	1.85	12.025	5.5	6.525	0.239098	1.67	0.143173
6.75	0.197289	1.85	12.4875	5.75	6.7375	0.23768	1.67	0.142323
7	0.194775	1.85	12.95	6	6.95	0.235902	1.67	0.141258
7.25	0.192081	1.85	13.4125	6.25	7.1625	0.233799	1.67	0.139999
7.5	0.189243	1.85	13.875	6.5	7.375	0.231422	1.67	0.138576
7.75	0.186272	1.85	14.3375	6.75	7.5875	0.22879	1.67	0.137
8	0.183203	1.85	14.8	7	7.8	0.225951	1.67	0.1353
8.25	0.180331	1.85	15.2625	7.25	8.0125	0.223276	1.67	0.133698
8.5	0.17751	1.85	15.725	7.5	8.225	0.220593	1.67	0.132091
8.75	0.175169	1.85	16.1875	7.75	8.4375	0.218442	1.67	0.130804
9	0.172674	1.75	16.625	8	8.625	0.216343	1.67	0.129547
9.25	0.169739	1.75	17.0625	8.25	8.8125	0.213619	1.67	0.127915
9.5	0.166586	1.75	17.5	8.5	9	0.210547	1.67	0.126076
9.75	0.163365	1.75	17.9375	8.75	9.1875	0.207318	1.67	0.124142
10	0.159901	1.75	18.375	9	9.375	0.203714	1.67	0.121984
10.25	0.156266	1.75	18.8125	9.25	9.5625	0.199826	1.67	0.119656
10.5	0.153739	1.75	19.25	9.5	9.75	0.197299	1.67	0.118143
10.75	0.152935	1.75	19.6875	9.75	9.9375	0.19694	1.67	0.117928
11	0.152361	1.75	20.125	10	10.125	0.196847	1.67	0.117873
11.25	0.151729	1.75	20.5625	10.25	10.3125	0.19665	1.67	0.117755
11.5	0.150986	1.75	21	10.5	10.5	0.196282	1.67	0.117534
11.75	0.150323	1.75	21.4375	10.75	10.6875	0.195991	1.67	0.11736
12	0.149589	1.90	21.9125	11	10.9125	0.195246	1.67	0.116913
12.25	0.149272	1.90	22.3875	11.25	11.1375	0.195034	1.67	0.116787
12.5	0.148847	1.90	22.8625	11.5	11.3625	0.194672	1.67	0.11657
12.75	0.148341	1.90	23.3375	11.75	11.5875	0.194195	1.67	0.116285
13	0.147766	1.90	23.8125	12	11.8125	0.193621	1.67	0.115941
13.25	0.14713	1.90	24.2875	12.25	12.0375	0.192958	1.67	0.115544
13.5	0.146482	1.90	24.7625	12.5	12.2625	0.19227	1.67	0.115132
13.75	0.146067	1.90	25.2375	12.75	12.4875	0.191883	1.67	0.1149
14	0.145919	1.90	25.7125	13	12.7125	0.19184	1.67	0.114874
14.25	0.146025	1.90	26.1875	13.25	12.9375	0.192125	1.67	0.115045
14.5	0.146128	1.90	26.6625	13.5	13.1625	0.192402	1.67	0.115211
14.75	0.146519	1.90	27.1375	13.75	13.3875	0.193053	1.67	0.115601
15	0.146929	1.90	27.6125	14	13.6125	0.193726	1.67	0.116004
15.25	0.147439	1.90	28.0875	14.25	13.8375	0.194527	1.67	0.116483
15.5	0.148135	1.90	28.5625	14.5	14.0625	0.19557	1.67	0.117108
15.75	0.14892	1.90	29.0375	14.75	14.2875	0.19673	1.67	0.117802
16	0.149657	1.90	29.5125	15	14.5125	0.197822	1.67	0.118456
16.25	0.150261	1.90	29.9875	15.25	14.7375	0.198736	1.67	0.119004
16.5	0.150804	1.90	30.4625	15.5	14.9625	0.199567	1.67	0.119501
16.75	0.151237	1.90	30.9375	15.75	15.1875	0.200249	1.67	0.11991
17	0.151528	1.90	31.4125	16	15.4125	0.200741	1.67	0.120204
17.25	0.152513	1.85	31.875	16.25	15.625	0.202232	1.67	0.121097
17.5	0.153619	1.85	32.3375	16.5	15.8375	0.203881	1.67	0.122085
17.75	0.154777	1.85	32.8	16.75	16.05	0.205598	1.67	0.123113
18	0.155785	1.85	33.2625	17	16.2625	0.207112	1.67	0.124019
18.25	0.15716	1.85	33.725	17.25	16.475	0.209113	1.67	0.125217
18.5	0.158495	1.85	34.1875	17.5	16.6875	0.211059	1.67	0.126383
18.75	0.159679	1.85	34.65	17.75	16.9	0.212803	1.67	0.127427
19	0.160681	1.85	35.1125	18	17.1125	0.214302	1.67	0.128325
19.25	0.161176	1.85	35.575	18.25	17.325	0.215122	1.67	0.128816
19.5	0.161579	1.85	36.0375	18.5	17.5375	0.215817	1.67	0.129231
19.75	0.161874	1.85	36.5	18.75	17.75	0.216364	1.67	0.12956
20	0.162072	1.85	36.9625	19	17.9625	0.216779	1.67	0.129808

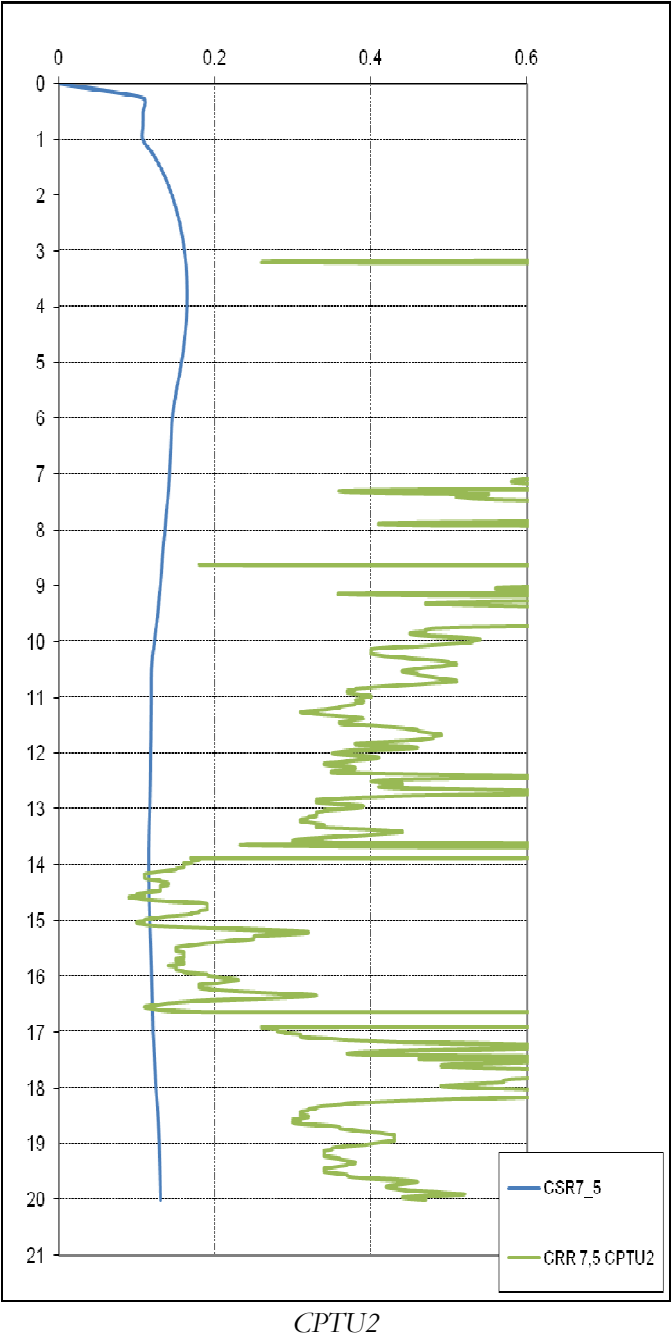
La procedura utilizzata per la valutazione della resistenza alla liquefazione è stata eseguita secondo il metodo ROBERTSON 2010, la procedura di calcolo è la seguente:

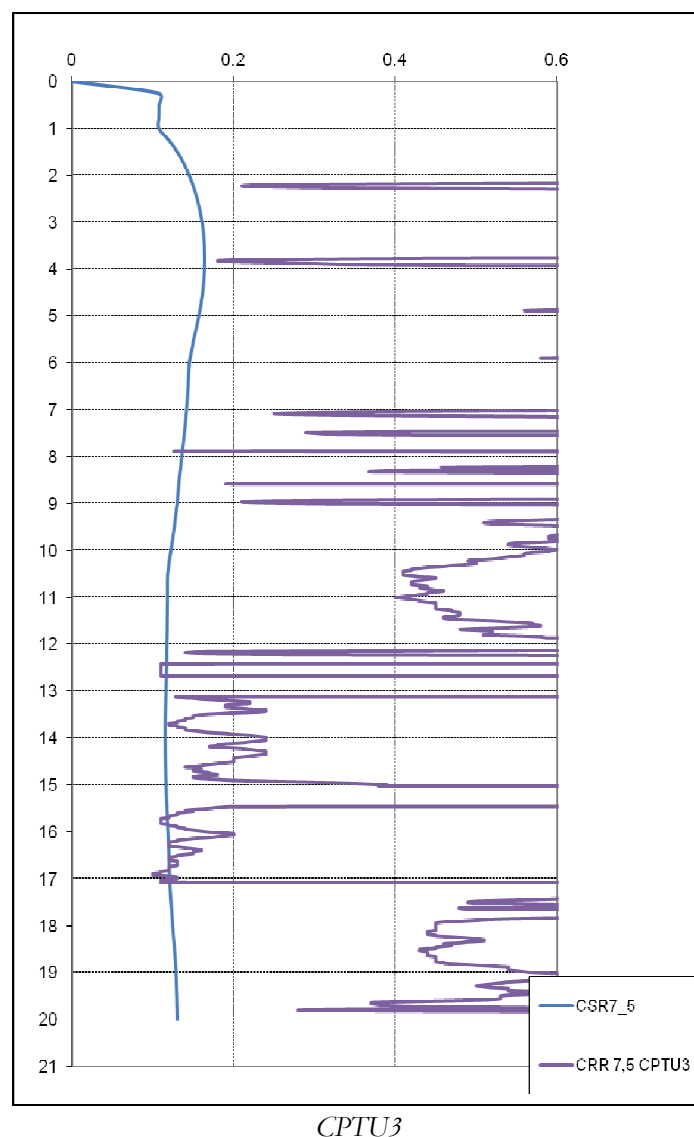


Per il calcolo dell'indice di liquefazione, si è adottato il profilo della CSR_{7,5} ricavato dalla Risposta Sismica Locale.. La Magnitudo di progetto è stata considerata pari a Mw=6,14, come da zona sismogenetica 912 e 914.

Seguono i diagrammi della CRR_{7,5} e CSR_{7,5}, per valutare dove la resistenza alle sollecitazioni di taglio ciclico (CRR) siano inferiori alle sollecitazioni indotte dal sisma di progetto (CSR).







Il fattore di sicurezza richiesto dalla normativa regionale è in questo caso $FL=1,2$. Si ricorda però, che per la progettazione esecutiva delle opere previste, valgono le NTC 2018 ove viene specificato che

7.11.3.4.3 Metodi di analisi

Quando nessuna delle condizioni del § 7.11.3.4.2 risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse.

L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista.

Il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione può dunque essere scelto anche pari a $F=1,0$.

I valori stimati dell'indice del potenziale di liquefazione per le tre verticali è dunque:

Prova	Potenziale Liquefazione I_{PL}
SCPTU1	0,23
CPTU2	0,34
CPTU3	0,00

Indice potenziale liquefazione calcolato

This software is licensed to: THOMAS VERONESE						CPT name: rif. U91-19 CPTU1 Bagnara di Ro					
:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)											
Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
28.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.02	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.04	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.06	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.08	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.10	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.12	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.14	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.16	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.18	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.20	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.22	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.24	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.26	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.28	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.30	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.32	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.34	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.36	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.38	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.40	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.42	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.44	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.46	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.48	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.50	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.52	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.54	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.56	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.58	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.60	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.62	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.64	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.66	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.68	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.70	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.72	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.74	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.76	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.78	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.80	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	30.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
						Overall liquefaction potential: 0.23					
LPI = 0.00 - Liquefaction risk very low LPI between 0.00 and 5.00 - Liquefaction risk low LPI between 5.00 and 15.00 - Liquefaction risk high LPI > 15.00 - Liquefaction risk very high											
Abbreviations											
FS: Calculated factor of safety for test point F _L : 1 - FS w _z : Function value of the extend of soil liquefaction according to depth d _z : Layer thickness (m) LPI: Liquefaction potential index value for test point											
CLiq v.3.3.2.9 - CPT Liquefaction Assessment Software - Report created on: 4/22/2022, 11:43:49 AM Project file: Z:\AAAThomas\AAA relazioni\AAAanno2022\AAA Relaz Temporanee\Bagnara di Romagna Eurovo\Liquefazione\Liq con CSR da RSL Thomas.clg											

SCPTU1

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU2 Bagnara di Ro

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
26.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	26.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
26.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	26.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
26.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.02	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.04	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.06	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.08	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.10	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.12	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.14	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.16	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.18	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.20	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.22	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.24	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.26	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.28	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.30	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.32	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.34	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.36	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
27.38	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	27.40	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00

Overall liquefaction potential: 0.34

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

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
 F_L: 1 - FS
 w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
 d_z: Layer thickness (m)
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

CPTU2

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU3 Bagnara di Ro

:: Liquefaction Potential Index calculation data :: (continued)

Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI	Depth (m)	FS	F _L	w _z	d _z	LPI
28.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	28.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
28.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.02	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.04	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.06	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.08	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.10	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.12	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.14	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.16	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.18	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.20	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.22	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.24	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.26	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.28	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.30	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.32	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.34	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.36	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.38	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.40	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.42	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.44	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.46	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.48	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.50	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.52	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.54	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.56	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.58	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.60	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.62	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.64	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.66	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.68	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.70	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.72	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.74	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.76	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.78	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.80	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.82	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.84	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.86	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.88	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.90	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.92	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.94	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	29.96	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00
29.98	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00	30.00	2.00	0.00	0.00	0.02	0.00

Overall liquefaction potential: 0.00

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

Abbreviations

FS: Calculated factor of safety for test point
 F_L: 1 - FS
 w_z: Function value of the extend of soil liquefaction according to depth
 d_z: Layer thickness (m)
 LPI: Liquefaction potential index value for test point

Sono stati stimati i cedimenti postsismici nei banchi sabbiosi rilevati con le 3 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU con rif. U91-19. Del calcolo completo dei cedimenti post sismici si riporta solo il risultato finale.

Dalle elaborazioni informatiche, si ricava che con una Magnitudo di 6,14, con il profilo di CSR_{7,5} ricavato dalla Risposta Sismica Locale, e fattore di sicurezza per la liquefazione $F_L=1,2$, i cedimenti post sismici nei terreni granulari (**Tabella**) sono molto contenuti.

