

COMUNE DI PAVULLO NEL FRIGNANO
Provincia di Modena

ACCORDO OPERATIVO RELATIVO A
PARTE DELL'AMBITO ANS2.9
LOCALITA' MONTE DELLA CAMPANA - PAVULLO N/F.

Relazione Geologica e Sismica



DATA:

Dicembre 2021

PROT. N°:

PRATICA N°

PROPRIETÀ:

AREA SRL
IMMOBILIARE LA LOGGIA SRL
SORRIDENTE SRL

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti



DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo) - tel./fax 0536 324233 - cell. 339 4679008 - e mail sb.marco@libero.it
Plva 02496130366 - CF sntmrc72m09g393s - pec santibortolotti@epap.sicurezzapostale.it - Cod (SDI) XL13LG4

INDICE

1.	PREMESSA	PAG. 4
1.1	CRONOPROGRAMMA E METODOLOGIA DI LAVORO	" 4
2.	RELAZIONE GEOLOGICA	" 6
	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO (6.2.1 NTC)	" 6
2.1	ELEMENTI GEOGRAFICI-CARTOGRAFICI DELL'AREA	" 6
2.2	MORFOLOGIA DELL'AREA	" 8
2.3	ELEMENTI GEOLOGICI DELL'AREA	" 9
2.4	ELEMENTI IDROGEOLOGICI DELL'AREA	" 11
2.5	STABILITÀ DELL'AREA	" 12
2.5.1	QUADRO CONOSCITIVO-CARTOGRAFICO	" 12
2.5.2	INFLUENZA DELLE OPERE IN PROGETTO SULLE CONDIZIONI DI STABILITÀ - QUADRO MORFOEVOLUTIVO	" 13
2.6	STABILITÀ DELLE SCARPATE DI SCAVO	" 14
2.7	VERIFICHE DI STABILITÀ	" 16
	RELAZIONE SISMICA	" 19
3.1	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	" 19
3.2	NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO	30
3.3	INDAGINI SISMICHE	33
3.4	CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO	34
3.5	CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	34
3.6	CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO	35
3.7	PERICOLOSITÀ SISMICA ED EFFETTI LOCALI	36
3.8	AMPLIFICAZIONE SISMICA PER CARATTERISTICHE LITOLOGICHE – DGR 630/2019	" 38
3.9	MICROZONAZIONE SISMICA - SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO	" 41
4.	ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)	" 42
4.1	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	" 42
4.1.1	Stima della pericolosità e analisi di disaggregazione	" 42
4.1.2	Definizione del moto di riferimento	" 43
4.1.3	Classe d'Uso e Periodo di riferimento per l'azione sismica	" 44
4.1.4	Stati Limite e relative probabilità di superamento – Tempo di ritorno	" 45
4.1.5	Valutazione dell'azione sismica	" 46
4.1.6	Terremoti di input e spettri di risposta	" 47
4.1.7	Sismostratigrafia	" 49
4.1.8	Proprietà geotecniche dinamiche	" 50
4.2	RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA	" 51

5. MODELLO GEOLOGICO-SISMICO	"	55
5.1 INDAGINI, MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE	"	55
5.1.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI CAMPAGNA	"	55
5.1.2 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA	"	56
5.2 CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE	"	57
5.2.1 IDROLOGIA SOTTERRANEA	"	58
6. TIPOLOGIA DELL'INTERVENTO	"	58
7 CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE GENERALI	"	58
7.1 SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI FONDAZIONE		59
7.2 STABILITÀ DELLE PARETI DI SBANCAMENTO		59
7.3 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO		60
8. CONSIDERAZIONI FINALI		63

ALLEGATO 1	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE	PAG. 66
ALLEGATO 2	INDAGINE SISMICA - MASW	" 67
ALLEGATO 3	INDAGINE SISMICA - HVSR	" 68
ALLEGATO 4	VERIFICHE DI STABILITÀ	" 69
ALLEGATO 5	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE RSL	" 70

Relazione Geologica e Sismica

1. PREMESSA

La presente relazione riferisce dello studio eseguito sui terreni situati in loc. Monte della Campana a Pavullo n/F. (Mo) (Fig. 1-2), in particolare espone gli aspetti geologici e sismici connessi con l'Accordo Operativo relativo a parte dell'Ambito ANS 2.9.

1.1 CRONOPROGRAMMA E METODOLOGIA DI LAVORO

Al fine di inquadrare e contestualizzare dal punto di vista geologico e sismico l'area dell'Ambito, si è proceduto essenzialmente attraverso due fasi:

- 1) analisi bibliografica degli studi e delle indagini disponibili nell'area e in un suo intorno significativo;
- 2) approfondimento d'indagine sito-specifica con esecuzione di indagini geognostiche e sismiche.

1) La ricerca bibliografica ha permesso di reperire dati di buona qualità, ma generali dell'area; quelli più significativi e utilizzati in questo lavoro sono:

- cartografia tecnica e geologica esistente;
- Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Pavullo nel Frignano;
- PSC del Comune di Pavullo nel Frignano;
- indagini geognostiche eseguite dallo scrivente su aree adiacenti.

2) La consultazione dei documenti sopra elencati permette di ottenere soltanto un quadro generale del sito in studio. Per qualificare e completare ulteriormente lo studio sono state programmate una serie di nuove indagini geognostiche e geofisiche "sito-specifiche", comprensive di:

- n° 7 prove penetrometriche dinamiche (All. 1);
- n° 2 indagini di sismica a rifrazione con metodologia MASW (All. 2);
- n° 3 prospezioni sismiche passive di microtremori HVSr (All. 3);

Così operando, si è inteso:

- valutare le condizioni geologiche-geomorfologiche e idrogeologiche dell'area;
- valutare la stabilità dell'area;
- valutare le caratteristiche geolitologiche dei terreni di fondazione dell'area;
- definire il modello geologico-geotecnico generale;
- valutare la pericolosità sismica di base dell'area in studio e i possibili effetti di sito;
- individuare le possibili problematiche geologiche-tecniche dell'area in relazione agli interventi;
- valutazione della risposta sismica locale mediante classificazione semplificata del suolo in base alla V_sEq , calcolo dell'accelerazione spettrale elastica e dei coefficienti di amplificazione sismica (NTC 2018);
- valutazione dell'effettivo grado di pericolosità sismica locale mediante una valutazione della RSL, risposta sismica locale, con l'utilizzo di 7 segnali sismici di input forniti dalla RER (DGR 476/2021 e 564/2021) e codice di calcolo (Software RSL III Geostru) con determinazione degli spettri elastici normalizzati.
- microzonazione sismica e calcolo dei coefficienti di amplificazione FA ottenuti con le tabelle regionali (DGR 630-2019⇒476/2021) che aggiornano quelle della Dal Rer 112/2007.

Lo studio, pertanto, secondo i dettami della normativa vigente (NTC2018) e dello stato dell'arte, è rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica e sismica dell'area che consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici, e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

L'elaborato è sviluppato in modo da costituire imprescindibile elemento di base e di riferimento generale per la redazione degli studi "sito specifici" e il dimensionamento geotecnico di dettaglio per le successive progettazioni dei singoli lotti.

RELAZIONE GEOLOGICA

2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO (6.2.1 NTC)

Il modello geologico del sito viene sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola e grande scala e per stilare il programma delle indagini. Il modello geologico di riferimento sarà quindi validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza delle opere.

2.1 ELEMENTI GEOGRAFICI-GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

L'ambito di studio è situato al bordo sud-orientale dell'abitato di Pavullo (Fig. 1-2).

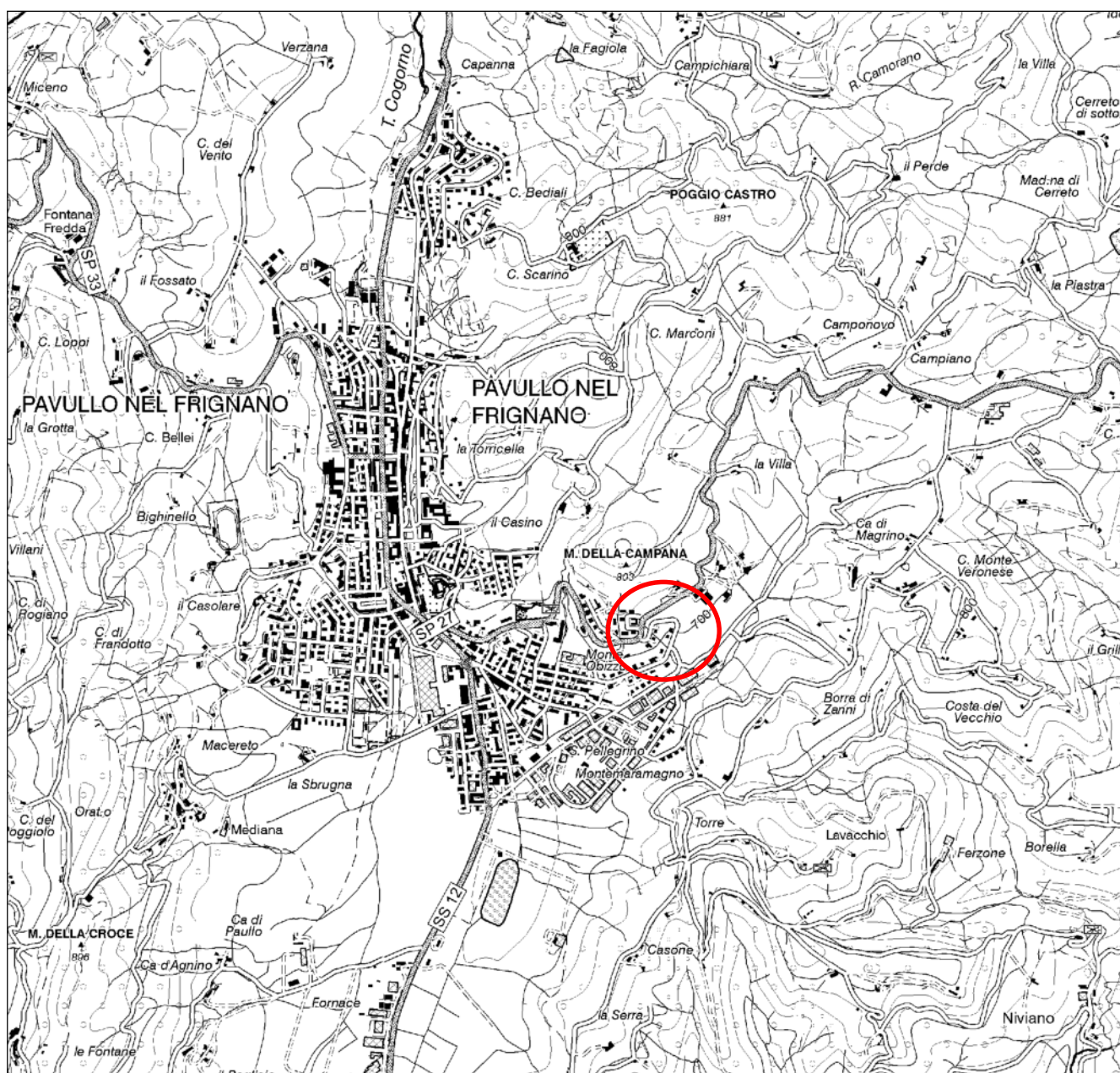


Figura 1 – Inquadramento geografico 1:25.000 (Tavolette ctr n° 236no-236ne)

L'abitato di Pavullo si colloca lungo la fascia della media-alta collina nel medio Appennino modenese, a quote altimetriche medie comprese tra 675-690 nei settori della piana fino a 800/880 metri s.l.m. nei settori marginali a est e a ovest.