Prova	Cedimenti post-sismici (cm)
SCPTU1	2,91
CPTU2	2,80
CPTU3	0,27

Tabella 5.4– Cedimenti post-sismici

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU1 Bagnara di Ro

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)

Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)
30.00	71.57	2.00	0.00	1.00	0.00						

Total estimated settlement: 2.91

Abbreviations

$Q_{tn,cs}$:

Equivalent dean sand normalized cone resistance

FS:

Factor of safety against liquefaction

e_v (%):

Post-liquefaction volumetric strain

DF:

e_v depth weighting factor

Settlement:

Calculated settlement

Cedimenti post sismici SCPTU1

This software is licensed to: THOMAS VERONESE						CPT name: rif. U91-19 CPTU2 Bagnara di Ro					
:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)											
Depth (m)	Q _{tn,cs}	FS	e _v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	Q _{tn,cs}	FS	e _v (%)	DF	Settlement (cm)
26.46	79.66	2.00	0.00	1.00	0.00	26.48	80.87	2.00	0.00	1.00	0.00
26.50	79.43	2.00	0.00	1.00	0.00	26.52	75.62	2.00	0.00	1.00	0.00
26.54	70.56	2.00	0.00	1.00	0.00	26.56	65.15	2.00	0.00	1.00	0.00
26.58	61.82	2.00	0.00	1.00	0.00	26.60	62.21	2.00	0.00	1.00	0.00
26.62	67.26	2.00	0.00	1.00	0.00	26.64	73.63	2.00	0.00	1.00	0.00
26.66	77.98	2.00	0.00	1.00	0.00	26.68	77.95	2.00	0.00	1.00	0.00
26.70	76.70	2.00	0.00	1.00	0.00	26.72	74.84	2.00	0.00	1.00	0.00
26.74	72.27	2.00	0.00	1.00	0.00	26.76	68.17	2.00	0.00	1.00	0.00
26.78	63.58	2.00	0.00	1.00	0.00	26.80	59.35	2.00	0.00	1.00	0.00
26.82	56.83	2.00	0.00	1.00	0.00	26.84	55.20	2.00	0.00	1.00	0.00
26.86	54.98	2.00	0.00	1.00	0.00	26.88	54.32	2.00	0.00	1.00	0.00
26.90	53.72	2.00	0.00	1.00	0.00	26.92	51.63	2.00	0.00	1.00	0.00
26.94	48.47	2.00	0.00	1.00	0.00	26.96	44.96	2.00	0.00	1.00	0.00
26.98	42.66	2.00	0.00	1.00	0.00	27.00	41.28	2.00	0.00	1.00	0.00
27.02	39.64	2.00	0.00	1.00	0.00	27.04	38.01	2.00	0.00	1.00	0.00
27.06	37.02	2.00	0.00	1.00	0.00	27.08	36.96	2.00	0.00	1.00	0.00
27.10	37.23	2.00	0.00	1.00	0.00	27.12	37.42	2.00	0.00	1.00	0.00
27.14	37.99	2.00	0.00	1.00	0.00	27.16	38.51	2.00	0.00	1.00	0.00
27.18	40.53	2.00	0.00	1.00	0.00	27.20	44.75	2.00	0.00	1.00	0.00
27.22	53.23	2.00	0.00	1.00	0.00	27.24	65.29	2.00	0.00	1.00	0.00
27.26	78.10	2.00	0.00	1.00	0.00	27.28	89.15	2.00	0.00	1.00	0.00
27.30	100.31	2.00	0.00	1.00	0.00	27.32	116.55	2.00	0.00	1.00	0.00
27.34	138.32	2.00	0.00	1.00	0.00	27.36	164.70	2.00	0.00	1.00	0.00
27.38	193.21	2.00	0.00	1.00	0.00	27.40	214.22	2.00	0.00	1.00	0.00
						Total estimated settlement: 2.80					
Abbreviations											
Q _{tn,cs} :	Equivalent deam sand normalized cone resistance										
FS:	Factor of safety against liquefaction										
e _v (%):	Post-liquefaction volumetric strain										
DF:	e _v depth weighting factor										
Settlement:	Calculated settlement										

Cedimenti post sismici CPTU2

This software is licensed to: THOMAS VERONESE

CPT name: rif. U91-19 CPTU3 Bagnara di Ro

:: Post-earthquake settlement due to soil liquefaction :: (continued)

Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)	Depth (m)	$Q_{tn,cs}$	FS	e_v (%)	DF	Settlement (cm)
29.90	74.52	2.00	0.00	1.00	0.00	29.92	76.72	2.00	0.00	1.00	0.00
29.94	77.61	2.00	0.00	1.00	0.00	29.96	77.19	2.00	0.00	1.00	0.00
29.98	75.40	2.00	0.00	1.00	0.00	30.00	74.12	2.00	0.00	1.00	0.00

Total estimated settlement: 0.27

Abbreviations

$Q_{tn,cs}$:

Equivalent deam sand normalized cone resistance

FS:

Factor of safety against liquefaction

e_v (%):

Post-liquefaction volumetric strain

DF:

e_v depth weighting factor

Settlement:

Calculated settlement

Cedimenti post sismici CPTU3

L'area si può considerare stabile, da punto di vista dell'effetto di sito della liquefazione delle sabbie.

Codigoro, lì 22/04/2022

Dott. Geol. Thomas Veronese

The image shows a handwritten signature in blue ink that reads "Thomas Veronese". The signature is written over a circular official stamp. The stamp contains the text "REGIONE DELLO EMILIA-ROMAGNA", "DOTT. THOMAS VERONESE", "INGEGNERE GEOTECNICO", and "742 ALBO. P. VENEZIA".

ALLEGATO B

INDAGINI GEOFISICHE

COMUNE DI BAGNARA DI ROMAGNA (RA)

Variante alla Pianificazione Territoriale e Urbanistica dell'area oggetto di ammodernamento di impianto per la produzione di mangimi in ottica 4.0 (mangime Bio/Ogm) sito in via Trupatello a Bagnara di Romagna (Ra). Riferimenti catastali foglio 7 mappale 149 e 65 del comune di Bagnara di Romagna (Ra).



**Regione EMILIA-ROMAGNA
Provincia di Ravenna
Comune di Bagnara di Romagna**

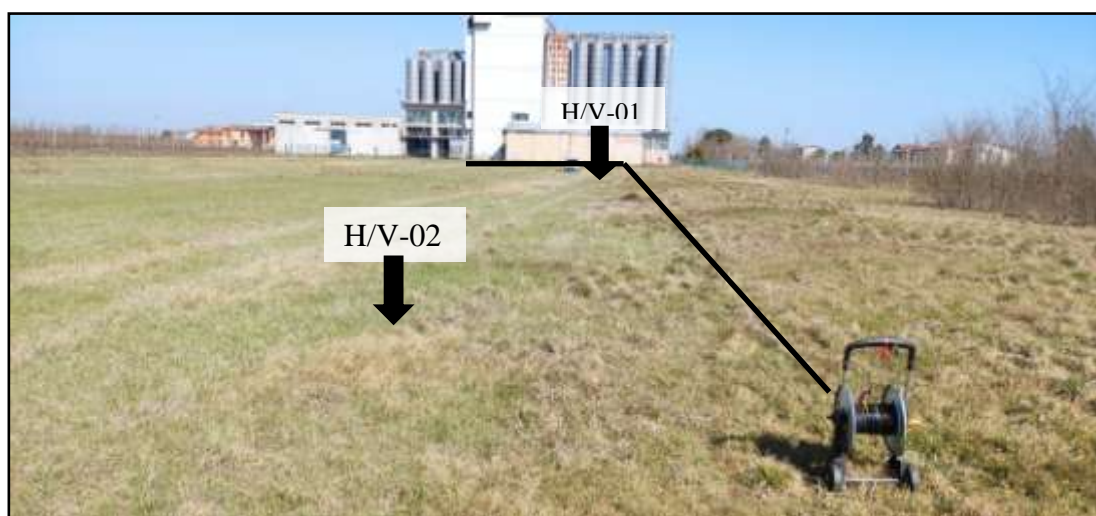
***Indagine sismica con la tecnica della sismica
passiva 'ESAC' per la determinazione del
profilo profondo di Vs nell'area di proprietà
della Ditta Eurovo, Via Trupatello 7,
Comune di Bagnara di Romagna (RA)***

Marzo 2022

Committente: Studio Geologo Veronese

Tecnico: Dr. Nasser Abu Zeid

**Indagine sismica con la tecnica della sismica
passiva 'ESAC' per la determinazione del profilo
profondo di Vs nell'area di proprietà della Ditta
Eurovo, Via Trupatello 7,
Comune di Bagnara di Romagna (RA)**



- Relazione Geofisica -

marzo 2022

Teamgeofisica.ceg (centro elaborazione dati geofisici)

Via G. Fabbri, 342 - 44124 FERRARA (FE)

Tel./Fax 0532-8748912

Mail: teamgeofisica.ceg@gmail.com

p.iva 02065560381

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	TECNICHE D'INDAGINE	1
2.1.	Sismica passiva (Enhanced Spatial autocorrelation "ESAC")	1
2.2.	Rapporti spettrali (H/V)	3
2.2.1.	Il metodo HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio)	4
3.	ACQUISIZIONE DATI	6
3.1.	Dati ESAC	6
3.2.	Dati H/V	8
4.	ANALISI DATI	9
4.1.	Dati ESAC	9
4.1.	Dati rapporti spettrali (H/V)	10
5.	RISULTATI	11
5.1.	Prova ESAC	11
5.1.	Prove dei rapporti spettrali (H/V)	13
6.	CONCLUSIONI	14
7.	BIBLIOGRAFIA	16
	Appendice A: parametri del modello sismico 1D di Vs	17
	Appendice B: risultati delle singole prove	21

ELENCO DELLE FIGURE E TABELLE

Figura 1: modello di sottosuolo ad un grado di libertà (SDOF).	4
Figura 2. Esempio sismogramma sperimentale (BagR_106.dat) acquisito lungo il profilo sismico. Le linee verticali rappresentano i sismogrammi registrati utilizzando geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz....	7
Figura 3. Geometria delle antenne sismiche utilizzate. Colore blu: profilo sismico. Scala assi diversa. HV-01: ubicazione prova dei rapporti spettrali dei microtremori.....	7
Figura 4: particolari delle prove dei rapporti spettrali “H/V-01-02” effettuate nell’area.	8
Figura 5. Curva di dispersione sperimentale del profilo sismico ottenuto dall’analisi spettrale mediante la tecnica tau-p (a). In (b) si illustra il buon confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.....	9
Figura 6. Sismogrammi relativi alle due prove H/V (microtremori) effettuate, in campo libero (H/V-01, in alto) e (H/V-02, in basso), nell’area oggetto di indagine sita nell’area di proprietà della ditta ‘Eurovo’, V. Trupatello 7, Comune di Bagnara di Romagna, RA). Z: componente verticale, E: componente orizzontale in direzione E-W e N: componente orizzontale in direzione N-S.	10
Figura 7. Il profilo verticale VS ottenuto per l’area indagata dal profilo sismico.....	12
Figura 8. Il profilo verticale G_{max} (μ : modulo di rigidità dinamico) dell’area indagata dal profilo sismico, ottenuto dal profilo di velocità (V_s) mediante l’equazione $\mu = \rho * V_s^2$	12
Figura 9. media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo libero (H/V-01) e (H/V-02) nell’area di proprietà della ditta ‘Eurovo’, sita in Via Trupatello, Comune di Bagnara di Romagna (RA). Freccia nera: frequenza di risonanza fondamentale (F0) tipica dei terreni investigati.	14
Tabella 1. Dati tecnici dei profili sismici.	7
Tabella 2. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato. In appendice A sono riportati i valori numerici del profilo completo.	11
Tabella 3: picchi di frequenze di risonanza fondamentale di risonanza ottenute dalle prove HVSR.	13

Avvertenze

I dati forniti nella presente relazione si riferiscono esclusivamente alla situazione esistente al periodo di indagine.

La precisione dei metodi impiegati è limitata dagli errori sistematici delle procedure di indagine.

L'autore della presente relazione garantisce la riservatezza dei dati e delle informazioni contenute e si riserva, previa autorizzazione del committente dell'indagine, il diritto esclusivo della loro pubblicazione su riviste scientifiche nazionali ed internazionali.

1. PREMESSA

Su incarico dello studio Geologico Veronese di Codigoro (FE) è stata effettuata, in data 09 marzo 2022, una campagna d'indagine geofisica nell'area di proprietà della Ditta Eurovo s.r.l., sita in Via Trupatello 7, Comune di Bagnara di Romagna (RA). Scopo dell'indagine è quello di determinare: (1) la velocità di propagazione delle onde di taglio fino al possibile raggiungimento del substrato simico, eventualmente presente nell'aera, e (2) di valutare sperimentalmente la frequenza di risonanza dei terreni nell'area oggetto di questa indagine. A tale fine è stata impiegata la tecnica della sismica passiva ESAC per la determinazione della sequenza sismica delle onde di taglio lungo un profilo sismico (Tav. 1), e la tecnica dei rapporti spettrali H/V "microtremori" per la determinazione della frequenza (o periodo) di risonanza.

2. TECNICHE D'INDAGINE

2.1. SISMICA PASSIVA (ENHANCED SPATIAL AUTOCORRELATION "ESAC")

La risposta dinamica dei terreni sottoposti a sollecitazioni può essere ottenuta mediante l'analisi delle onde elastiche che si trasmettono nel sottosuolo. Come è noto, le sollecitazioni dinamiche generano diversi tipi di onde riconducibili a:

- a) onde di volume (P ed S) e
- b) onde superficiali (Rayleigh "R" e Love "L").

Le onde di maggiore interesse nella soluzione di molti problemi geotecnici legati al sistema sottosuolo-fondazione-struttura sono quelle comunemente indicate come onde di taglio di tipo "S", "R" e "L". Tali tipi di onde producono vibrazioni nelle particelle dei materiali costituenti il sottosuolo che al passaggio del treno d'onda risultano polarizzate lungo un piano perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda stessa. Ciò comporta la comparsa di sforzi di taglio successivamente, trasmissibili alle strutture in superficie ed, in alcuni casi, ad un conseguente danno alle stesse.

Il D.M. del 17 gennaio 2018 dal titolo “Nuove Norme tecniche per le costruzioni”, impone di classificare i terreni, su cui saranno eseguite opere edili di una certa rilevanza, sulla base del parametro $V_{S,eq}$. La classificazione dei terreni riporta cinque categorie, definite con simbologia alfanumerica da A ad E. A queste classe può essere necessario effettuare ulteriori integrazioni dove si passa alla stima sperimentale in termini quantitativi della risposta sismica dei terreni sottoposti ad un’accelerazione sismica attesa, predefinita per ciascuna classe. A questo scopo è stato calcolato il valore del parametro V_{S30} , che rappresenta la media ponderata dei valori delle velocità dell’onda di taglio “S” nei primi 30 m di sottosuolo indagato, matematicamente espressa da (eq. 1);

$$V_{s30} = \frac{H_n}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad eq.1,$$

dove,

V_{S30} : velocità media ponderata delle onde di taglio “S”,

H_n : profondità del tetto del substrato sismico, oppure pari a 30m V_{S30} ,

h_i : spessore dello strato iesimo,

V_i : velocità delle onde di taglio “S” nello strato iesimo.

Questo valore però non permette di raggiungere la profondità del substrato sismico nell’area che è a profondità maggiore.

Le tecniche geofisiche comunemente utilizzate per la determinazione di tale parametro sono essenzialmente di tre tipi:

- 1) prove in foro singolo (Down-Hole) o doppio (Cross-Hole),
- 2) sismica di superficie (rifrazione e riflessione) con energizzazione di onde polarizzate (SH),
- 3) tecniche mediante onde superficiali “R” e “L” (SASW, MASW e Microtremori Re.Mi., SPAC, MSPAC ed ESAC).

Le prime richiedono l'esecuzione di un sondaggio per permettere la determinazione del parametro. Le seconde, più costose, forniscono risultati di elevata qualità ma sono facilmente influenzate da rumori antropici che ne degradano le caratteristiche. Le ultime sono realizzate, ad eccezione della tecnica SASW, con procedure operative simili a quelle impiegate nella sismica a rifrazione.

La prova geofisica adottata per questa indagine appartiene alla terza categoria ed è consistita nell'applicazione della tecnica dei microtremori (Autocorrelazione Spaziale Migliorato "ESAC") che permette di ottenere con minor costo di processo il profilo verticale della velocità media delle onde di taglio "S" e contemporaneamente di raggiungere profondità superiori a 30 m favorendo in alcuni casi il raggiungimento del bedrock sismico - così come definito dalla normativa ($V_s \geq 800 \text{ m/s}$) - coadiuvando contemporaneamente l'interpretazione delle eventuali variazioni di rigidità sismica ($V_s^2 \times \rho$) dei terreni investigati.

Attraverso l'analisi delle onde superficiali "tipo Rayleigh R", che costituiscono un particolare tipo di onde superficiali trasmesse sulla superficie libera di un mezzo omogeneo ed isotropo, si ricava indirettamente la velocità delle onde di taglio "S" secondo l'equazione

$$V_R = \left(\frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) \times V_s$$

$$V_R \cong 0.92 V_s$$

dove,

eq.2,

V_R : velocità di fase delle onde Rayleigh,

V_s : velocità di propagazione dell'onda di taglio,

ν : rapporto di Poisson.

2.2. RAPPORTI SPETTRALI (H/V)

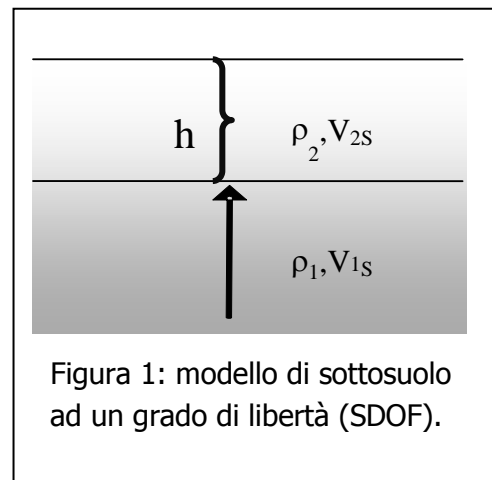
La risposta dinamica dei terreni sottoposti a sollecitazioni può essere ottenuta mediante l'analisi delle onde elastiche che si trasmettono nel sottosuolo.