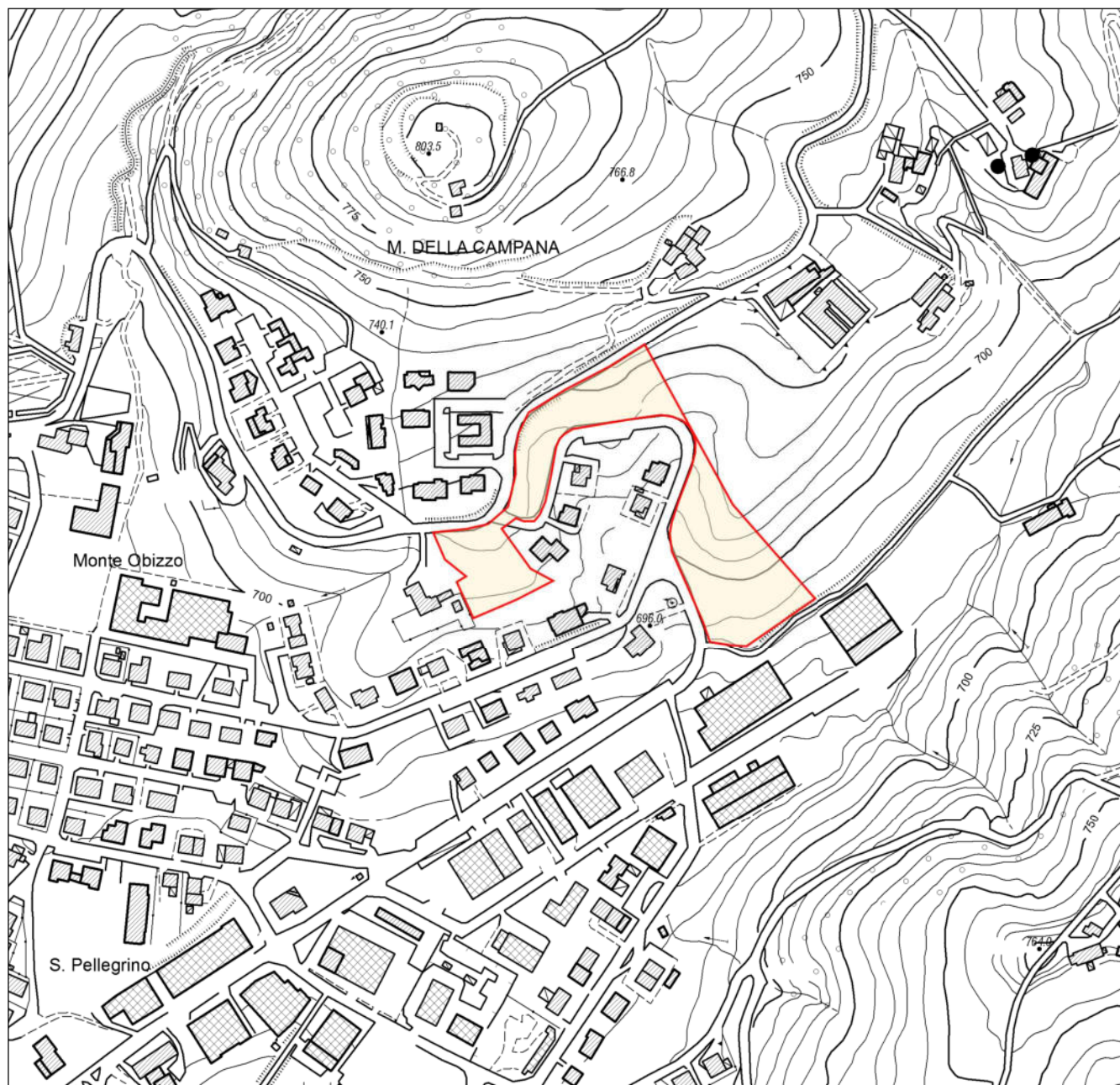


Figura 2 – Corografia 1:5.000 (Elemento Ctr n° 236074)

Il sito d'intervento si colloca ai bordi esterni di un settore residenziale esistente.

2.1.1 Riferimenti Cartografici

Cartograficamente l'area in studio è individuata sulla C.T.R. nelle Tavole 236no e 236ne a scala 1:25.000 (Fig. 1), nella Sezione n° 236070 alla scala 1:10.000 e nell'Elemento n° 236074 a scala 1:5.000 (Fig. 2).

2.2 MORFOLOGIA DI DETTAGLIO DELL'AREA

Il sito in esame si pone nel tratto medio-inferiore di un pendio ad esposizione sud-est che scende dalla linea di dorsale di Monte della Campana fino alla piana di Pavullo. Le caratteristiche morfometriche del versante sono le seguenti:

MORFOMETRIA E MORFOLOGIA DEL PENDIO

Quota massima (s.l.m.): 803.5 m

Quota del settore d'intervento (s.l.m.): 693-730 m

Quota minima (s.l.m.): 675 m

Distanza dallo spartiacque: 200 m

Distanza dalla base: 100 m

Pendenza media dallo spartiacque alla base: 12° (21%)



Figura 3 – Profilo topografico (tratta da Google Earth)

Il tratto di pendio influenzato dall'area di Ambito presenta pendenze variabili comprese tra 10-30%.

Le caratteristiche geomorfologiche generali dell'area mettono in evidenza lo stretto legame tra morfologia e differente comportamento meccanico dei litotipi affioranti e, quindi, il diverso grado di resistenza nei confronti degli agenti atmosferici. Infatti nei tratti dove affiorano litotipi più competenti a consistenza litoide (Formazione di Cigarellino), i versanti si presentano più acclivi con pendenze dell'ordine dei 18°-22° (28-35%) e per lo più boscati.

2.3 ELEMENTI GEOLOGICI

Le caratteristiche geologiche dell'area presentano una certa peculiarità rispetto alla tipica situazione riscontrabile lungo i versanti prevalentemente argillosi del medio Appennino modenese: l'abitato di Pavullo si colloca infatti all'interno di una zolla calcareo-arenaceo-marnosa semiautoctona Epiligure, sovrapposta tettonicamente su formazioni argillose alloctone appartenenti alle Unità Liguri.

L'unità morfologica della Piana di Pavullo è infatti costituita da un rilievo a pianta sub-polygonale, perimetralmente costituito da rocce calcareo-arenacee e/o marnose coerenti e tutt'intorno circondato da formazioni poco resistenti e facilmente degradabili.

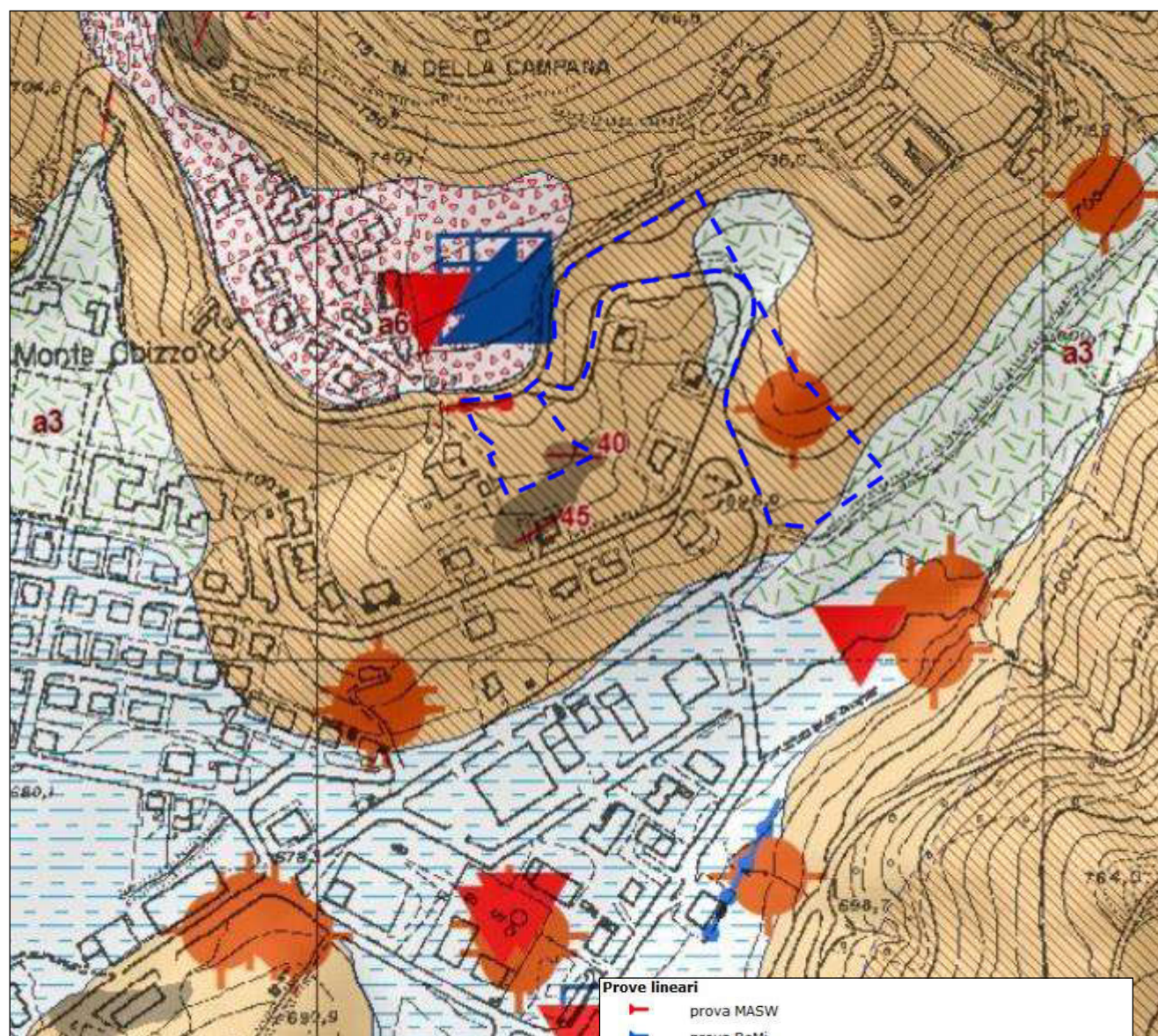


Figura 4 – Carta Geologica 1:5.000 (CARG – RER)

Limiti di unità geologiche (10K)

- contatto stratigrafico o litologico certo
- - - contatto stratigrafico o litologico incerto
- faglia certa
- - - faglia incerta
- limite di natura incerta

Affioramenti (aree) (10K)

Unità geologiche (10K)

- CIG - Formazione di Cigarello
- CIG2 - Formazione di Cigarello - membro di Monte Luminasio
- PAT - Formazione di Pantano

Prove lineari

- prova MASW
- prova ReMi

Prove puntuali

- misure di microtremore a stazione singola (HVSr)
- prova dinamica con penetrometro leggero (DPL)
- prova dinamica con penetrometro pesante (DPH)

Punti di osservaz. e misura (10K)

- stratificazione dritta

Coperture quaternarie (10K)

- a3 - Deposito di versante s.l.
- a6 - Detrito di falda
- f1 - Deposito palustre
- h - Deposito antropico

La cartografia geologica di riferimento di più recente pubblicazione è rappresentata dalla "Carta geologica del Progetto CARG" (Fig. 3). Se ne riporta uno stralcio cartografico e la relativa legenda delle litologie presenti nell'area.