Come è noto, le sollecitazioni dinamiche generano diversi tipi di onde riconducibili a:

- c) onde di volume (P ed S) e
- d) onde superficiali (Rayleigh “R” e Love “L”).

Le onde di maggiore interesse nella soluzione di molti problemi geotecnici legati al sistema sottosuolo-fondazione-struttura sono quelle comunemente indicate come onde di taglio di tipo “S”, “R” e “L”. Tali tipi di onde producono vibrazioni nelle particelle dei materiali costituenti il sottosuolo che al passaggio del treno d’onda sono polarizzate lungo un piano perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell’onda stessa. Ciò comporta la comparsa di sforzi di taglio successivamente trasmissibili alle strutture in superficie ed, in alcuni casi, ad un conseguente danno alle stesse.

Siccome la frequenza di risonanza propria dei terreni dipende dalla sequenza dei contrasti di impedenza elastica presenti nel sottosuolo (cioè dalla profondità) è possibile utilizzare la tecnica dei rapporti spettrali per risalire a tale parametro. Il lavoro fondamentale su questa specifica procedura fu pubblicato da Nakamura nel 1989; per questo motivo è chiamato anche “metodo di Nakamura” (Nakamura, 1989).



2.2.1. Il metodo HVSR (Horizontal Vertical Spectral Ratio)

È ben noto che quando un’onda elastica che si propaga nel sottosuolo passando da un mezzo con impedenza acustica/elastica $Z_1 = \rho_1 \cdot v_1$ (dove ρ è la densità e v la velocità di onde di volume P/S rispettivamente) ad un mezzo con impedenza acustica/elastica $Z_2 = \rho_2 \cdot v_2$, se $Z_2 < Z_1$ l’ampiezza dell’onda trasmessa nel secondo mezzo aumenta. Questo fenomeno dipende soltanto dall’angolo

d'incidenza e non dalla frequenza per le onde P, cioè tutte le singole componenti sinusoidali dell'onda vengono amplificate nella stessa misura. Per le onde S si dimostra invece che ha luogo un fenomeno di risonanza. Dato un sottosuolo formato da una copertura omogenea elastica di spessore h , poggiante su un substrato rigido (nella pratica un substrato è considerato rigido quando la sua V_{1S} supera 800 m/s), come in Figura 1, tali frequenze di risonanza sono date da (v. p. es. Lanzo e Silvestri, 1999):

$$f_n = \frac{V_{2S}(2n-1)}{4h}, n = 1, 2, \dots, \infty, \quad \text{eq. 3,}$$

Ad esempio, per una copertura elastica spessa 50 m con V_{2S} di 200 m/s (velocità tipica di un sedimento sciolto), $f_1=1$ Hz, $f_2= 3$ Hz e così via. Si tratta di campi di frequenze coincidenti con quelli delle costruzioni. L'ampiezza di oscillazione alle frequenze di risonanza tende all'infinito per un mezzo puramente elastico. È da notare che ciò non avviene mai nella pratica in quanto tutti i mezzi materiali hanno un comportamento visco-elastico. Ciò comporta uno smorzamento progressivo dell'ampiezza trasmessa $A(f_n)$ alla frequenza di risonanza, al crescere di questa, secondo la relazione:

$$A(f) = \frac{2}{(2n-1)} \cdot \frac{G}{\pi^2 \eta f}, \quad \text{eq. 4,}$$

dove, G è il modulo di rigidità, η il coefficiente di viscosità, f la frequenza ed n è il numero del modo di vibrazione (cioè armoniche superiori).

Poiché sia le onde di Love che la componente orizzontale delle onde di Rayleigh si formano per interferenza costruttiva delle onde S, quanto detto vale con ottima approssimazione anche per tali onde, purché il sottosuolo sia tabulare, cioè a strati piano/paralleli. Questo è un fatto particolarmente fortunato perché significa che basta registrare il rumore sismico ambientale, dove è ampiamente prevalente l'energia associata alle onde superficiali, per avere un'informazione precisa (nei limiti summenzionati) delle frequenze di risonanza. Questa, infatti, si ottiene con 3 semplici passaggi:

1. registrando in un punto per un certo tempo le 3 componenti del moto delle particelle del terreno (la verticale $V(t)$ e due orizzontali ortogonali tra loro:

NS(t), EW(t)) con un sismometro a frequenza propria inferiore al campo di frequenze di interesse;

2. calcolandone i rispettivi spettri di Fourier $V(f)$, $EW(f)$ e $NS(f)$ ¹

$$\frac{\sqrt{|NS(f)|^2 + |EW(f)|^2}}{|V(f)|}, \quad \text{eq. 5,}$$

3. facendo il rapporto detto per l'appunto HVSR, acronimo di Horizontal over Vertical Signal Ratio.

Si richiama l'attenzione del lettore su 2 fatti:

1. che non è possibile, conoscendo soltanto la frequenza di risonanza, determinare contemporaneamente la V_s dello strato elastico e la profondità h del substrato rigido: questi due parametri del sottosuolo compaiono in un prodotto, e quindi la loro determinazione è impossibile senza informazioni di altra origine;
2. trattandosi di un metodo statistico, l'ampiezza alla frequenza di risonanza può essere affetta da un ampio margine di incertezza. L'ampiezza effettiva può essere stimata solo utilizzando un segnale deterministico, come quello di un terremoto.

3. ACQUISIZIONE DATI

3.1.DATI ESAC

L'area oggetto di indagine è stata investigata in data 09/03/2022 mediante l'esecuzione di n.1 profilo sismico tipo "ESAC" (**Tav. 1**) della lunghezza complessiva di 172,5m (Tabella 1).

Per l'acquisizione dei dati è stato impiegato un sismografo digitale RAS 24 – Seistronix (ABEM) con 24 geofoni verticali con frequenza naturale pari a 4,5 Hz, equidistanziati 7,5 m. La lunghezza temporale di ogni registrazione è stata pari a 32 secondi con passo di campionamento di 2 ms. In Figura 2 è riportato

¹ È d'uso indicare con la stessa lettera maiuscola la trasformata di Fourier di una funzione, indicata con la lettera minuscola.

uno esempi di acquisizione composto da 24 tracce sismiche secondo la geometria delle due antenne sismiche utilizzate (Fig. 3).

Tabella 1. Dati tecnici dei profili sismici.

Sigla	Lunghezza (m)	Passo intergeofonico (m)	Orientazione
Profilo 1	172,5*	7,5	44.389321°N 11.840010°E WNW-----+----SSW
*geometria a forma di L			

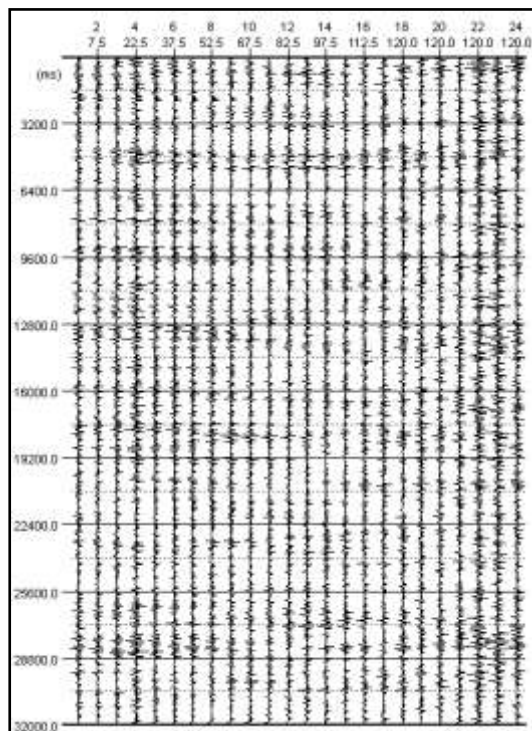


Figura 2. Esempio sismogramma sperimentale (BagR_106.dat) acquisito lungo il profilo sismico. Le linee verticali rappresentano i sismogrammi registrati utilizzando geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz.

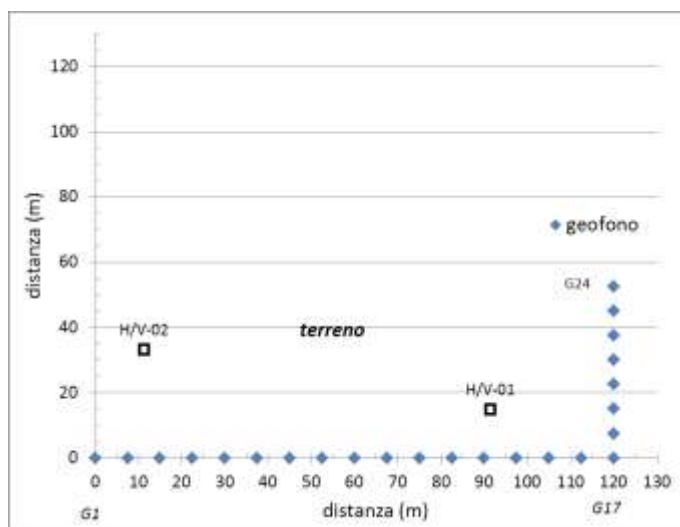


Figura 3. Geometria delle antenne sismiche utilizzate. Colore blu: profilo sismico. Scala assi diversa. HV-01: ubicazione prova dei rapporti spettrali dei microtremori.

3.2.DATI H/V

Il sito oggetto d'indagine è stato investigato, in data 09/03/2022, mediante l'esecuzione di n.2 prove H/V (TAV-1).

Per l'acquisizione dati è stato impiegato un data logger a 24 bit collegato ad un sismometro 3D modello Sensor (S₃S₂, M.A.E. Apparecchiature Elettroniche srl. di Frosolone, Molise). La lunghezza temporale delle registrazioni è pari a 60 minuti con passo di campionamento di 250 Hz (in figura 5 si riporta un esempio di acquisizione).

Tabella 2: dettagli delle prove dei rapporti spettrali 'microtremori' (H/V) effettuate nell'area oggetto dello studio.

Sigla	Località	Comune	Durata (min.)	posizione
HV-01	Terreno incolto (campo libero)	Eurovo s.r.l. B. di Romagna (RA)	60	S dell'edificio vicino al Geof. n. 13 44.389117°N, 11.840138°E
HV-02	Terreno incolto (campo libero)		45	S dell'edificio vicino al Geof. n. 2 44.388471°N 11.839423°E



Figura 4: particolari delle prove dei rapporti spettrali "H/V-01-02" effettuate nell'area.

4. ANALISI DATI

4.1.DATI ESAC

L'analisi delle tracce sismiche registrate è basata sull'impiego della tecnica di analisi denominata "autocorrelazione spaziale migliorata (ESAC)". Tale tecnica considera il rumore sismico di essere generato da una distribuzione uniforme di sorgenti (cioè non esistono sorgenti dominanti).

La procedura di analisi è basata sulla teoria elaborata da Aki (1959) secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni di un rumore isotropo effettuate su sensori verticali distribuiti nelle diverse direzioni a parità distanza r da un sensore di riferimento, ha una forma simile a quella della funzione di Bessel di ordine 0. Egli deduce che tale forma (equazione 3) è funzione del valore della velocità di fase (VR) per ogni copia di frequenza e distanza:

$$\rho(r, \omega_0) = J_0 \left(\frac{\omega r}{c(\omega_0)} \right) \quad eq.6$$

dove,

$\rho(r, \omega_0)$: coefficiente di autocorrelazione

J_0 : funzione di Bessel di tipo I ed ordine zero

$C(\omega_0)$: velocità di fase delle onde Rayleigh in funzione della frequenza

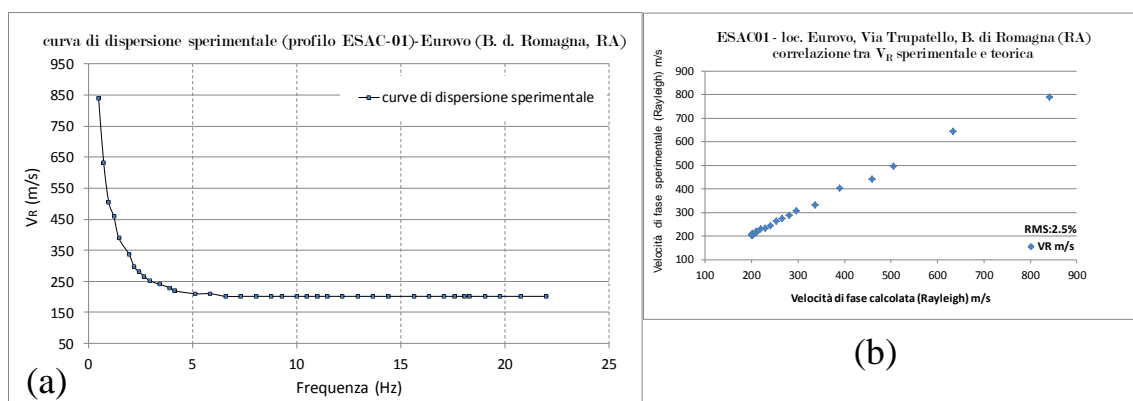


Figura 5. Curva di dispersione sperimentale del profilo sismico ottenuto dall'analisi spettrale mediante la tecnica tau-p (a). In (b) si illustra il buon confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

Il risultato di tale analisi rappresenta il cosiddetto spettro di potenza da cui si ottiene la curva di dispersione sperimentale delle onde “R” (figura 5a) e successivamente, attraverso una procedura di modellazione numerica, la determinazione delle velocità delle onde di taglio “S” (figura 7).

4.1. DATI RAPPORTI SPETTRALI (H/V)

L’analisi delle serie temporali è proceduta seguendo i punti 2 e 3 del paragrafo 2.2.1. La figura 6 illustra le tracce sismiche dei sismogrammi registrati: H/V-01 e H/V-02 (TAV. 1).

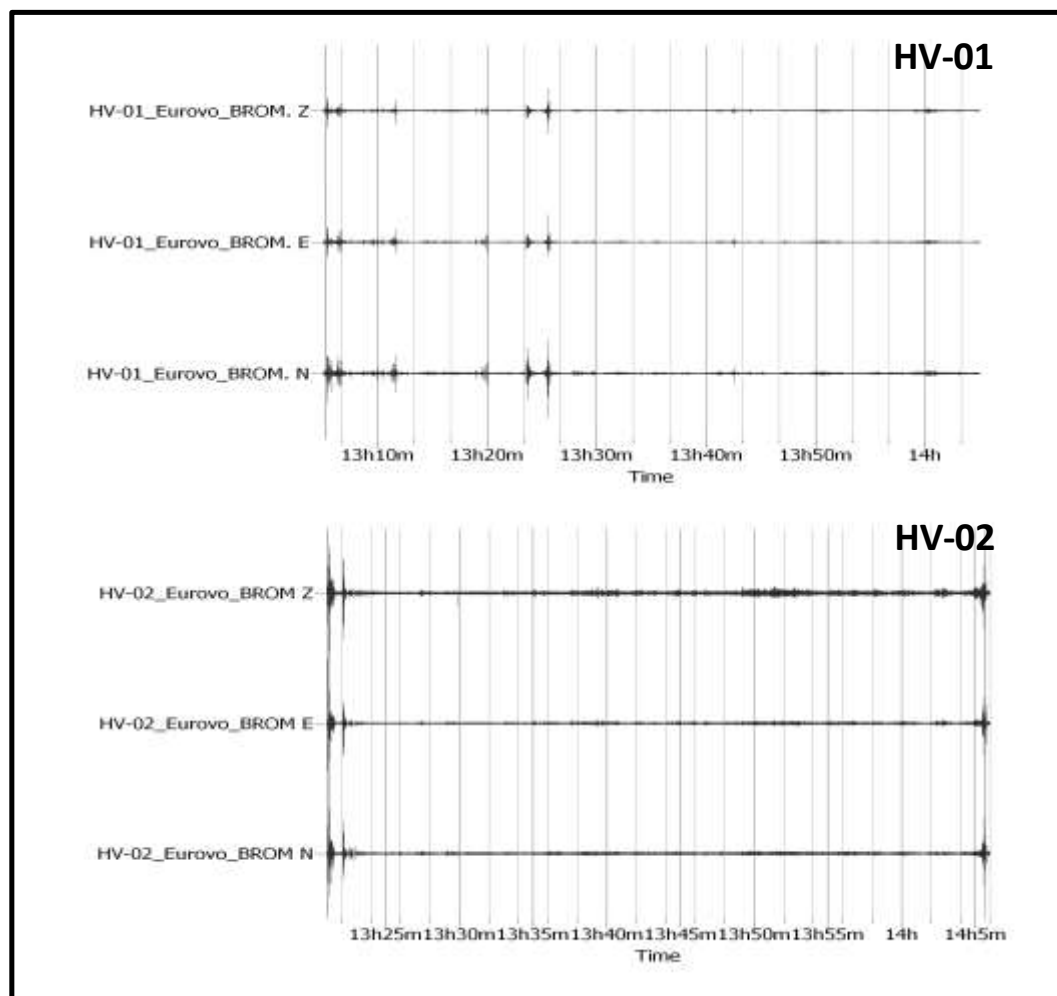


Figura 6. Sismogrammi relativi alle due prove H/V (microtremori) effettuate, in campo libero (H/V-01, in alto) e (H/V-02, in basso), nell’area oggetto di indagine sita nell’area di proprietà della ditta ‘Eurovo’, V. Trupatello 7, Comune di Bagnara di Romagna, RA). Z: componente verticale, E: componente orizzontale in direzione E-W e N: componente orizzontale in direzione N-S.