Il substrato dell'area in studio è costituito dalla Formazione di Cigarelllo.

Di seguito vengono descritte brevemente le caratteristiche litologiche e stratigrafiche delle unità presenti nell'area in studio; (Fig. 3).

CIG - Formazione di Cigarelllo

Si tratta di marne siltoso-sabbiose, talora argillose, grigie, grigio scure o beiges se alterate, bioturbate e fossilifere. Stratificazione generalmente poco evidente per l'assenza di livelli grossolani e per la bioturbazione. Localmente affiorano intervalli di strati sottili arenaceo-pelitici tabulari con $A/P < 1$ o litofacies marnose franche. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna e scarpata-bacino. Il limite inferiore è per alternanza o sfumato con PAT. La potenza varia da qualche decina di metri a circa 200 m. *Langhiano - Serravalliano*

CIG2 - Formazione di Cigarelllo - membro di Monte Luminasio

Questa formazione costituisce il substrato dell'area d'intervento.

Arenarie fini e medie, localmente biocalcareni e litareniti grossolane e microconglomeratiche, alternate a peliti siltose grigie, in strati da sottili a molto spessi, prevalentemente tabulari. Rapporto $A/P > 1$. Intercalazioni metriche e decametriche di peliti sabbiose. Corpi arenacei lenticolari intercalati a varie altezze stratigrafiche. Torbiditi di scarpata bacino. Potenza variabile da 0 a 100 m circa. *Langhiano - Serravalliano*

PAT - Formazione di Pantano

Areniti siltose fini e finissime, grigie (beige se alterate), alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare; stratificazione generalmente poco marcata o addirittura impercettibile a causa dell'intensa bioturbazione; sono presenti resti di Echinidi, Gasteropodi e Lamellibranchi. Sedimentazione in ambiente da litorale a piattaforma esterna. *Burdigaliano sup. - Langhiano inf.*

Nell'area d'intervento e nell'immediato interno, il rilevamento diretto offre poche indicazioni in quanto si tratta di area completamente ricoperta da un cotico vegetale impostato su falda di detrito medio-fine di copertura.

Si tratta di depositi costituiti da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi).

La carta geologica evidenzia lungo il versante in studio, a est del settore in esame, stratificazione con assetti a reggipoggio con immersione verso nord.

2.4 ELEMENTI IDROGEOLOGICI

Nel sito in studio l'eduzione delle acque meteoriche e superficiali per lo più avviene per infiltrazione e filtrazione all'interno della coltre detritica di copertura, che può essere considerata dotata di una discreta permeabilità per porosità.

Le formazioni coinvolte nell'indagine in oggetto possono essere distinte, in base alle caratteristiche litologiche e al grado di permeabilità, in due complessi idrogeologici:

- complesso permeabile per porosità: fanno parte di questo complesso tutti i terreni detritici superficiali di riporto e copertura; questo tipo di permeabilità è legato principalmente alla granulometria dei clasti che costituiscono il detrito, per cui si ha una discreta permeabilità per i termini più grossolani. Questa coltre detritica, ricopre indistintamente i terreni argillosi sottostanti.
- a) complesso semimpermeabile o dotato di permeabilità secondaria per fessurazione: costituito da terreni prevalentemente pelitico-arenacei. Questa formazione ponendosi alla base di litotipi a permeabilità confrontabile non tamponano la circolazione idrica sotterranea delle unità sovrastanti, ma al contrario permettono un certo passaggio in profondità.

All'interno dei fori di sondaggio, tramite freatimetro elettroacustico, è stata verificata la presenza di acqua di falda (04/06/2021).

I sondaggi hanno evidenziato presenza di acqua o livelli di filtrazione preferenziale all'interno dei fori a quote molto variabili:

PRESENZA DI ACQUA NEI FORI DELLE INDAGINI (04/06/2021)

Prove penetrometriche	1	2	3	4	5	6	7
Profondità prova (m)	10.0	7.8	5.8	5.2	5.6	4.6	6.2
Presenza di acqua da p.c. (m)	-8.4	-	-	-3.8	-	-	-4.1

Il sottosuolo investigato può essere soggetto a filtrazione di acque in particolare al passaggio tra lo strato di copertura e la parte superficiale più fratturata del substrato pelitico-arenaceo. Non si può quindi escludere, durante gli sbancamenti, la possibilità di intercettare locali orizzonti naturali di saturazione discontinui a carattere stagionale e/o livelli di filtrazione preferenziale al contatto tra litotipi a diversa permeabilità.

L'area in studio non ricade in alcuna zona di protezione di acque sotterranee e/o di zone di possibile alimentazione di sorgenti (PTCP 2009).

L'intervento non determinerà interferenze né modifiche ai processi di naturale alimentazione dell'acquifero principale; inoltre non interferirà in alcun modo con corsi d'acqua.

La dominanza e le pendenze dell'area d'intervento rispetto ai collettori drenanti secondari garantiscono sull'assenza di rischi relativi ad esondazioni o ristagno liquido.

2.5 STABILITÀ DELL'AREA

2.5.1 Quadro conoscitivo-cartografico

Di seguito si osserva la “Carta del dissesto” del PTCP di Modena PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) (Fig. 5) dove l'area d'Ambito non rientra in zone di dissesto in atto né potenziale.

Anche l'analisi multitemporale della cartografia geologica e del dissesto a disposizione conferma come l'area d'Ambito non sia mai stato coinvolto direttamente in fenomeni gravitativi.

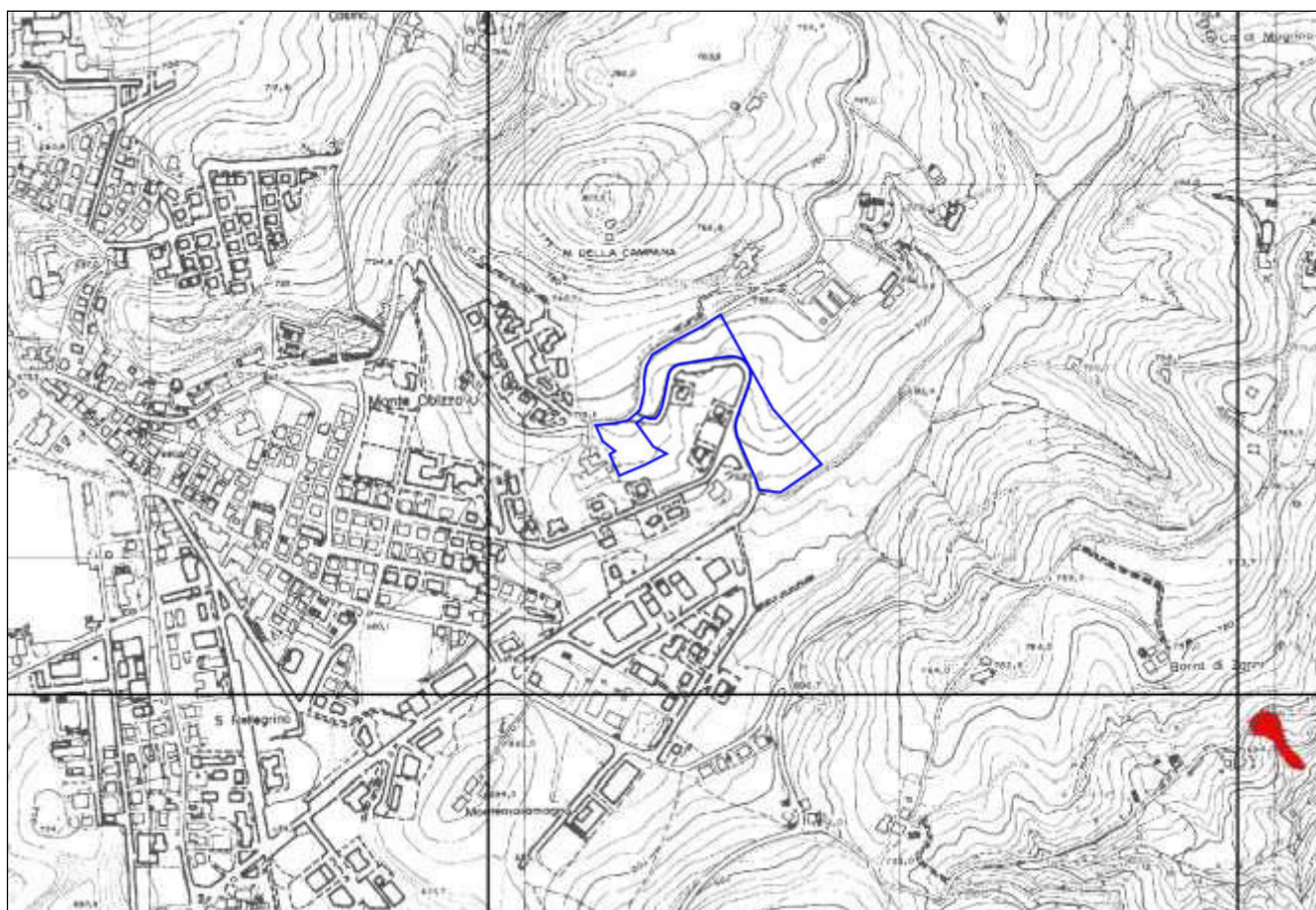


Figura 5 – Carta del dissesto stralcio PTCP – 1:10.000

Zone ed elementi caratterizzati da fenomeni di dissesto e instabilità				
			Aree interessate da frane attive	Art.15
			Aree interessate da frane quiescenti	
Zone ed elementi caratterizzati da potenziale instabilità				
			Aree potenzialmente instabili	Art.16

Note bibliografiche

La ricerca bibliografica si è incentrata su:

- Carta delle Frane e della Stabilità dei Terreni del Bacino del Fiume Secchia a scala 1:50.000 (Provincia di Modena, 1970)
- Carta della Propensione al Dissesto Idrogeologico della RER a scala 1:250.000 (1974);
- Carta geologica dell'Appennino Emiliano-Romagnolo a scala 1:10.000 (1986);
- Inventario del Dissesto a scala 1:25.000 (Regione Emilia-Romagna, 1996);
- Analisi multitemporale fotografie aeree;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) (Prov. Mo1999-2006-2009).
- Nuova Carta Geologica d'Italia Progetto CARG (2000)

L'analisi locale sulle condizioni geomorfologiche e di stabilità dell'area in oggetto conferma la carta sopra riportata; inoltre ha messo in evidenza i seguenti aspetti positivi:

- l'area si colloca nella parte medio-inferiore di un pendio, in un tratto dove l'ossatura di substrato pelitico-arenaceo non denota segni di evoluzione.
- Non si rilevano processi erosivi da parte delle acque di corrivazione.
- Nel quadro fessurativo dei fabbricati esistenti limitrofi, e sul terreno in esame non sono stati rilevati segni tensionali riconducibili a qualche fenomeno d'instabilità di versante.