5. RISULTATI

5.1. PROVA ESAC

Il modello sismico V_s ottenuto dall'interpretazione quantitativa della curva di dispersione (figura 5) e riportata in figura 7. Il modello numerico fino a 30 metri è riportato in Tabella 2, mentre quello completo fino a 365 m è riportato in Appendice A. Il modello sismico così ottenuto ha raggiunto valori attribuibili a substrato sismico ($V_s \geq 800$ m/s), compresi tra 210 m/s e 929 m/s, alla profondità di 365 m.

In figura (8) si riporta l'andamento del profilo di rigidità dinamica (G_0 o G_{max}) con la profondità.

Tabella 2. Modello sismico (Onde S) del sottosuolo investigato. In appendice A sono riportati i valori numerici del profilo completo.

ESAC01	PROFILO sismico fino a 32 metri		
	(modello numerico fino a 365 metri è riportato in Appendice A)		
Sismo-strato	Velocità (m/s)	Profondità letto (m)	Spessore (m)
1	215.0	2.5	0.0
2	214.7	5.1	2.6
3	213.2	7.8	2.7
4	210.2	10.6	2.8
5	216.2	13.4	2.8
6	214.0	16.3	2.9
7	222.8	19.3	3.0
8	233.3	22.4	3.1
9	245.3	25.5	3.1
10	245.4	28.7	3.2
11	258.7	32.0	3.3

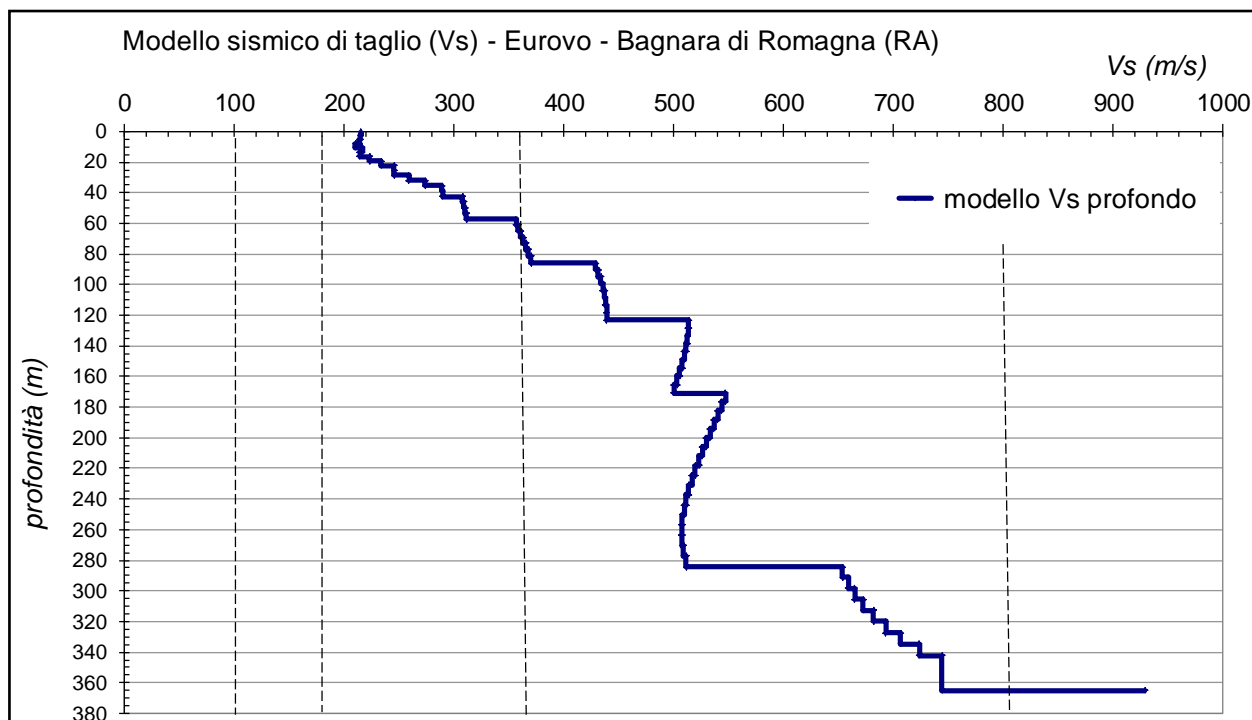


Figura 7. Il profilo verticale VS ottenuto per l'area indagata dal profilo sismico.

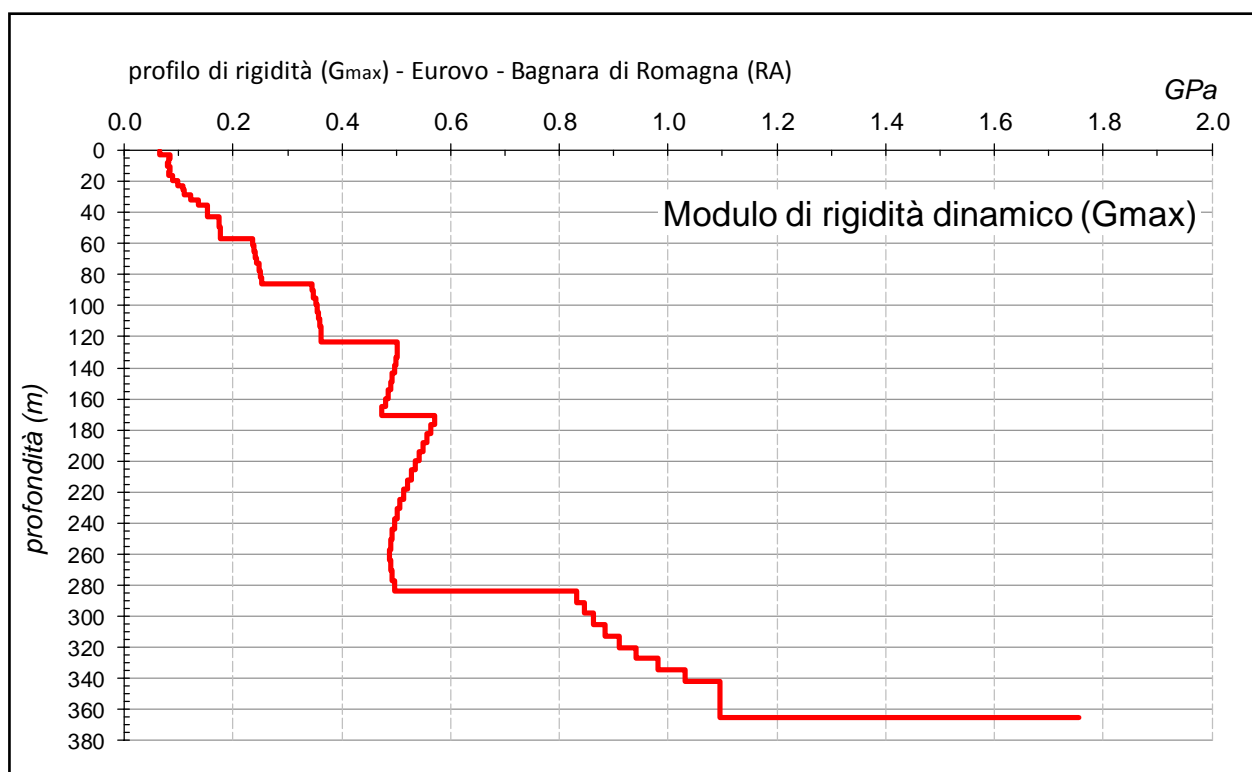


Figura 8. Il profilo verticale G_{max} (μ : modulo di rigidità dinamico) dell'area indagata dal profilo sismico, ottenuto dal profilo di velocità (Vs) mediante l'equazione $\mu = \rho * Vs^2$.


5.1. PROVE DEI RAPPORTI SPETTRALI (H/V)

I risultati ottenuti, utilizzando il codice di calcolo Geopsy (vers. 2.9, 2015), sono riportati in figura 9. Mentre le frequenze di risonanze ottenute sono riportate in Tabella 3. Le curve spettrali medi delle singole prove sono riportate in Appendice B.

Tabella 3: picchi di frequenze di risonanza fondamentale di risonanza ottenute dalle prove HVSR.

prova H/V	Frequenza (Hz)	Valore Frequenza	Periodo T_0 (sec)	Ampiezza (A)
Località: (Eurovo), Comune: Bagnara di Romagna (RA)				
01*	F_0	$0,836 \pm 0,008$	1,196	2,1
02*	F_0	$0,848 \pm 0,009$	1,179	2,1
media	F_0	$0,842 \pm 0,009^*$	1,188*	2,1*
*prova effettuata in campo libero.				

I risultati ottenuti permettono di formulare quanto segue:

- la frequenza di risonanza fondamentale con rapporto H/V medio di 2,1, tipica dei siti investigati è denominata **F_0** (Tabella 3), risulta essere pari a:
 **0,842 Hz** (periodo di risonanza medio: **1,188 secondi**) per il sito oggetto di studio. Questo valore suggerisce la presenza di una discontinuità elastica collocata a circa **123 ± 5 m** come risulta dal modello sismico di Vs (Fig. 7).

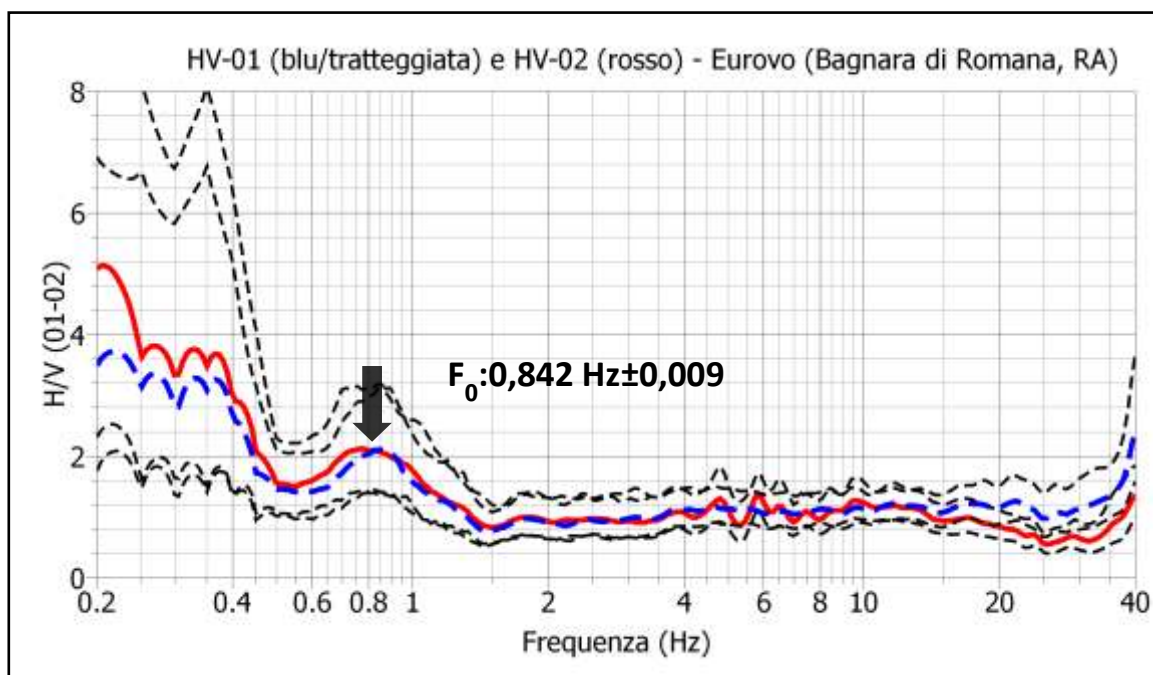


Figura 9. media dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate in campo libero (H/V-01) e (H/V-02) nell'area di proprietà della ditta 'Eurovo', sita in Via Trupatello, Comune di Bagnara di Romagna (RA). Freccia nera: frequenza di risonanza fondamentale (F_0) tipica dei terreni investigati.

6. CONCLUSIONI

Le indagini geofisiche effettuate nel periodo **09 marzo 2022** con le tecniche dei microtremori "ESAC" e rapporti spettrali (H/V) ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta (365m) e di determinare la frequenza di risonanza fondamentale del terreno dei siti investigati.

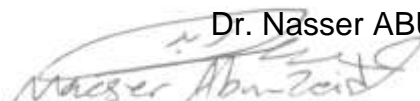
L'analisi del modello sismico evidenzia la presenza di numerosi sismo-strati con andamento crescenti. L'indagine sismica ha raggiunto il substrato sismico, definito come $V_s \geq 800$ m/s. Il valore massimo di V_s ottenuto è pari a 929 m/s in corrispondenza di 365 m di profondità.

In Figura (8) si riporta la variazione del modulo di rigidità dinamico (G_{max} o G_0) ricavato dal corrispondente profilo sismico di taglio (valori di densità utilizzate sono compresi tra 1.800,0 kg/m³ e 2.000,00 per tutti i sismo strati ad accensione del primo ove il valore è pari a 1.40,0 kg/m³).



L'indagine dei microtremori (rapporti spettrali: H/V o "Nakamura") ha consentito di determinare la frequenza (**F₀**) tipica di risonanza dei terreni investigati. Essa risultata essere pari ad un valore medio di **0,848 Hz** (**T=1,188sec**).

Tecnico:

Dr. Nasser ABU ZEID


7. BIBLIOGRAFIA

Matlab, 2007b: Codice di calcolo numerico, Mathworks, USA.

Nakamura Y., 1989: A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Technical Research Institute, 30, 25-33.

McMechan, G. A. e Yedlin, M. J., 1981. *In situ shear wave velocities from spectral analysis of dispersive waves by wave field transformation*. Geophysics, v. 46:869-874.

Lanzo G., Silvestri F., 1999: Risposta sismica locale. Hevelius edizioni, Benevento, pp. 159.

SeisOpt® ReMi, 2006. ReMiv4.0 user's manual. Optim, Inc., N. Virginia, USA, 85 p.