2.5.2 Quadro morfoevolutivo

Il sopralluogo effettuato ha evidenziato come nell'intorno dell'area non si sono rilevati fenomeni che possano interferire dal punto di vista geodinamico con il sito d'intervento.

In un quadro morfoevolutivo non si riscontrano fattori che possano deteriorare questa situazione di stabilità.

Tra gli obiettivi della progettazione geotecnica dei futuri interventi edificatori vi dovrà essere quello di prevedere i dovuti accorgimenti per garantire che i terreni interessati dall'intervento nonché quelli all'intorno conservino le attuali condizioni di resistenza e che l'area mantenga le attuali caratteristiche di stabilità. Decisiva sarà la corretta regimazione delle acque superficiali ed il loro opportuno smaltimento, evitando così qualsiasi dispersione liquida nei terreni.

Gli interventi in progetto prevedono la realizzazione di strutture residenziali con piano terra seminterrato + 1-2 piani in elevazione.

Di seguito le verifiche numeriche di stabilità.

Di seguito invece si verificano le condizioni di stabilità locali legate agli sbancamenti previsti per la realizzazione dei parcheggi interrati.

2.6. STABILITA' DELLE SCARPATE DI SCAVO

2.6.1 Influenza dell'opera in progetto sulle condizioni di stabilità locale

La morfologia dei lotti dell'Ambito richiederà senz'altro l'esecuzione di opere di sbancamento con altezza di scavo variabili.

Preliminarmente si considera un'altezza di scavo massimo di circa 3-4 m.

Tra gli obiettivi della progettazione geotecnica dell'intervento vi dovrà quindi essere quello di prevedere i dovuti accorgimenti per garantire che i terreni interessati nonché quelli all'intorno, soprattutto in corrispondenza del fabbricato esistente, conservino le attuali condizioni di resistenza e che l'area mantenga le attuali caratteristiche di stabilità.

2.6.2 Stabilità delle pareti di sbancamento

Lo scavo dovrà essere realizzato con angoli di scarpata tali da mantenere idonee condizioni di stabilità e quindi garantire in ogni situazione la massima sicurezza per gli addetti ai lavori. Di seguito si esegue una verifica di stabilità del fronte di scavo in previsione.

Metodo di Taylor

Una verifica di stabilità di un fronte di scavo può essere eseguita con il metodo tradizionale di Taylor, in condizioni di breve termine, in tensioni totali.

Considerando una scarpata con geometria regolare e di altezza limitata, litologia omogenea la soluzione di Taylor (1937) risulta:

$$H_c = N_s \cdot C_u / \gamma$$

dove C_u è la coesione non drenata del terreno di peso specifico γ

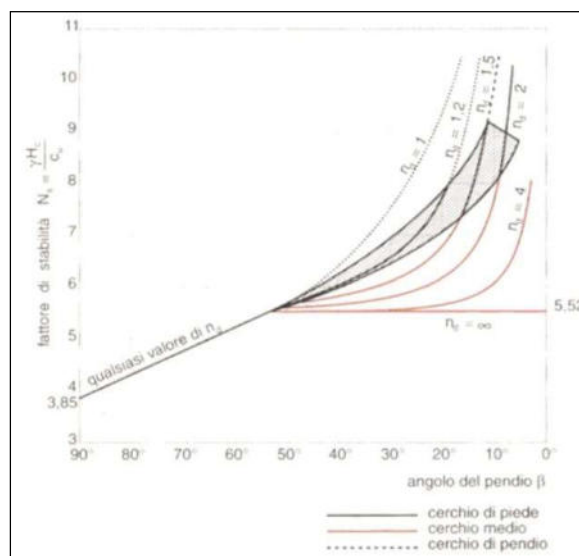
Per i terreni coinvolti nello sbanco si assumono valori cautelativi pari

a:

$$C_u = 3 \text{ t/m}^2$$

$$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$$

Il fattore di stabilità, N_s , adimensionale, dipende dalla geometria del problema ed è determinabile con il grafico a fianco, ove è indicato anche il tipo di rottura che si determina.



Dall'osservazione del grafico di Taylor, si desume che per una scarpata a parete verticale ($\beta = 90^\circ$) il fattore di stabilità vale $N_s = 3.85$, ovvero l'altezza critica è pari a:

$$H_c = 3.85 \times C_u / \gamma = 3.85 \times 3 / 1.8 = 6.4 \text{ m}$$

Per angolo di scarpata $\beta > 53^\circ$ il cerchio critico è sempre di piede.

In condizioni di scarpata stabile, e altezza $H = 3.5 \text{ m}$, il coefficiente di sicurezza FS, vale:

$$F_s = H_c / H = N_s \times C_u / \gamma \times H = 3.85 \times 3 / 1.8 \times 3.5 = 1.83$$

Dalle verifiche sopra eseguite si desume quindi che un'ipotetica scarpata di scavo subverticale alta circa 3.5 m, si presenta, a breve termine, generalmente stabile ($F_s = 1.83$).

Nel caso in corso d'opera si riscontrassero fattori quali la presenza di terreni eterogenei, terreni di riporto, eventuali limitati livelli deboli, livelli sabbiosi, fenomeni di filtrazione locale d'acqua e comunque elementi non prevedibili in questa fase di studio, tali da poter destabilizzare le scarpate, si dovrà provvedere al loro opportuno sostegno meccanico.

Per mantenere buone condizioni di stabilità a lungo termine, laddove è possibile si consiglia di sagomare la scarpata con angoli di 45-50°.

2.6.3 Regimazione delle acque e ulteriori accortezze operative

Importante sarà la corretta regimazione delle acque superficiali ed il loro opportuno smaltimento, evitando così qualsiasi dispersione liquida nei terreni.

A tergo dei muri si consiglia di posare idonee opere di drenaggio con smaltimento in rete fognaria, al fine di intercettare i percorsi di filtrazione di eventuale acqua sotterranea o derivante dalla superficie.

Si consiglia di eseguire gli scavi durante la stagione asciutta, avendo cura di lasciarli esposti per lo stretto necessario e pertanto di provvedere nel più breve tempo possibile al loro sostegno.

Predisporre una protezione di teli in previsione di piogge intense e/o prolungate.

2.7 VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE – Allegato 4

Di seguito vengono svolte le verifiche di stabilità pseudostatiche/dinamiche di un tratto di pendio ritenuto significativo su cui si colloca l'Ambito 2.9, nelle seguenti condizioni:

- Stato di fatto (ante operam)
- Stato di progetto (post operam)

A seguire sono descritte sinteticamente le assunzioni, le metodologie di verifica e i parametri sismici e geotecnici utilizzati; le specifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata alla presente relazione (Allegato 4).

Normativa

La normativa di riferimento utilizzata è quella delle NTC2018.

Le verifiche di stabilità vengono eseguite sia in condizioni statiche che dinamiche (sisma).

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, fronti di scavo, rilevati, in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici.

Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

La condizione di stato limite ultimo (SLU) viene riferita al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza F_s :

$$F_s = \tau_s / \tau_m$$

τ_s : resistenza al taglio disponibile;

τ_m : sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale).

Metodo utilizzato

Per l'esecuzione delle verifiche si è utilizzato un software di calcolo automatico, Slope della Geostru, basato su diversi metodi deterministici dell'equilibrio limite; in questo caso si è utilizzato:

- Bishop per le superfici circolari

Tramite il tracciamento di ipotetiche superfici di scivolamento circolari, suddivise in conci e coinvolgenti sia la totalità che particolari porzioni delle scarpate, è stato possibile individuare le superfici critiche caratterizzate dal fattore di sicurezza minore.

In sintesi per il calcolo di stabilità, si è proceduto tramite i seguenti passaggi:

- introduzione della geometria del pendio - input dei parametri geomeccanici del terreno - scelta delle opzioni di calcolo (normativa, metodo...) - introduzione dei coefficienti sismici - scelta della tipologia di superfici di scorrimento - esecuzione dell'analisi di stabilità.

Scelta dei parametri geotecnici

Per i pendii naturali i parametri geotecnici utilizzati sono quelli caratteristici dei terreni ($\gamma_M=1$) con scelta di valori ragionevolmente cautelativi; non vengono quindi applicati fattori di sicurezza parziali.

Per i fronti di scavo e rilevati, in condizioni sismiche, i parametri da utilizzare rimangono quelli caratteristici dei terreni ($\gamma_M=1$) e $\gamma_R=1.2$, mentre in condizioni statiche si applicano i coefficienti parziali M2 (approccio1 comb 2 A2-M2-R2) con $\gamma_R=1.1$.

Per terreni non saturi, si può fare l'ipotesi (cautelativa) che $u=0$ anche durante in sisma, ed eseguire l'analisi in tensioni efficaci (c', ϕ') sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche.

Caratteristiche geotecniche dei terreni

La sezione di verifica coinvolge un settore dell'Ambito dove si sono riscontrati i parametri geotecnici inferiori.

I terreni coinvolti possono essere classificati in due litologie; di seguito i valori caratteristici:

Terreni di copertura superficiali: $\phi'=23^\circ$ $c'=0.07 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma=1.8 \text{ t/m}^3$

Terreni di primo substrato marnoso: $\phi'=27^\circ$ $c'=0.10 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma=2.0 \text{ t/m}^3$

2.7.1 Risultati delle analisi di stabilità

Di seguito sono sinteticamente tabellati i coefficienti di sicurezza minimi, nelle condizioni ante, post operam, lungo il tratto di versante coinvolto e lungo la scarpata di scavo, con e senza sisma.

<i>F_s min ante operam – St. di fatto versante</i>		<i>F_s min post operam – progetto versante</i>	
<i>Condizioni Statiche</i>	<i>Condizioni dinamiche</i>	<i>Condizioni Statiche</i>	<i>Condizioni dinamiche</i>
<i>F_s min</i>	<i>(sisma) - F_s min</i>	<i>F_s min</i>	<i>(sisma) - F_s min</i>
2.95	2.07	1.53	1.23

Il tratto di pendio in esame, sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche (sisma), prima e dopo gli interventi edilizi, risulta verificato positivamente.

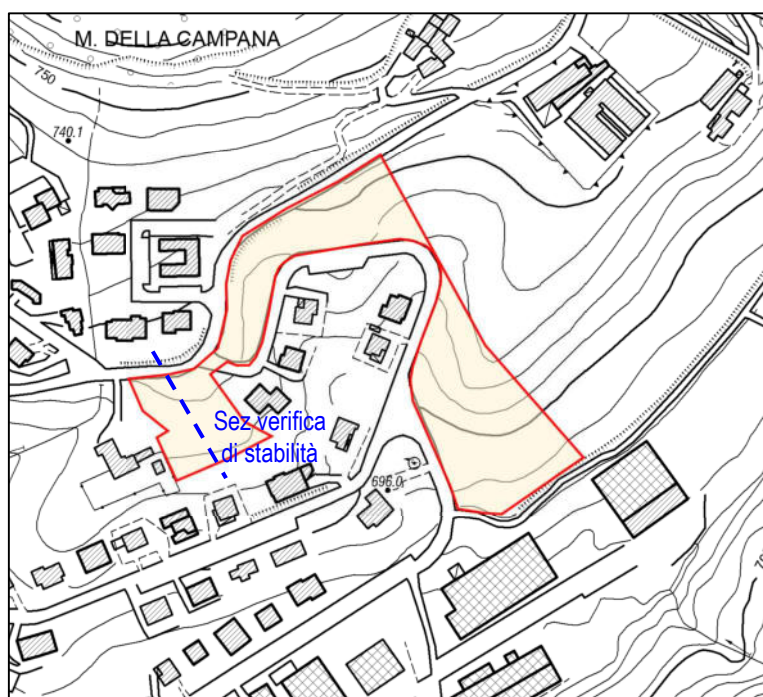
Si osserva come localmente gli interventi edificatori simulati influiscono inevitabilmente in modo significativo sulla stabilità del pendio. Occorre dire però che, nelle verifiche, a favore di sicurezza i carichi dei fabbricati sono stati collocati superficialmente e inoltre non sono state impostate opere di sostegno/contenimento alle scarpate di scavo.

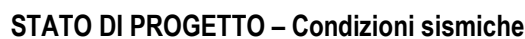
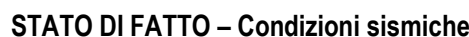
Entrambi questi fattori penalizzano decisamente i valori di F_s in condizioni di progetto. L'idonea progettazione di opere di sostegno unitamente alla corretta scelta della quota di posa delle fondazioni dei fabbricati concorreranno senz'altro a ripristinare le buone condizioni di stabilità naturali.

Fondamentale rimane la corretta regimazione delle acque superficiali ed il loro opportuno smaltimento, evitando così qualsiasi dispersione liquida nei terreni che ne possa nel tempo deteriorare le caratteristiche meccanico-resistive.

La relazione di calcolo delle verifiche è riportata in Allegato 4.

A seguire si riportano le Sezioni delle Verifiche di Stabilità nelle varie condizioni, con indicata la superficie con F_s minore.





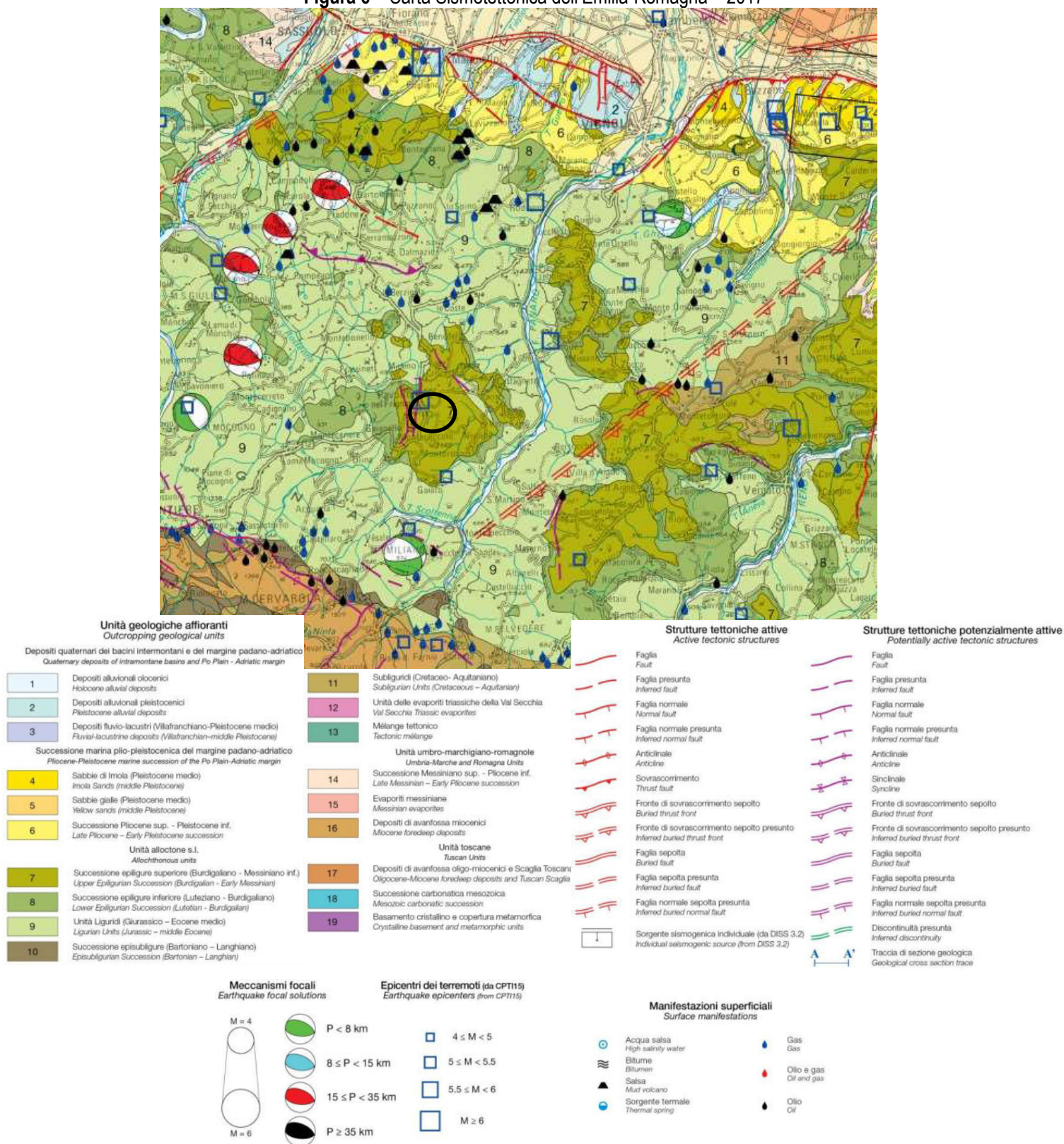
3. RELAZIONE SISMICA

3.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

3.1.1 SISMOTETTONICA

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna e una sezione relativa all'andamento dei terreni di substrato.

Figura 6 – Carta Sismotettonica dell'Emilia-Romagna – 2017



3.1.2 SISMICITÀ DEL COMUNE DI PAVULLO

Zonazione sismogenetica

È stata utilizzata la zonazione sismogenetica dell'INGV, chiamata ufficialmente ZS9. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

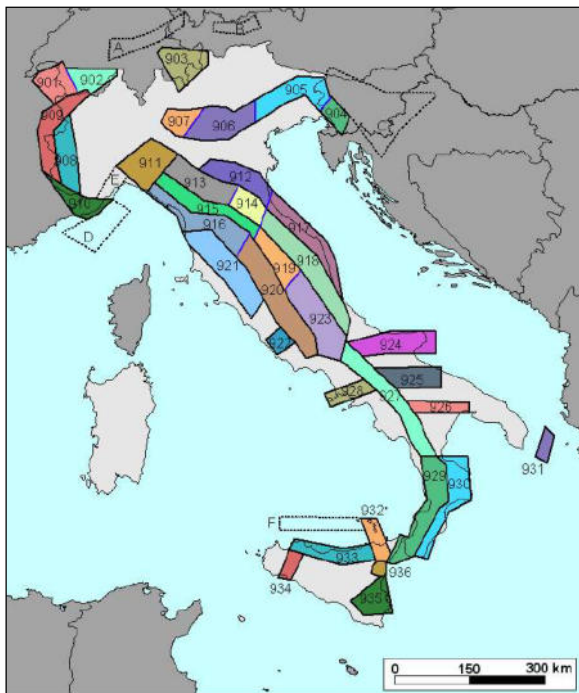


Fig. 7 – Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della “profondità efficace”, cioè dell'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in

combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, i limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche e geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità. Come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.

Le 42 zone-sorgente ZS9 vengono identificate da un numero che va da 901 a 936 o con una lettera da A a F.

Sismicità delle zone sorgenti

Il territorio del Comune di Pavullo si colloca a sud del fronte di accavallamento della successione carbonatica meso-cenozoica in sovrascorimento verso NE. In passato sono stati risentiti gli effetti di numerosi terremoti dovuti ad una sismicità naturale localizzata nelle zone 913 e 915.

Le zone 913 e 915 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di Pavullo, mentre le altre vengono considerate poco influenti per generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 912).

La zona 915 determina una sismicità riconducibile a sorgenti attivate da meccanismi focali distensivi (faglie dirette e trascorrenti distensive) con massimi storici che hanno raggiunto intensità del X° MCS (Magnitudo Ma=6-6.5). In particolare il terremoto del 1920 della Garfagnana, con intensità epicentrale del IX-X° MCS ha determinato, in base alla ricostruzione macrosismica, intensità del VI-VII° MCS a Pavullo.

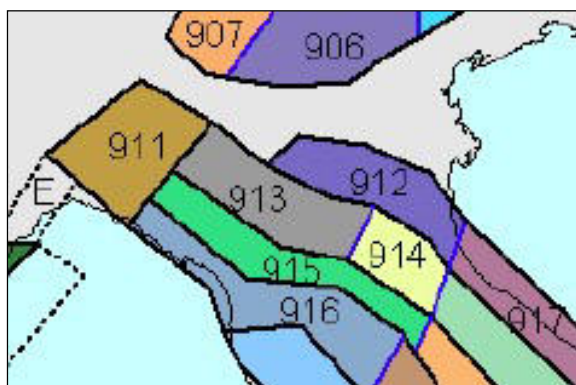


Figura 8 – Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 dell'Emilia Romagna.

potenzialmente più pericolosa per il territorio modenese.