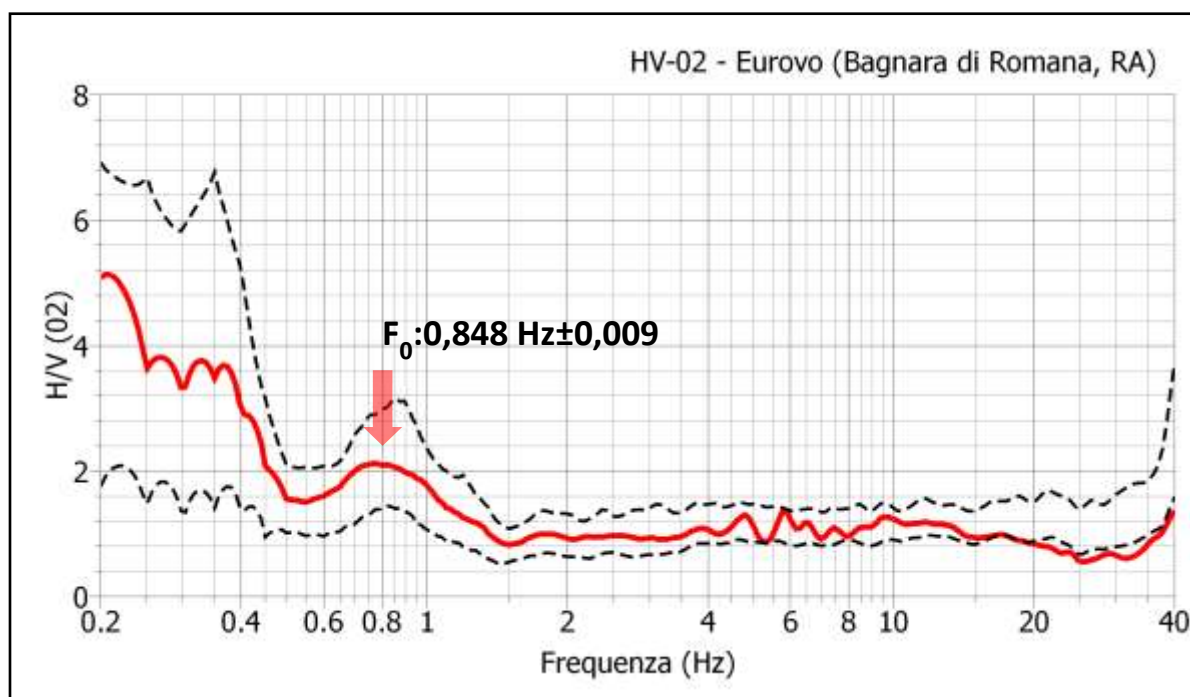
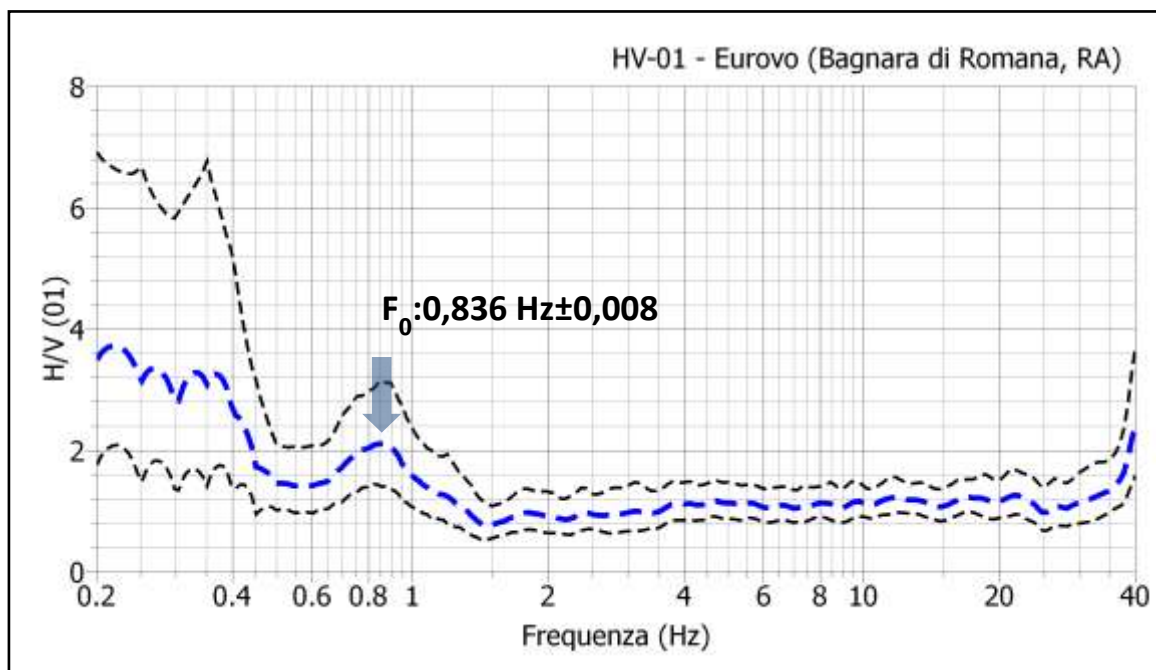
Appendice A

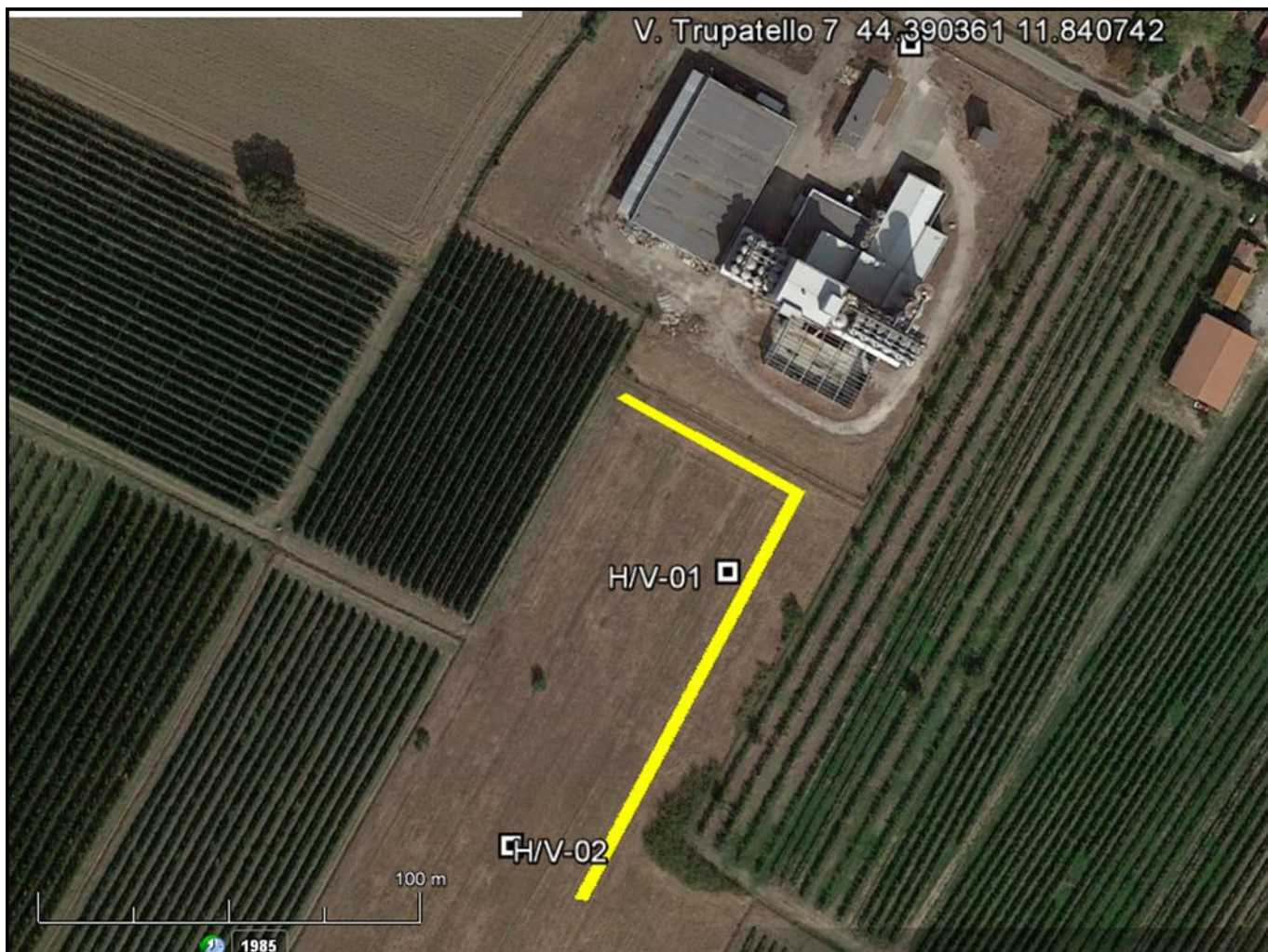
ESAC-01	PROFILO sismico fino a 365 metri		
Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
1	2.5	215.0	0.0
2	5.1	214.7	2.6
3	7.8	213.2	2.7
4	10.6	210.2	2.8
5	13.4	216.2	2.8
6	16.3	214.0	2.9
7	19.3	222.8	3.0
8	22.4	233.3	3.1
9	25.5	245.3	3.1
10	28.7	245.4	3.2
11	32.0	258.7	3.3
12	35.4	273.4	3.4
13	38.8	289.0	3.4
14	42.3	289.3	3.5
15	45.9	307.9	3.6
16	49.5	308.6	3.7
17	53.3	309.9	3.7
18	57.1	311.4	3.8
19	60.9	356.5	3.9
20	64.9	358.5	4.0
21	68.9	360.7	4.0
22	73.0	363.1	4.1
23	77.2	365.5	4.2
24	81.5	367.8	4.3
25	85.8	370.2	4.3

ESAC-01 Sismo-strato	Profondità letto (m)	Velocità (m/s)	Spessore (m)
26	218.2	523.0	6.2
27	224.5	519.7	6.3
28	230.8	516.5	6.3
29	237.2	513.7	6.4
30	243.7	511.3	6.5
31	250.3	509.3	6.6
32	256.9	507.9	6.6
33	263.6	507.3	6.7
34	270.4	507.5	6.8
35	277.3	508.7	6.9
36	284.2	511.3	6.9
37	291.2	653.8	7.0
38	298.3	658.9	7.1
39	305.5	665.1	7.2
40	312.7	672.8	7.2
41	320.0	682.1	7.3
42	327.4	693.3	7.4
43	334.9	707.0	7.5
44	342.4	723.9	7.5
45	365.2	744.6	22.8
46	-	929.1	-

Appendice B

Curve medie dei rapporti spettrali (H/V) delle due prove effettuate nell'area oggetto di studio.





Profilo sismico ESAC



Prova H/V

44.389321°N 11.840010°E

Tavola 1

ALLEGATO C

CERTIFICATI CAROTAGGIO CONTINUO

COMUNE DI BAGNARA DI ROMAGNA (RA)

Variante alla Pianificazione Territoriale e Urbanistica dell'area oggetto di ammodernamento di impianto per la produzione di mangimi in ottica 4.0 (mangime Bio/Ogm) sito in via Trupatello a Bagnara di Romagna (Ra). Riferimenti catastali foglio 7 mappale 149 e 65 del comune di Bagnara di Romagna (Ra).

COMMITTENTE: Gruppo Eurovo

LOCALITÀ: Bagnara di Romagna (RA)

REPORT FOTOGRAFICO - STRATIGRAFICO



Sondaggio S1

MACCHINA PERFORATRICE:

macchine operatrici	caratteristiche tecniche
<ul style="list-style-type: none">• HYDRA JOY 2	Velocità di Rotazione: 0 ~ 600 rpm; Motore potenza: 100 hp a 1800 rpm; Coppia Massima: 600 kgm; Corsa Utile: 3000 mm;



Figura 1: posizionamento sonda per esecuzione sondaggio S1



Figura 2: cassa 1 (0,0 – 5,0m)



Figura 3: cassa 2 (5,0 – 10,0m)



Figura 4: cassa 3 (10,0 – 15,0m)



Figura 5: cassa 4 (15,0 – 20,0m)



Figura 6: cassa 5 (20,0 – 25,0m)

ELENCO DEI CAMPIONI PRELEVATI:

- OST n.1 prof. 3,00 – 3,45m
- C.R. n.1 prof. 3,45 – 3,75m
- OST n.2 prof. 12,00 – 12,70m
- C.R. n.2 prof. 15,00 – 15,60m
- OST n.3 prof. 22,30 – 23,00m

Committente: Eurovo	Sondaggio: S1
Riferimento: Bagnara di Romagna	Data: 03/02/2022
Coordinate: 44.389471° 11.840295°	Quota: 25 m
Perforazione: carotaggio continuo	

SCALA 1:100






STRATIGRAFIA - S1

Pagina 1/2

metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	prof. m	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test			
							m	S.P.T.	N	AlPzRv
			0.2	Terreno vegetale						
1			0.8	Limo argilloso, colore marrone						
2				Argilla a tratti debolmente limosa con conrezioni carbonatiche, colore nocciola						
3		1) Ost < 3.00 2) Rim < 3.45	3.0							
			3.5	Osterberg 1						
4			3.7	Rimaneggiato 1						
			4.5	Argilla debolmente limosa con conrezioni carbonatiche, colore nocciola	4.5	>1.2				
5				Argilla limosa, colore nocciola	1.9	0.6				
			5.3	Argilla con conrezioni carbonatiche, colore nocciola	1.6	0.7				
6			6.0		4.1	>1.2				
			6.4	Argilla limosa, colore nocciola						
7				Argilla con conrezioni carbonatiche, colore grigio	2.2	0.98				
			7.3		1.9	0.9				
			7.8	Argilla debolmente limosa con conrezioni carbonatiche, colore nocciola	2.7	>1.2				
8				Argilla limosa, colore nocciola	3.1	>1.2				
			8.8		3.9	0.6				
9			9.5	Sabbia limosa-argillosa, colore grigio						
			10.4	Argilla a tratti debolmente limosa, colore nocciola	2.1	0.64				
10				Sabbia argillosa-limosa, colore nocciola	2	>1.2				
			12.0		1.5	0.54				
12		3) Ost < 12.00 12.70		Osterberg 2						
			12.7	Sabbia argillosa-limosa, colore nocciola						
13			14.6							
			15.0	Sabbia medio-fine, colore grigio						
15		4) Rim < 15.00 15.60		Rimaneggiato 2						
			15.6	Sabbia medio-fine, colore grigio						
16										
17										
18			18.3							
				Argilla a tratti debolmente limosa, colore nocciola	1.5	0.66				
19			19.1		1.4	0.57				
			19.5	Argilla limosa passante a debolmente limosa, colore nocciola	0.9	0.37				
20				Sabbia argillosa-limosa, colore nocciola						

Committente: Eurovo	Sondaggio: S1
Riferimento: Bagnara di Romagna	Data: 03/02/2022
Coordinate: 44.389471° 11.840295°	Quota: 25 m
Perforazione: carotaggio continuo	

SCALA 1 :100	STRATIGRAFIA - S1	Pagina 2/2
--------------	--------------------------	------------

metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	prof. m	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test				
							m	S.P.T.	N	A _p	R _v
21			20.3	Sabbia argillosa-limosa, colore nocciola	1.8	0.98					
			20.7	Argilla, colore nocciola							
				Sabbia argillosa-limosa, colore nocciola							
22		5) Ost	22.30								
			22.30	Osterberg 3							
			23.00								
23			23.0								
			23.3	Sabbia limosa, colore grigio							
				Argilla, colore grigio scuro							
24			24.2		2	0.74					
				Argilla passante a argilla limosa, colore nocciola	4.5	>1.2					
25			25.0		4.3	>1.2					

prelevati 3 campioni indisturbati e 2 rimaneggiati:

- Osterberg 1 (3.00 - 3.45)
- Rimaneggiato 1 (3.45 - 3.70)
- Osterberg 2 (12.00 - 12.70)
- Rimaneggiato 2 (15.00 - 15.60)
- Osterberg 3 (22.30 - 23.00)

ALLEGATO D

CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

COMUNE DI BAGNARA DI ROMAGNA (RA)

Variante alla Pianificazione Territoriale e Urbanistica dell'area oggetto di ammodernamento di impianto per la produzione di mangimi in ottica 4.0 (mangime Bio/Ogm) sito in via Trupatello a Bagnara di Romagna (Ra). Riferimenti catastali foglio 7 mappale 149 e 65 del comune di Bagnara di Romagna (Ra).