L'intera fascia è caratterizzata da terremoti che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo. Le profondità ipocentrali sono mediamente maggiori rispetto alla fascia esterna 912. La fascia del fronte appenninico sepolto determina infatti una sismicità rappresentata da terremoti a intensità medio-bassa, ma con una discreta frequenza di accadimento.

Per quanto riguarda la sismicità storica si può osservare che meccanismi focali di terremoti a dinamica compressiva, con direzione di raccorciamento principale orientata all'incirca N-S o NNE-SSO e di magnitudo (secondo la scala di Richter) fino a 5-5,5, sono stati registrati con epicentri posti non lontani da Pavullo.

Ricostruzione della storia sismica

Il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), evidenzia quanto riportato nella figura seguente:

L'intensità massima registrata nel Comune di Pavullo è dell'VIII MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo dell'ordine di 5-5.5 (scala Richter).

L'attività tellurica dell'area è nota e documentata dall'anno 1000, anche se la qualità e la quantità delle informazioni non sono omogenee e si manifesta sia con eventi singoli di media intensità, sia con sequenze sismiche estese nel tempo.

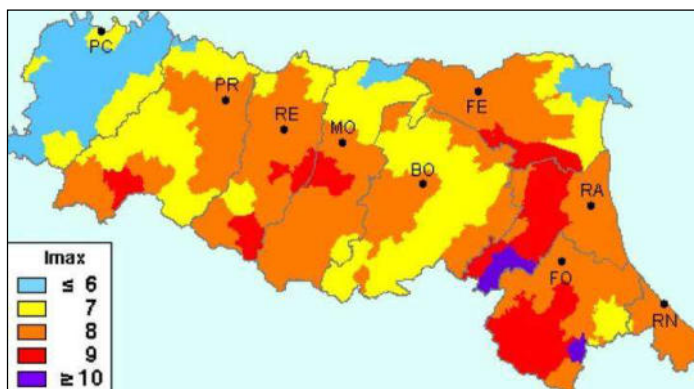


Fig. 9 – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

Le revisioni e ricollocazioni degli eventi storici e recenti, ma soprattutto l'attivazione di una rete sismica regionale integrata con quella nazionale, hanno permesso di distinguere, nell'ambito della regione, zone con differente regime sismico, vale a dire frequenza dei fenomeni, intensità e profondità focale.

Il confronto dei dati della sismicità strumentale con quelli storici evidenzia la stabilità nel tempo delle aree sismogenetiche.

Dal Catalogo parametrico CPTI15 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano:

periodo dal 1000 al 2014:

- Anno 1920 – Garfagnana – Mw 6.48
- Anno 1937 – Frignano – Mw 5.30

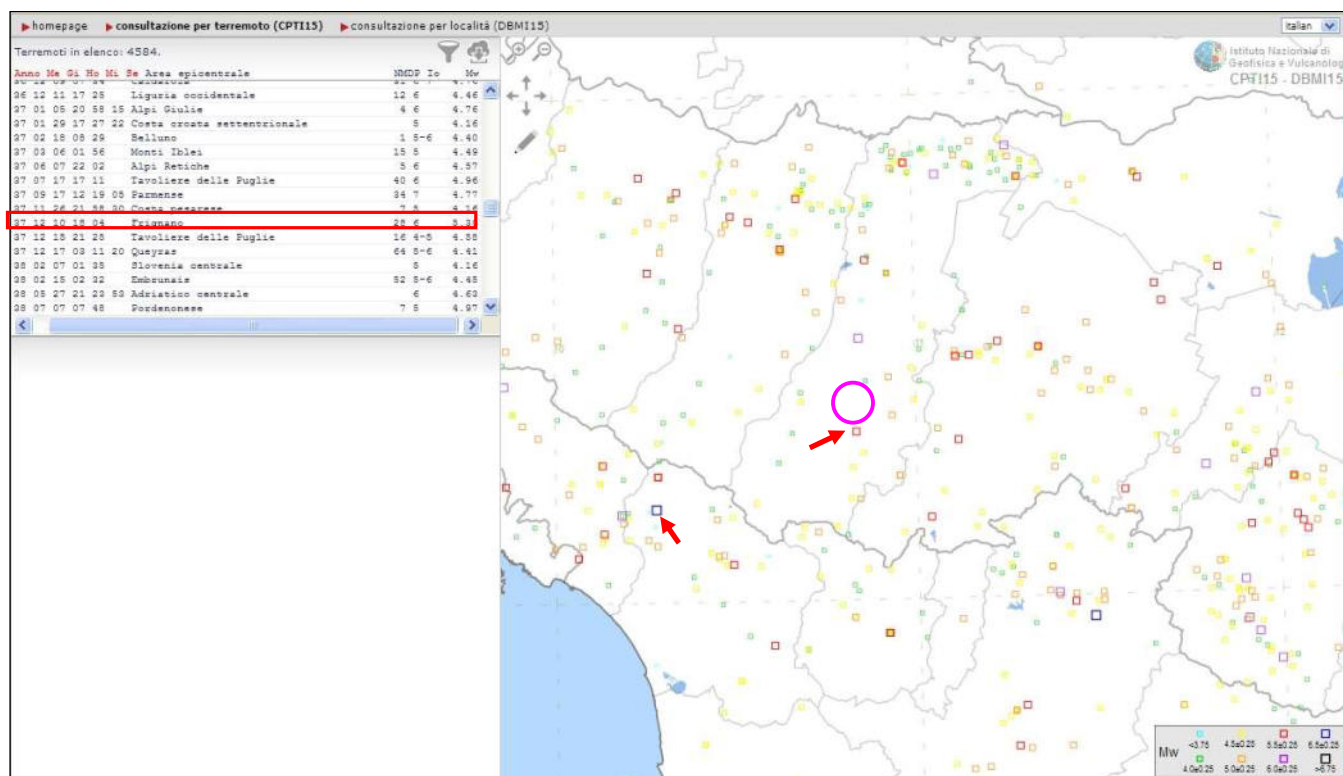


Figura 10 – Tratto da INGV CPTI15 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2015) – Dal 1000 al 2014.

 Area in studio

Nella pagina successiva sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale.

Nella tabella sono indicate:

Is: intensità al sito

Anno Me Gi: anno mese giorno dell'evento

AE: località

Io: l'intensità massima epicentrale in scala MCS

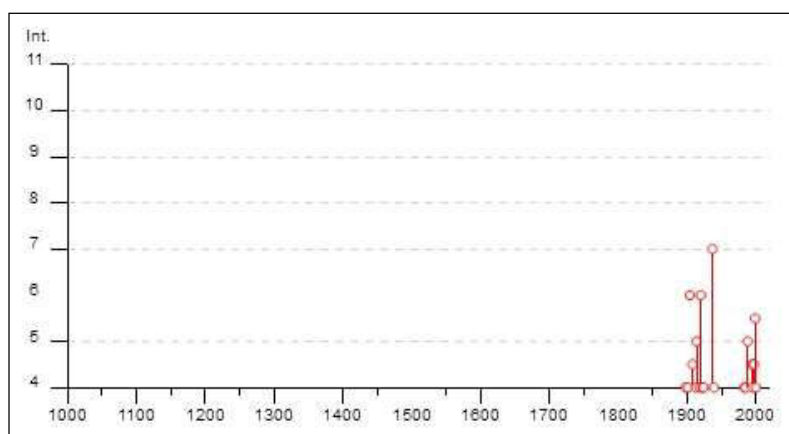
Mw: magnitudo momento

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2015 DBMI15 per Pavullo si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:

Pavullo nel Frignano

PlaceID	IT_38865
Coordinate (lat, lon)	44.334, 10.834
Comune (ISTAT 2015)	Pavullo nel Frignano
Provincia	Modena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	52

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
3	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6.27
3	1892 05 17 03 08 15.00	Carpineti	28	5	4.28
F	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5.5
F	1895 08 07 19 49 32.00	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
3	1896 07 08 01 51 28.00	Porretta Terme	17	5	4.37
NF	1896 12 08 17 06 45.00	Sestola	26	5	4.33
NF	1897 09 06 03 10 44.00	Valdarno inferiore	104	5-6	4.59
4	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5.37
4	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5.44
6	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	101	6	4.82
4-5	1908 06 02 22 30	Frignano	18	4-5	4.5
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34
4	1913 02 13 16 39	Corno alle Scale	26	5	4.18
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
3	1915 10 10 23 10	Reggiano	30	6	4.87
3	1916 05 17 12 50	Firminese	132	8	5.82
4	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6.38
3	1919 09 25 03 15	Frignano	7	4	3.7
6	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6.53
2	1922 08 02 21 13	Frignano	21	5	4.32
4	1923 06 28 15 12	Modenese	22	6	5.04
4	1924 06 12 21 03 48.00	Frignano	25	5-6	4.46
2-3	1928 06 13 08	Carpi	35	6	4.67
3-4	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
2	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
2	1931 06 10 17 02	Modenese	14	4	4.59
3	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
7	1937 12 10 18 04	Frignano	28	6	5.3
4	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4.96
3	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5.17
NF	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4.74
3	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4.73
3	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5.51
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5.04
4	1985 01 23 10 10 16.55	Garfagnana	73	6	4.6
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4.71
3-4	1988 02 08 11 24 46.14	Garfagnana	75	6	4.34
5	1988 02 08 13 36 44.64	Frignano	43	5	4.28
NF	1992 04 17 11 59 07.29	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
4-5	1995 08 24 17 27 33.00	Appennino pistoiese	56	6	4.45
1-2	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4.82
4	1995 12 31 21 29 47.60	Appennino reggiano	96	4-5	4.51
4-5	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5.38
4-5	1997 12 24 17 53 10.12	Garfagnana	98	5	4.33
5-6	1999 07 07 17 16 12.59	Frignano	32	5	4.67
NF	2000 06 18 07 42 07.68	Pianura emiliana	304	5-6	4.4
4	2000 10 03 01 12 36.56	Frignano	62	5	4.22
3-4	2002 06 08 20 13 07.10	Frignano	115	4	4.23
3-4	2002 06 18 22 23 38.10	Frignano	186	4	4.3
NF	2002 06 19 22 11 15.57	Frignano	52	3	4.03
3	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5.24



Tratto da INGV DBMI15 (Database Macrosismico Italiano – 2015)

3.1.3 Frequenza di accadimento in Emilia Romagna

La frequenza con cui si sono verificati in passato i terremoti capaci di produrre danni significativi agli edifici consente di valutare con quale frequenza si manifesteranno in futuro, dal momento che questa presumibilmente non cambia.

Nella tabella sono riportati, per varie soglie di magnitudo, il numero di eventi per intervalli di tempo crescenti di 100 anni, partendo dall'ultimo secolo, registrati in Emilia Romagna.

CLASSI DI MAGNITUDO	INTERVALLO DI 100 ANNI		INTERVALLO DI 200 ANNI		INTERVALLO DI 300 ANNI		INTERVALLO DI 400 ANNI	
	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione	Numero di terremoti	Tempo in anni di ripetizione
4.5 < Ma < 5.0	28	3,6	56	3,6	67	4,5	75	5,3
5.0 < Ma < 5.5	10	10,0	16	12,5	22	13,6	27	14,8
5.5 < Ma < 6.0	3	33,3	4	50,0	6	50,0	8	50,0
Ma > 6.0	-	-	-	-	-	-	-	-
Tutte*	76	1,3	129	1,5	147	2,0	173	2,3

* tutti gli eventi che hanno prodotto danni (intensità epicentrale massima osservata maggiore di V-VI grado MCS)

Come si può osservare le frequenze che si ottengono nei primi due intervalli, più attendibili perché andando indietro nel tempo il catalogo dei terremoti diventa più incompleto, è di un evento ogni 1.3-1.5 anni. Valori di magnitudo maggiori di 5.0, che corrispondono ad intensità epicentrali di VII-VIII grado MCS indicano un evento ogni 10-12 anni, mentre terremoti con Ma>5.5

(VIII-IX grado MCS) si ripetono con una frequenza di un evento ogni 50 anni, che si mantiene costante indicando una buona completezza del catalogo.

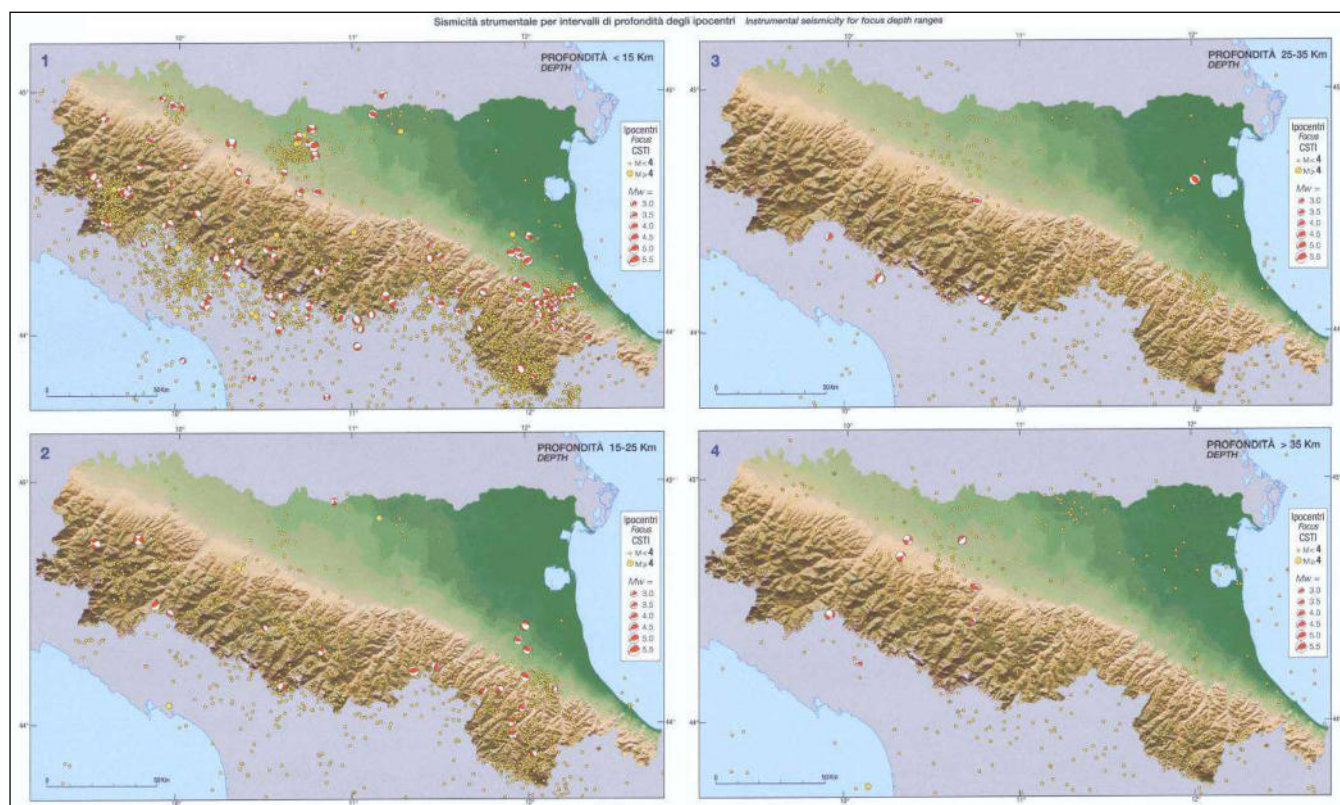


Figura 11 – Sismicità strumentale per intervalli di profondità degli ipocentri.

3.1.4 Sismicità recente

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Pavullo è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2007 e il 25/08/2015, aventi una magnitudo maggiore di 5 in un raggio di 100 km e maggiore di 4.5 nel raggio di 50 Km dal Comune di Pavullo.

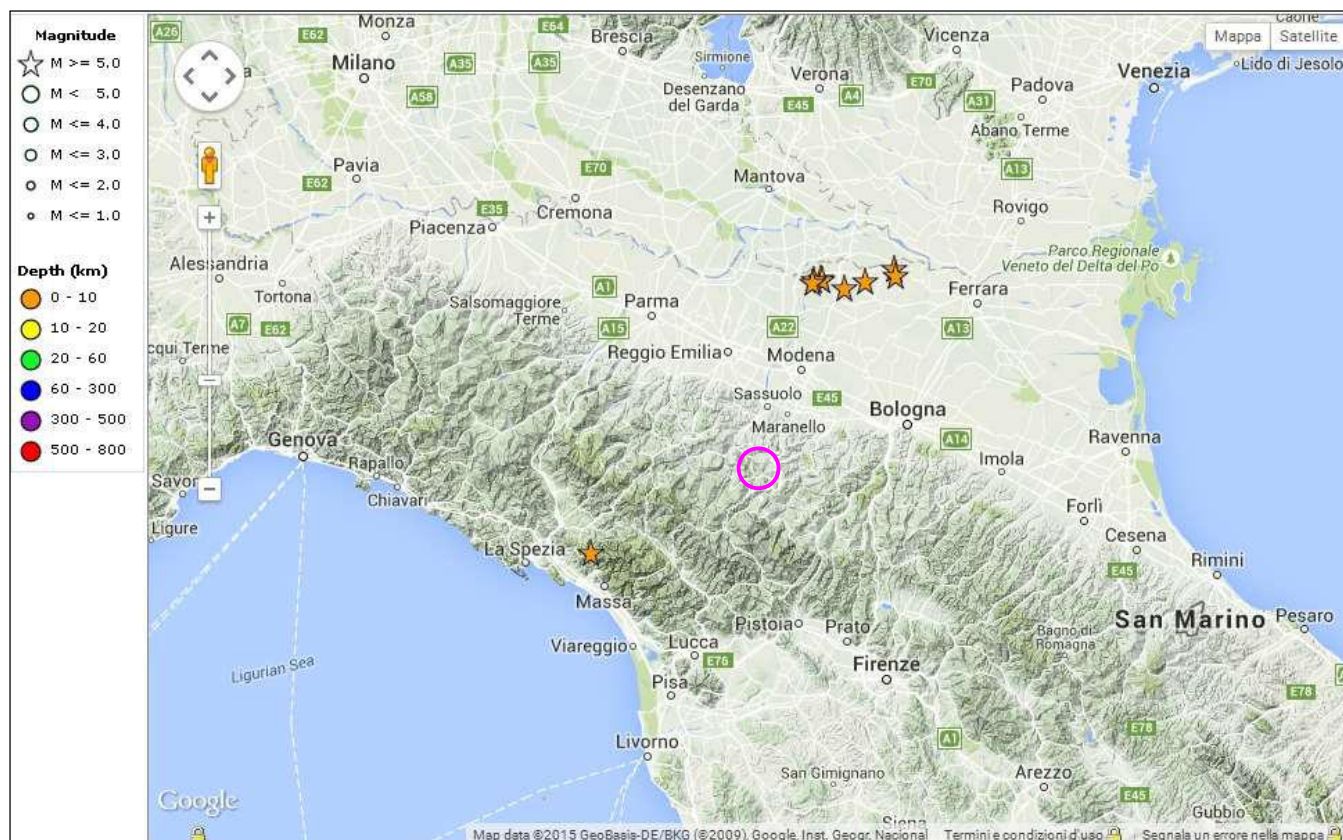


Figura 12: Eventi sismici recenti registrati con $M > 5$ in un raggio di 100 Km dal Comune di Pavullo

Data: 01/01/2007 → 30/06/2021

Distanza: 100 km da Pavullo

Magnitudo: > 5

Terremoti totali: 9

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2013-06-21 10:33:56.070	44.09	10.062	5.7	5.1-Mw	BULLETIN
2012-05-29 11:00:22.990	44.866	10.976	7.2	5.1-ML	BULLETIN
2012-05-29 11:00:01.680	44.856	10.941	8.7	5.0-ML	REMO
2012-05-29 10:55:56.550	44.865	10.98	4.4	5.3-Mw	REMO
2012-05-29 08:25:51.480	44.865	10.948	7.9	5.0-ML	REMO
2012-05-29 07:00:02.880	44.842	11.066	8.1	5.6-Mw	REMO
2012-05-20 03:02:47.090	44.86	11.152	9.1	5.0-ML	BULLETIN
2012-05-20 02:07:28.950	44.874	11.27	6.1	5.0-ML	BULLETIN
2012-05-20 02:03:50.170	44.896	11.264	9.5	5.8-Mw	BULLETIN