Via Pastrengo, 9 – 24068 Seriate (Bg)
Tel: 035 303120
Fax: 035 303120
E-mail: ismgeo@ismgeo.it

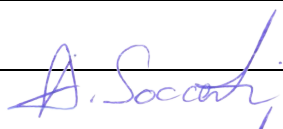

Istituto
Sperimentale
Modelli
GEOtecnici

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

BAGNARA DI ROMAGNA (RA)

PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Prog. L001; Doc. RAT 142/2022

Redatto da:	Andrea Saccenti 	29/04/2022
Rivisto e Approvato da:	Andrea Saccenti 	

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	29/04/2022	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST1
Profondità prelievo [m]:	3.00 – 3.45
Data prova:	



D.P.R. 06.06.2001 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A e B

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	21/04/2022	Angeloni	Saccenti

N° verbale di accettazione: 020/2022

N° certificato di prova:

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST1
Profondità prelievo [m]:	3.30 - 3.45
Prova:	Dc
Data fine descrizione:	21/04/2022

Dati Generali del Campione

Tipo contenitore: Fustella INOX
 Forma campione: -
 Dimensioni Campione: $\Phi =$ - cm L= - cm
 Classe del terreno: 4

Descrizione

(Normativa di riferimento: AGI 1977)

Limo con argilla con tracce di sabbia con tracce di ghiaia

Risultati caratteristiche generali

Prova	Risultato della prova	Normativa di riferimento	N° certificato di prova
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
Gr 1	-	ASTM D422/90	

Note:

-

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	21/04/2022	Angeloni	Saccenti

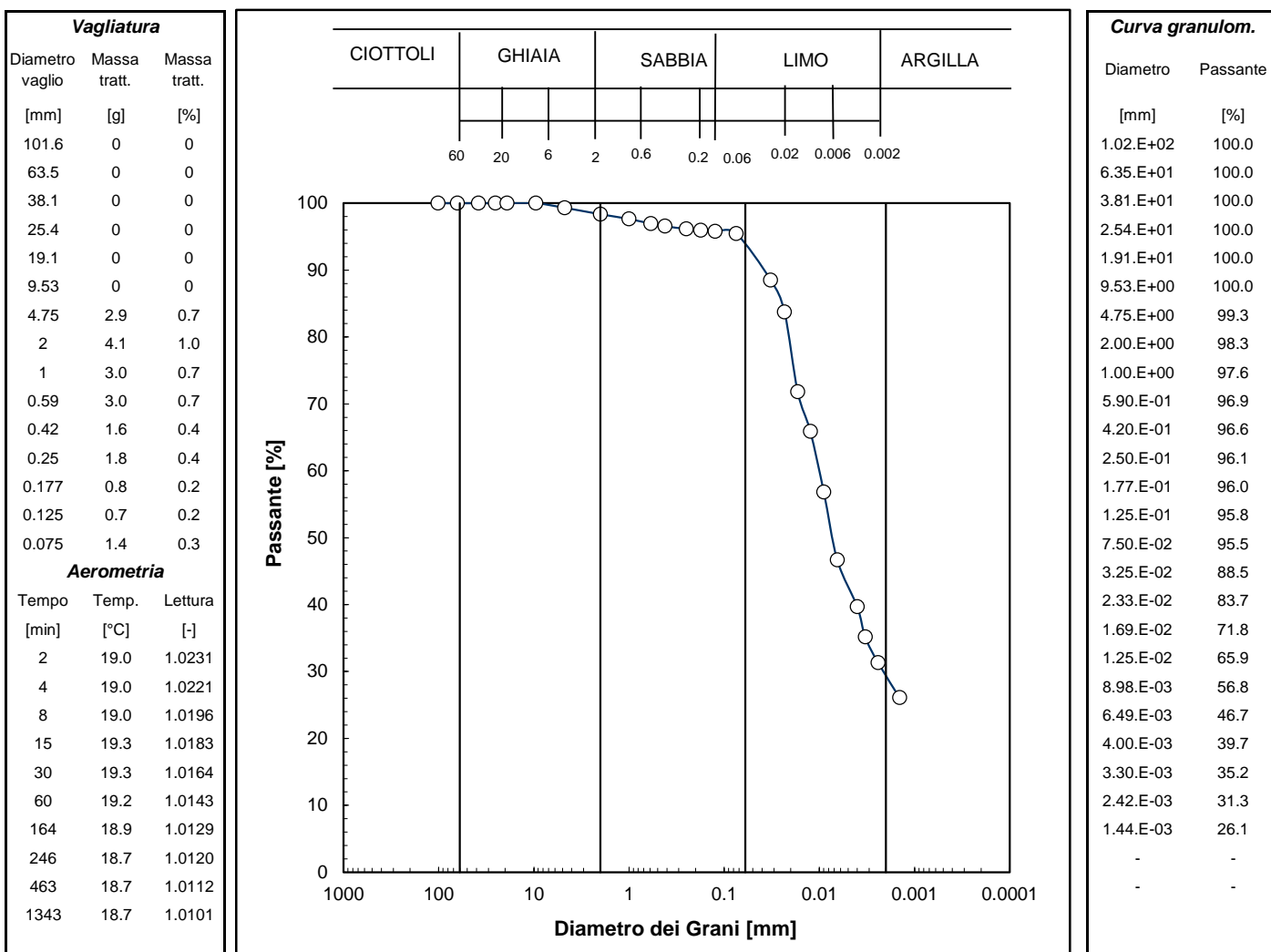
Normativa di riferimento: ASTM D422

Classificazione di riferimento: AGI 1977

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST1
Profondità prelievo [m]:	3.3 - 3.45
Prova:	Gr 1
Data prova:	12/04/2022



Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	3.30	3.45	421.9	VIA UMIDA	95	-	2	5	64	29	32	1.79	1.0.E-02	7.2.E-03

NOTE:

Sperimentatore: Diaby
Direttore: Saccenti
Data emissione: 12/04/2022
Rev.

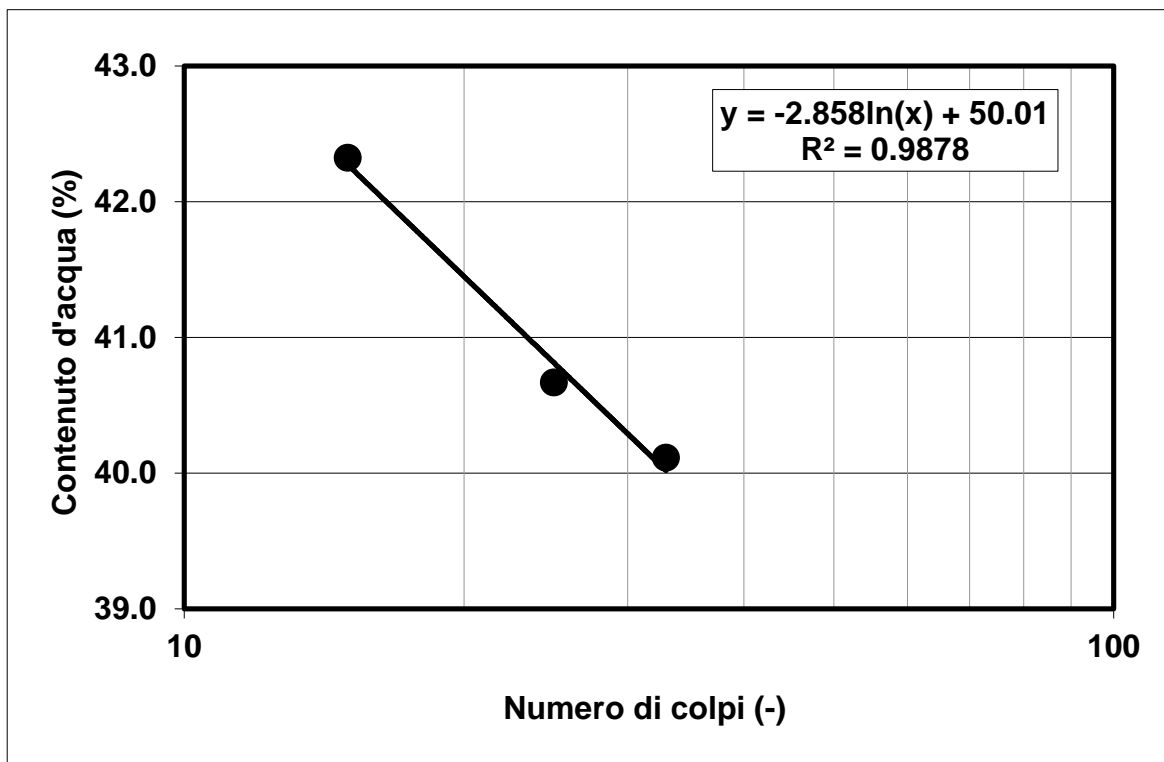
Normativa di riferimento: ASTM D4318
N° certificato di prova:
N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente: EUROVO
Cantiere: BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio: S1
Campione: OST1
Profondità prova [m]: 3.30 - 3.45
Prova: LLP1
Data prova: 06/04/2022

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi	33	25	15
massa tara (g)	22.25	21.50	22.43
massa umido + tara (g)	44.78	52.70	48.66
massa secco + tara (g)	38.33	43.68	40.86
umidità (%)	40.11	40.67	42.32

Limite Plastico		
massa tara (g)	22.24	22.64
massa umido + tara (g)	34.36	33.84
massa secco + tara (g)	32.02	31.71
umidità (%)	23.93	23.48

LL (%)	40.8
LP (%)	23.7
IP (%)	17.1



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

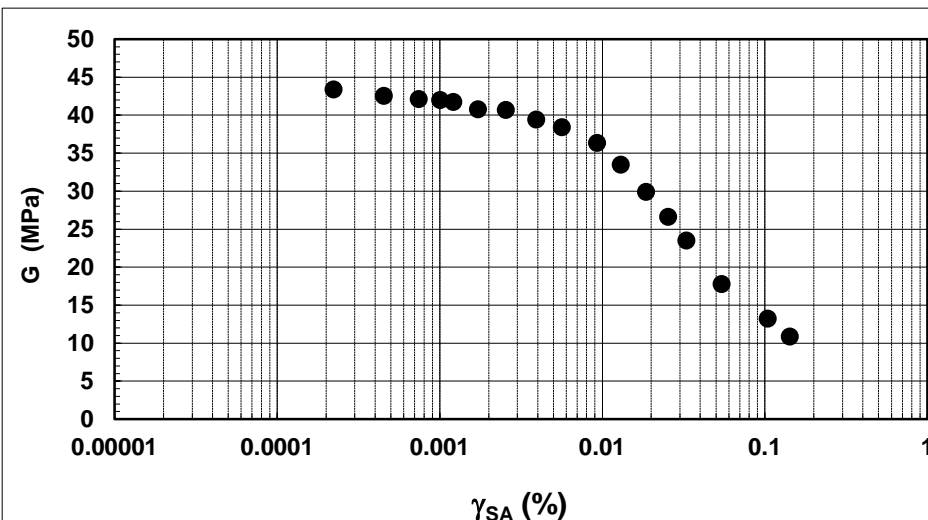
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST1
Profondità prova [m]:	3.35 - 3.45
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	13/04/2022

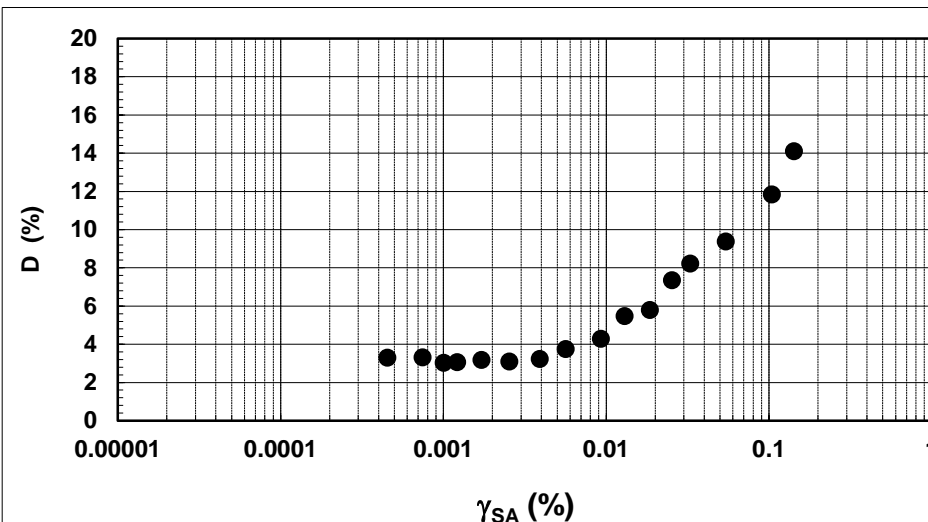
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione											Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	INDISTURBATO
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE
50.00	101.10	19.15	26.6	0.752	50	50	1.0	300.0	0.90	50.0	101.1	19.27	27.5	0.752	99	superficie di appoggio	PIETRA POROSA
																eccitazione	TORSIONALE
																peso specifico (-)	2.700



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ'_r / σ'_a
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:

Prova eseguita alla minima tensione di non rigonfiamento.

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

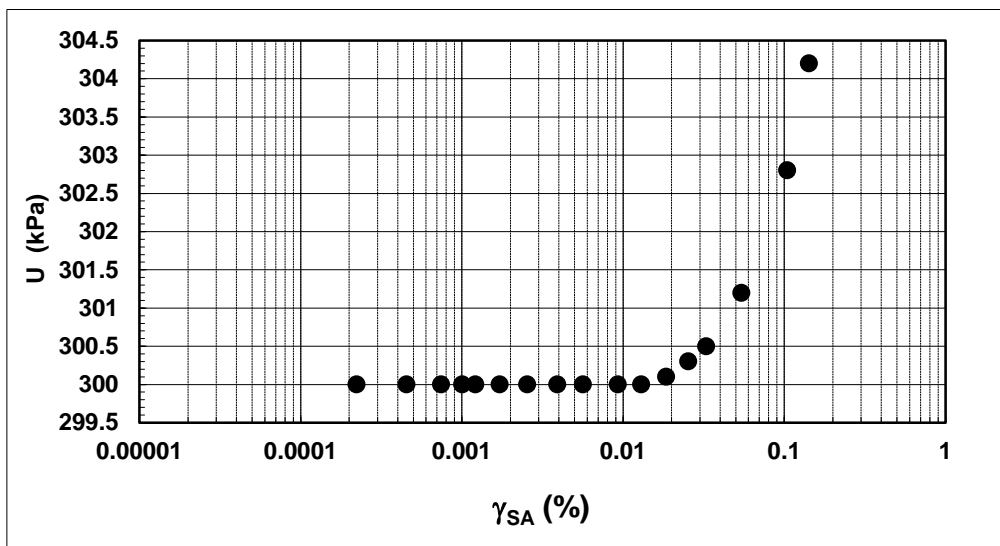
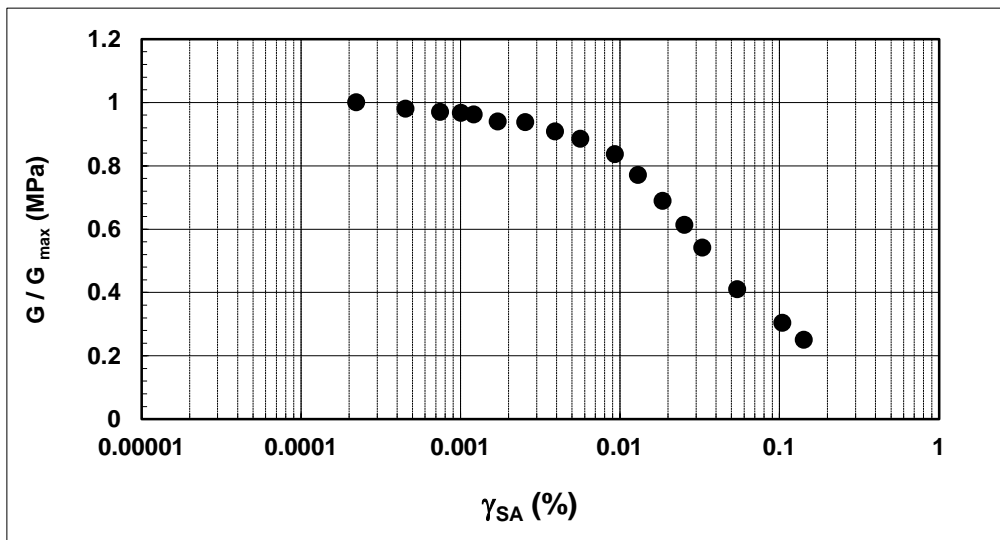
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST1
Profondità prova [m]:	3.35 - 3.45
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	13/04/2022

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	INDISTURBATO
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE
50.00	101.10	19.15	26.6	0.752	50	50	1.0	300.0	0.90	50.0	101.1	19.27	27.5	0.8	99	superficie di appoggio	PIETRA POROSA
																eccitazione	TORSIONALE
																peso specifico	2.700



Note:	
--------------	--

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST1
Profondità prova [m]:	3.35 - 3.45
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	13/04/2022

Dati generali dei provini

Dati iniziali						Dati di prova										Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e		σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e		
mm	mm	kN/m ³	%	-		kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-		
50.00	101.10	19.15	26.6	0.752		50	50	1.0	300.0	0.90	50.0	101.1	19.27	27.5	0.752		tipo di provino INDISTURBATO
																	metodo di preparazione FUSTELLAZIONE
																	superficie di appoggio PIETRA POROSA
																	eccitazione TORSIONALE

Valori numerici

G	G/G _{MAX}	γ	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
43.38	1.000	0.00022		300.0
42.53	0.980	0.00045	3.29	300.0
42.08	0.970	0.00075	3.31	300.0
41.95	0.967	0.00101	3.02	300.0
41.73	0.962	0.00121	3.06	300.0
40.75	0.939	0.00172	3.17	300.0
40.68	0.938	0.00255	3.08	300.0
39.40	0.908	0.00392	3.23	300.0
38.39	0.885	0.00565	3.75	300.0
36.32	0.837	0.00930	4.27	300.0
33.46	0.771	0.01298	5.47	300.0
29.89	0.689	0.01856	5.78	300.1
26.58	0.613	0.02541	7.34	300.3
23.47	0.541	0.03288	8.21	300.5
17.77	0.410	0.05430	9.38	301.2
13.19	0.304	0.10424	11.83	302.8
10.85	0.250	0.14234	14.10	304.2

Legenda:

Φ = diametro del provino

H = altezza del provino

γ_w = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

σ' = tensioni efficaci

K = σ_r / σ_a

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	29/04/2022	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST2
Profondità prelievo [m]:	12.00 – 12.70
Data prova:	



D.P.R. 06.06.2001 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A e B

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	27/04/2022	Angeloni	Saccenti

N° verbale di accettazione: 020/2022

N° certificato di prova:

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST2
Profondità prelievo [m]:	12.60 - 12.70
Prova:	Dc
Data fine descrizione:	27/04/2022

Dati Generali del Campione

Tipo contenitore: Fustella INOX
 Forma campione: -
 Dimensioni Campione: $\Phi =$ - cm L= - cm
 Classe del terreno: 4

Descrizione

(Normativa di riferimento: AGI 1977)

Sabbia limosa debolmente argillosa

Risultati caratteristiche generali

Prova	Risultato della prova	Normativa di riferimento	N° certificato di prova
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
Gr 1	-	ASTM D422/90	

Note:

-

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	27/04/2022	Angeloni	Saccenti

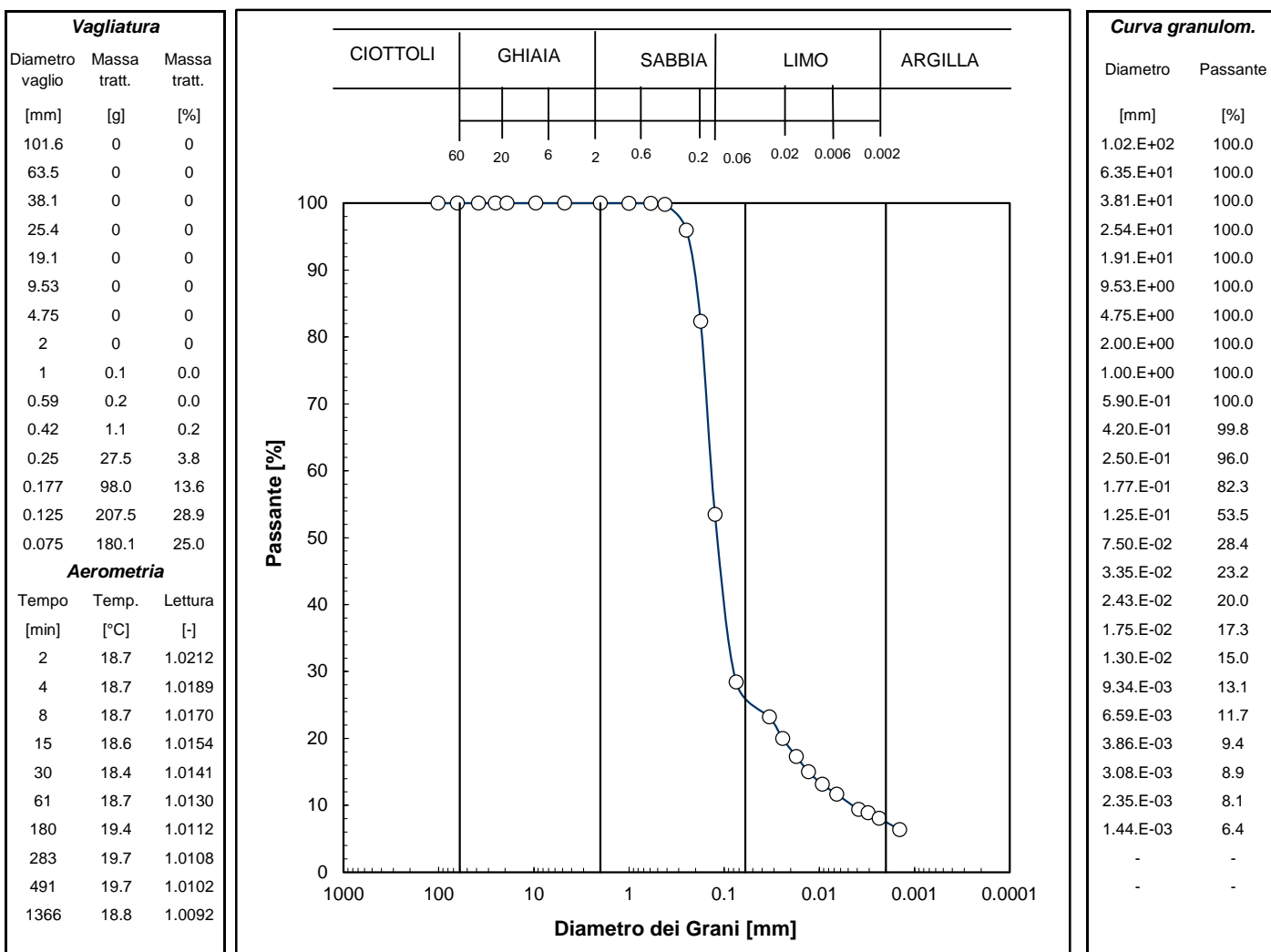
Normativa di riferimento: ASTM D422

Classificazione di riferimento: AGI 1977

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST2
Profondità prelievo [m]:	12.6 - 12.7
Prova:	Gr 1
Data prova:	20/04/2022



Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	12.60	12.70	719.0	VIA UMIDA	28	-	-	73	19	8	32	-	1.4.E-01	1.2.E-01

NOTE:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

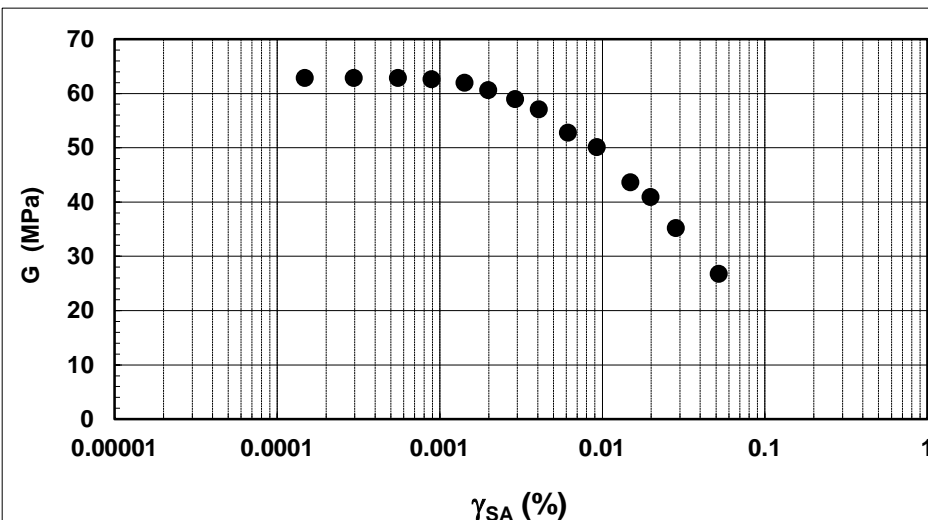
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST2
Profondità prova [m]:	12.60 - 12.70
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	14/04/2022

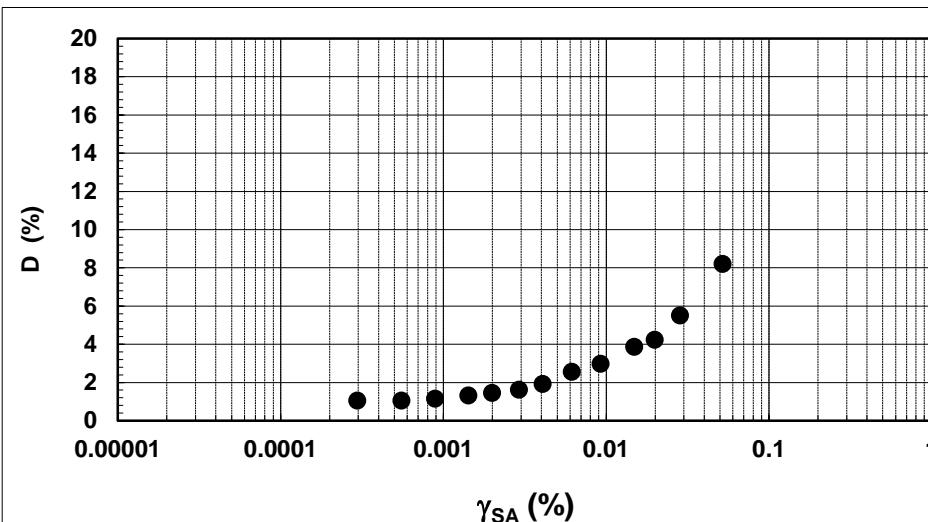
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	INDISTURBATO
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE
50.00	101.20	18.67	27.3	0.806	95	95	1.0	300.0	0.90	49.8	100.9	18.87	27.4	0.788	94	superficie di appoggio	PIETRA POROSA
																eccitazione	TORSIONALE
																peso specifico (-)	2.700



Legenda:

Φ = diametro del provino
H = altezza del provino
 γ_w = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
e = indice dei vuoti
 σ' = tensioni efficaci
 $K = \sigma'_r / \sigma'_a$
B.P. = back pressure
B = coefficiente di Skempton
G = Modulo di taglio
 γ_{SA} = def. di taglio in singola ampiezza
D = Rapporto di smorzamento di taglio
Subscritto 'a' = assiale
Subscritto 'r' = radiale
S = grado di saturazione



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

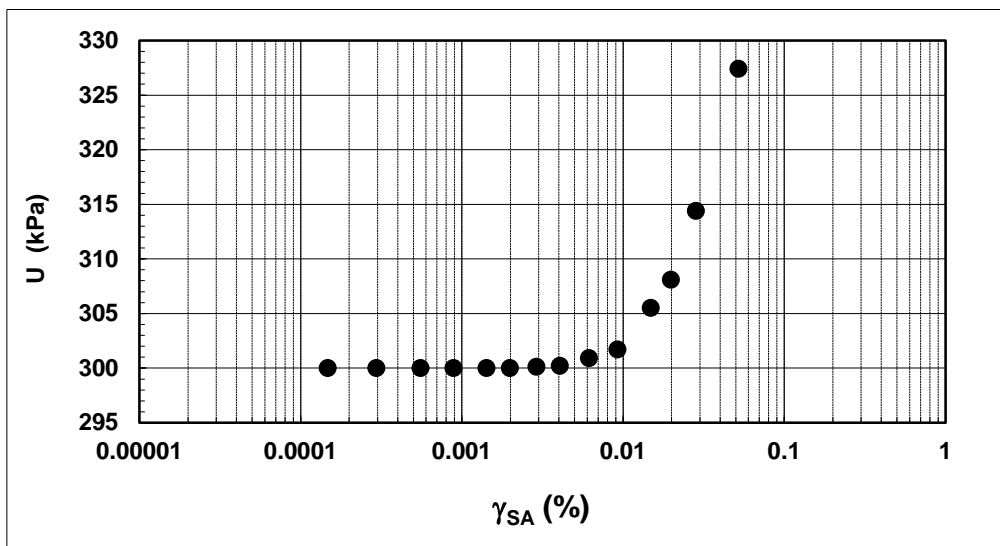
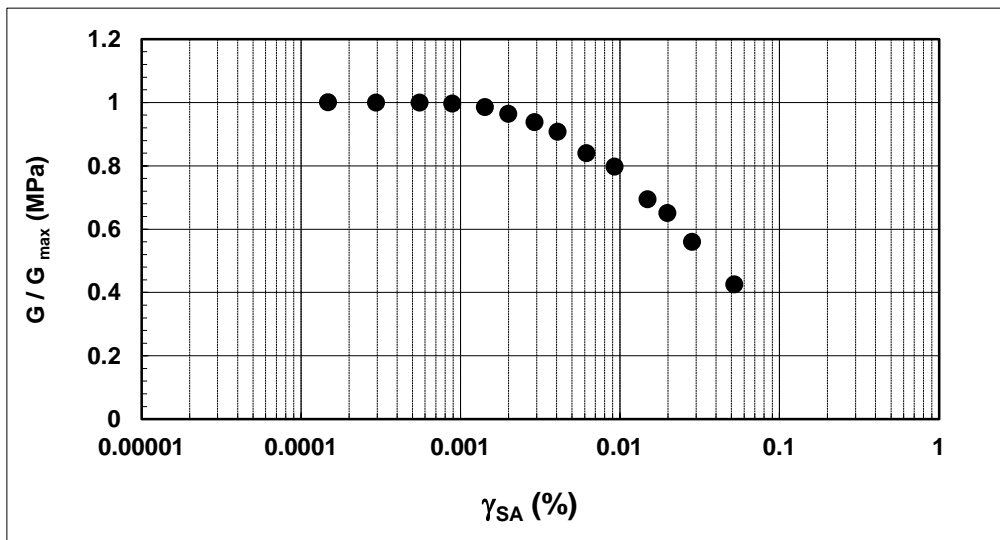
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST2
Profondità prova [m]:	12.60 - 12.70
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	14/04/2022

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	INDISTURBATO
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE
50.00	101.20	18.67	27.3	0.806	95	95	1.0	300.0	0.90	49.8	100.9	18.87	27.4	0.8	94	superficie di appoggio	PIETRA POROSA
																eccitazione	TORSIONALE
																peso specifico	2.700



Note:	
--------------	--

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST2
Profondità prova [m]:	12.60 - 12.70
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	14/04/2022

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	tipo di provino	INDISTURBATO
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE
50.00	101.20	18.67	27.3	0.806	95	95	1.0	300.0	0.90	49.8	100.9	18.87	27.4	0.788	superficie di appoggio	PIETRA POROSA
															eccitazione	TORSIONALE

Valori numerici

G	G/G _{MAX}	γ	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
62.86	1.000	0.00015		300.0
62.84	1.000	0.00030	1.05	300.0
62.81	0.999	0.00055	1.04	300.0
62.61	0.996	0.00089	1.14	300.0
61.92	0.985	0.00142	1.31	300.0
60.57	0.964	0.00199	1.45	300.0
58.95	0.938	0.00291	1.62	300.1
57.06	0.908	0.00407	1.92	300.2
52.76	0.839	0.00616	2.56	300.9
50.13	0.797	0.00926	2.97	301.7
43.62	0.694	0.01490	3.86	305.5
40.90	0.651	0.01986	4.22	308.1
35.15	0.559	0.02839	5.50	314.4
26.75	0.426	0.05206	8.19	327.4

Legenda:

Φ = diametro del provino

H = altezza del provino

γ_w = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

σ' = tensioni efficaci

K = σ_r / σ_a

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note:

Rev	data emiss.	eseguito da	elaborato da
0	29/04/2022	Sirtoli	Sirtoli

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST3
Profondità prelievo [m]:	22.30 – 23.00
Data prova:	



D.P.R. 06.06.2001 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A e B

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	27/04/2022	Angeloni	Saccenti

N° verbale di accettazione: 020/2022

N° certificato di prova:

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST3
Profondità prelievo [m]:	22.84 - 22.96
Prova:	Dc
Data fine descrizione:	27/04/2022

Dati Generali del Campione

Tipo contenitore: Fustella INOX
 Forma campione: -
 Dimensioni Campione: $\Phi =$ - cm L= - cm
 Classe del terreno: 4

Descrizione

(Normativa di riferimento: AGI 1977)

Sabbia limosa argillosa

Risultati caratteristiche generali

Prova	Risultato della prova	Normativa di riferimento	N° certificato di prova
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
-	-	-	
Gr 1	-	ASTM D422/90	

Note:

-

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	27/04/2022	Angeloni	Saccenti