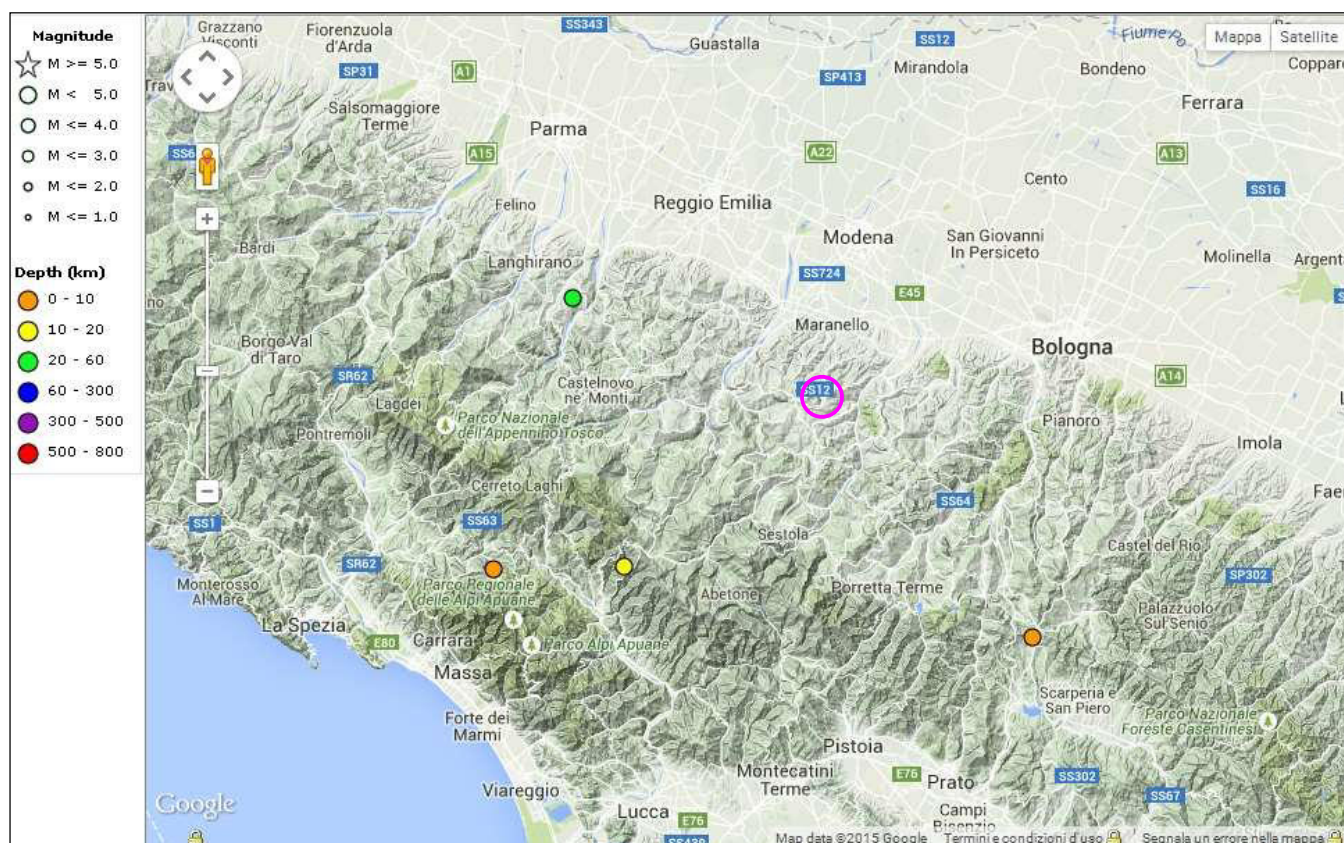


Figura 13: Eventi sismici recenti registrati con $M > 4.5$ in un raggio di 50 Km dal Comune di Pavullo

Data: 01/01/2007 → 30/06/2021

Distanza: 50 km da Pavullo

Magnitudo: > 4.5

Terremoti totali: 4

Tempo Origine (UTC)	Latitudine	Longitudine	Profondità	Magnitudo	Fonte
2013-06-30 14:40:08.480	44.16	10.187	6.1	4.5--Mw	BULLETIN
2013-01-25 14:48:18.270	44.164	10.446	19.8	4.8--Mw	BULLETIN
2008-12-23 15:24:21.770	44.544	10.345	22.9	4.9--Mw	BULLETIN
2008-03-01 07:43:13.080	44.063	11.253	3.8	4.5--Mw	BULLETIN

Come si evince dalle Tabelle sopra riportate, gli eventi principali ($M > 5$) registrati nel raggio di 100 Km dal Comune di Pavullo sono i terremoti del maggio-giugno 2012 della bassa pianura modenese e ferrarese e quello di giugno 2013 della Lunigiana in Toscana.

3.2 NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO

Ordinanza P.C.M. 3274/2003

A seguito della nuova classificazione sismica (Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/3/2003 e s.m), il territorio nazionale è diviso in 4 zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima (a_g) su suolo di categoria A.

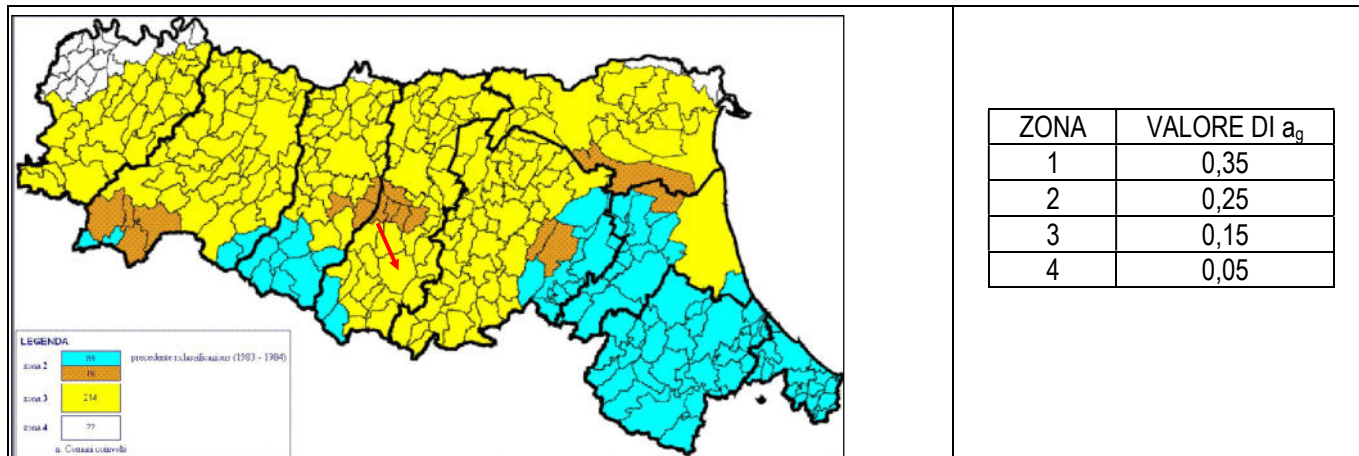


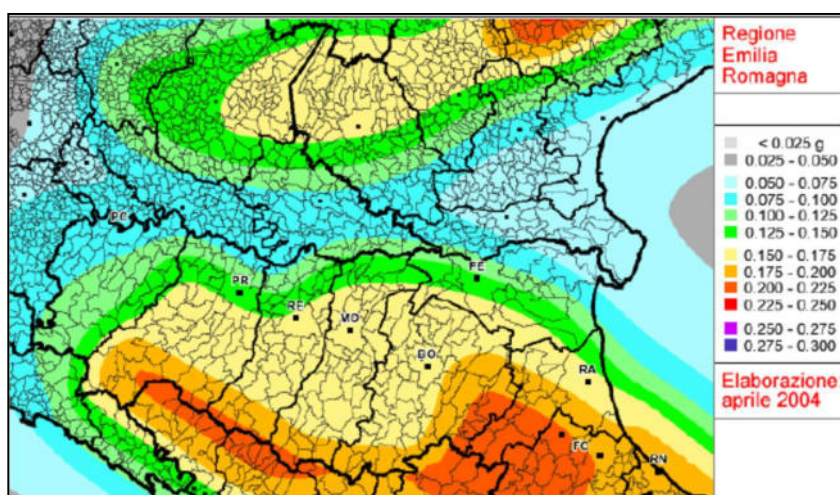
Fig. 14 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Pavullo ricade in "zona sismica 3" a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g , pari a $a_g = 0,15g$.

Ordinanza P.C.M. 3519/2006

Successivamente, l'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*.

A tale ordinanza è allegata la *Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale* nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Pavullo è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo**



(a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1), **compresi tra 0,150-0,175** l'accelerazione di gravità g .

Fig. 15 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web RER).

Dal. Rer. 112/2007 – DGR 630/2019

La RER con la Dal n. 112 del 02-05-2007 e successivamente con la DGR 630/2019 ha approvato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica.”; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della Regione.

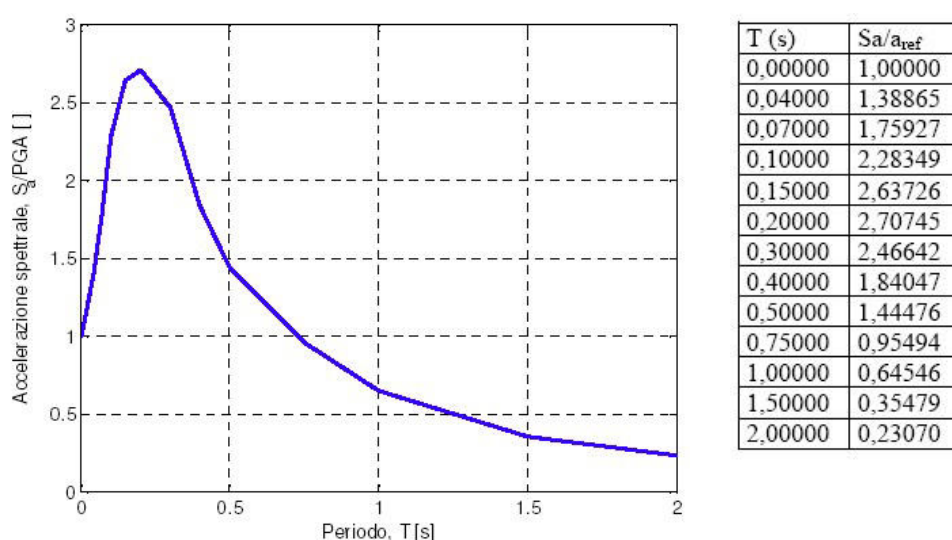
MO	Nonantola	0.160
MO	Novi di Modena	0.139
MO	Palagano	0.164
MO	Pavullo	0.159
MO	Pievepelago	0.194
MO	Polinago	0.161
MO	Prignano	0.158

Per il Comune di Pavullo: $a_{refg}=0,159$

Definizione del moto di riferimento

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia nell'intervallo $0,150 \div 0,175$ g. Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna nella redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica” dove viene indicata una PGA corrispondente a 0,159 g per l'intero territorio comunale.

La RER fornisce lo spettro di risposta normalizzato, dal quale è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella seguente per il valore di a_{refg} di ogni comune (vedi sopra), lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.



Spettro di risposta normalizzato ($T_R = 475$ anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio T , espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (pari a 9.81m/s^2), al corrispondente periodo T .

NTC2018

Le NTC stabiliscono che l'accelerazione orizzontale massima del sito di riferimento non è più riferita ad una classificazione comunale ma viene calcolata considerando le proprietà del sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi (§ 7.11.3 NTC18). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella seguente Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Il suolo può essere assimilato e classificato in modo semplificato in una delle 5 classi principali (A,B,C,D,E).

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

h_i = spessore dello strato i -esimo

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i -esimo

N = numero strati considerati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

3.3 INDAGINI SISMICHE

Per la caratterizzazione sismica del suolo di fondazione oltre alla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Pavullo, sono state eseguite indagini geofisiche “sito-specifiche”, comprensive di:

- n° 2 indagini di sismica a rifrazione con metodologia MASW (All. 2)
- n° 3 prospezioni sismiche passive di microtremori HVSR (All. 3)