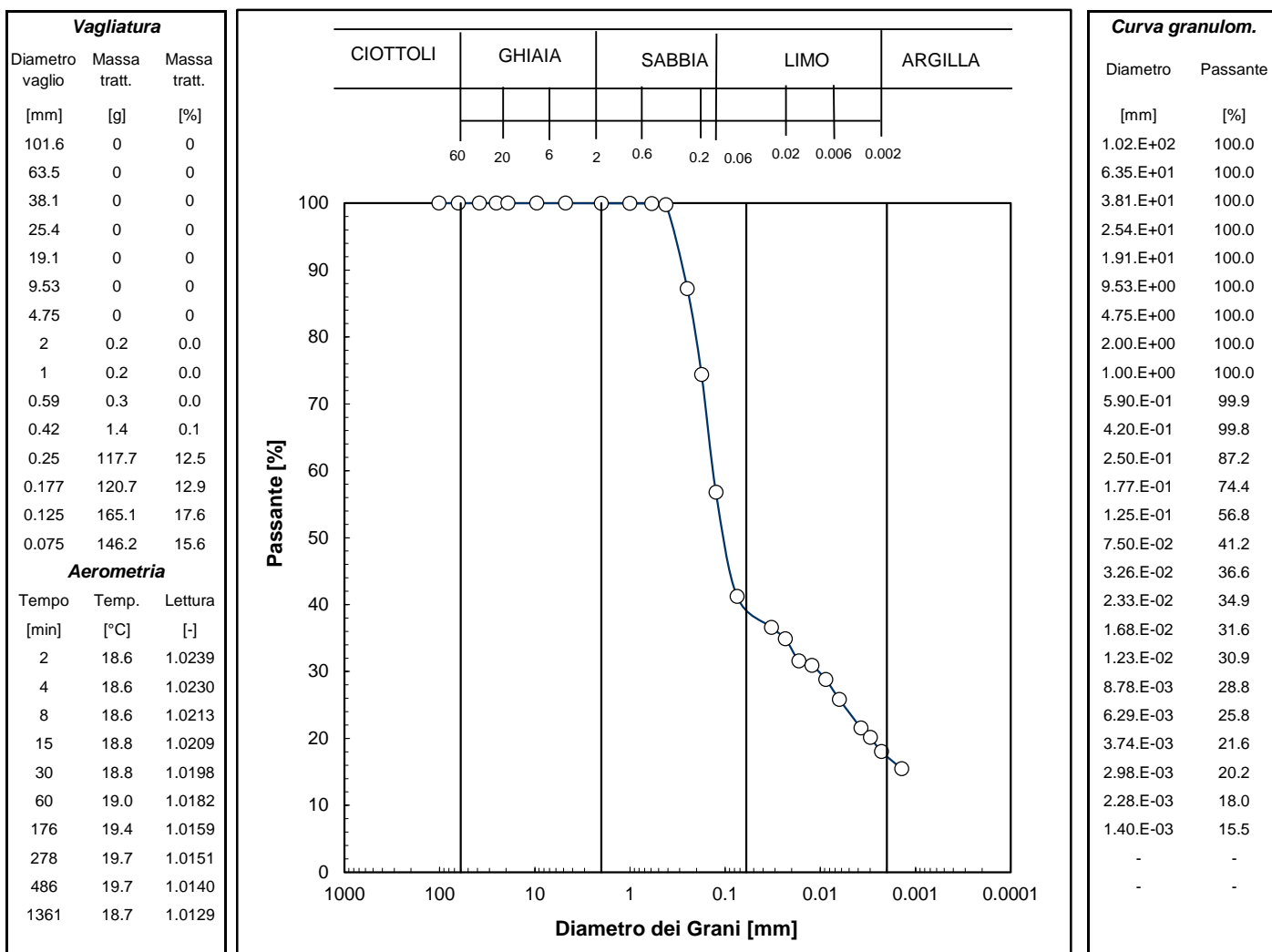
Normativa di riferimento: ASTM D422

Classificazione di riferimento: AGI 1977

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST3
Profondità prelievo [m]:	22.84 - 22.96
Prova:	Gr 1
Data prova:	20/04/2022



Prova	Simbolo	Profondità		Massa secca materiale [g]	Metodo preparazione materiale	% < 0.075mm	% CIOTTOLI	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	Massa materiale aerometria [g]	L max [mm]	D ₆₀ [mm]	D ₅₀ [mm]
		da m	a m												
Gr 1	x	22.84	22.96	938.8	VIA UMIDA	41	-	0	60	23	17	34	-	1.3.E-01	1.0.E-01

NOTE:



DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

D.P.R. 06.06.2001 n.380 - Circ. 7618/STC del 08.09.2010 Autorizzazione n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A e B

Sperimentatore: Diaby
Direttore: Saccenti
Data emissione: 29/04/2022
Rev.

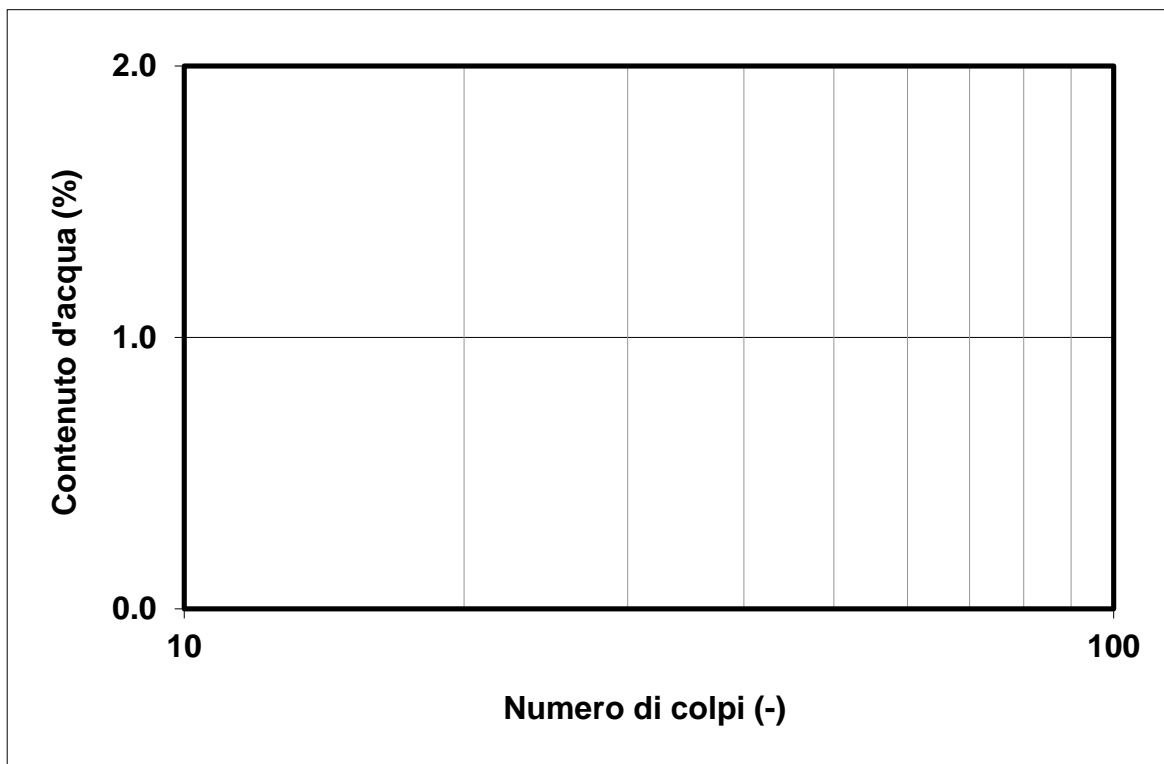
Normativa di riferimento: ASTM D4318
N° certificato di prova:
N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente: EUROVO
Cantiere: BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio: S1
Campione: OST3
Profondità prova [m]: 22.84 - 22.96
Prova: LLP1
Data prova: 12/04/2022

Limite Liquido			
	prova 1	prova 2	prova 3
numero colpi			
massa tara (g)			
massa umido + tara (g)			
massa secco + tara (g)			
umidità (%)			

Limite Plastico	
massa tara (g)	
massa umido + tara (g)	
massa secco + tara (g)	
umidità (%)	

LL (%)	N.P.
LP (%)	N.P.
IP (%)	N.P.



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

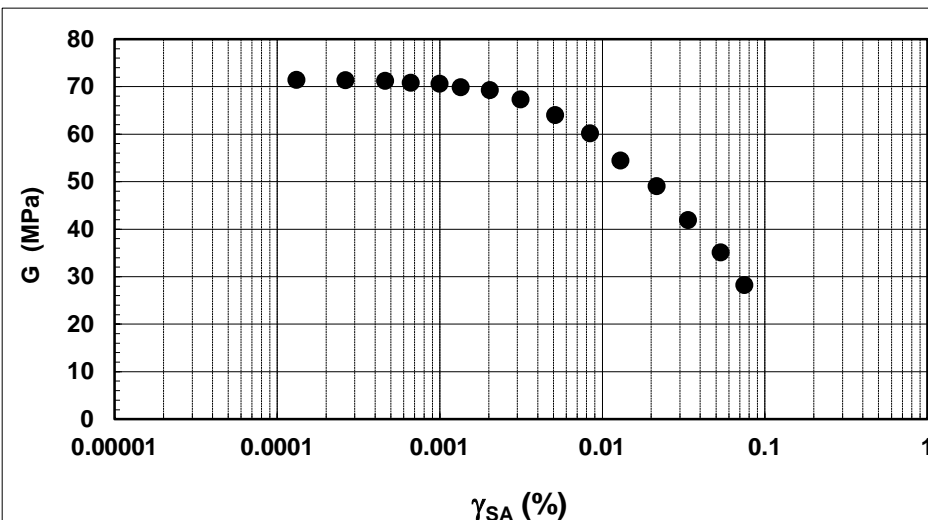
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST3
Profondità prova [m]:	22.86 - 22.96
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	13/04/2022

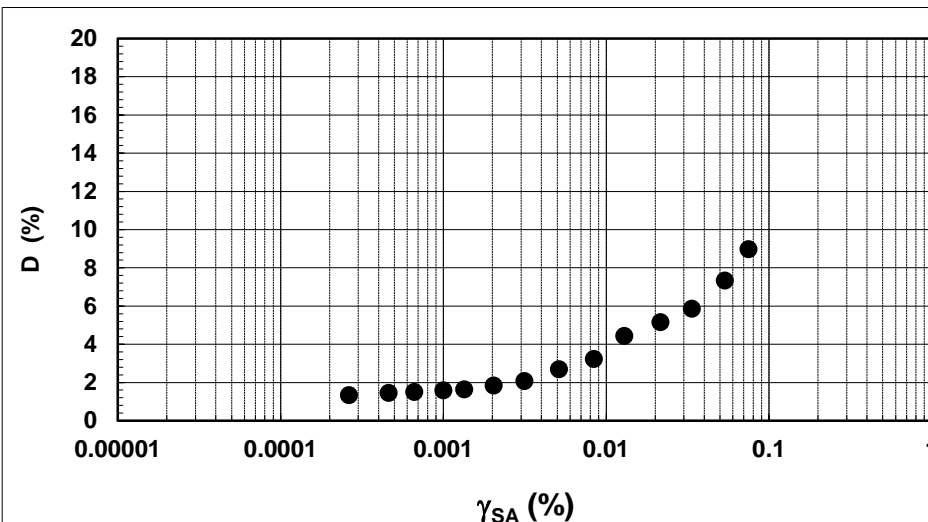
Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione											Informazioni generali																	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	INDISTURBATO																
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE																
50.00	101.20	18.46	29.2	0.853	140	140	1.0	300.0	0.90	49.6	100.6	18.71	28.1	0.813	93	superficie di appoggio	PIETRA POROSA																
																eccitazione	TORSIONALE																
																																peso specifico (-)	2.700



Legenda:

- Φ = diametro del provino
- H = altezza del provino
- γ_w = peso di volume umido
- w = contenuto d'acqua
- e = indice dei vuoti
- σ' = tensioni efficaci
- K = σ'_r / σ'_a
- B.P. = back pressure
- B = coefficiente di Skempton
- G = Modulo di taglio
- γ_{SA} = def. di taglio in singola ampiezza
- D = Rapporto di smorzamento di taglio
- Subscritto 'a' = assiale
- Subscritto 'r' = radiale
- S = grado di saturazione



Note:

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

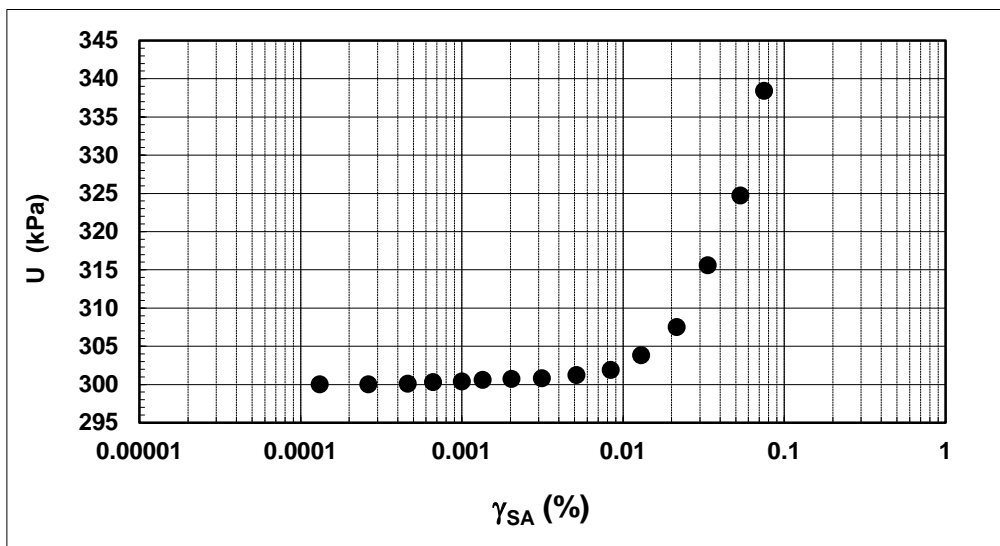
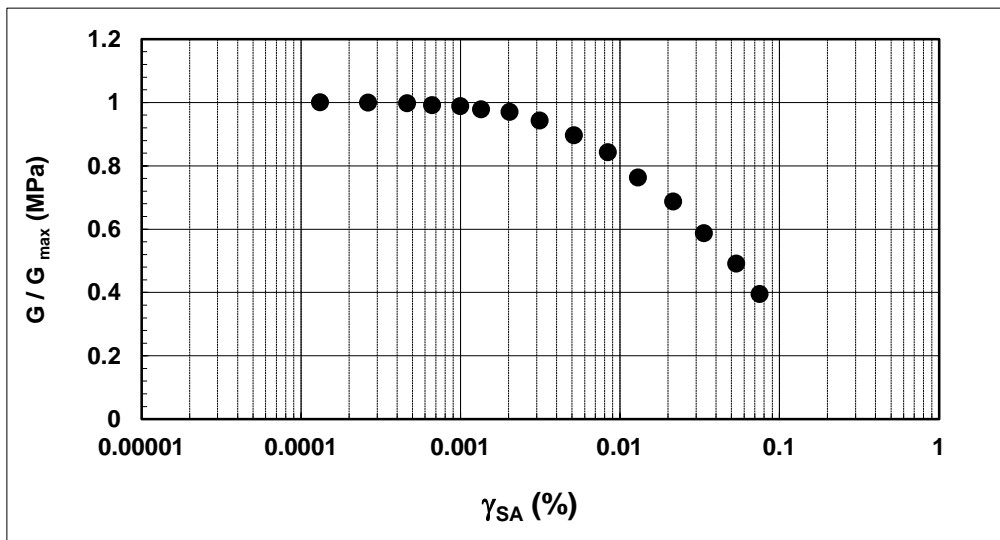
N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST3
Profondità prova [m]:	22.86 - 22.96
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	13/04/2022

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati a fine consolidazione										Informazioni generali		
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	S	tipo di provino	INDISTURBATO
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	%	metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE
50.00	101.20	18.46	29.2	0.853	140	140	1.0	300.0	0.90	49.6	100.6	18.71	28.1	0.8	93	superficie di appoggio	PIETRA POROSA
																eccitazione	TORSIONALE
																peso specifico	2.700



Note:	
--------------	--

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	15/04/2022	Angeloni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D4015/95

N° certificato di prova:

N° verbale di accettazione: 020/2022

Committente:	EUROVO S.r.l.
Cantiere:	BAGNARA DI ROMAGNA (RA)
Sondaggio:	S1
Campione:	OST3
Profondità prova [m]:	22.86 - 22.96
Prova:	RC
Provino:	1
Data prova:	13/04/2022

Dati generali dei provini

Dati iniziali					Dati di prova										Informazioni generali	
Φ	H	γ_w	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	D	H	γ_w	w	e	tipo di provino	INDISTURBATO
mm	mm	kN/m ³	%	-	kPa	kPa	-	kPa	-	mm	mm	kN/m ³	%	-	metodo di preparazione	FUSTELLAZIONE
50.00	101.20	18.46	29.2	0.853	140	140	1.0	300.0	0.90	49.6	100.6	18.71	28.1	0.813	superficie di appoggio	PIETRA POROSA
															eccitazione	TORSIONALE

Valori numerici

G	G/G _{MAX}	γ	D	U
(MPa)	(-)	(%)	(%)	(kPa)
71.39	1.000	0.00013		300.0
71.34	0.999	0.00026	1.33	300.0
71.17	0.997	0.00046	1.45	300.1
70.79	0.992	0.00066	1.51	300.3
70.57	0.989	0.00100	1.58	300.4
69.83	0.978	0.00135	1.64	300.6
69.24	0.970	0.00204	1.83	300.7
67.28	0.943	0.00314	2.07	300.8
64.01	0.897	0.00514	2.69	301.2
60.12	0.842	0.00841	3.22	301.9
54.45	0.763	0.01295	4.43	303.8
49.03	0.687	0.02158	5.16	307.5
41.92	0.587	0.03365	5.86	315.6
35.07	0.491	0.05363	7.33	324.7
28.22	0.395	0.07497	8.97	338.4

Legenda:

Φ = diametro del provino

H = altezza del provino

γ_w = peso di volume umido

w = contenuto d'acqua

e = indice dei vuoti

σ' = tensioni efficaci

K = σ_r / σ_a

B.P. = back pressure

B = coefficiente di Skempton

G = Modulo di taglio

γ_{SA} = def.di taglio in singola ampiezza

D = Rapporto di smorzamento di taglio

Subscritto 'a' = assiale

Subscritto 'r' = radiale

Note: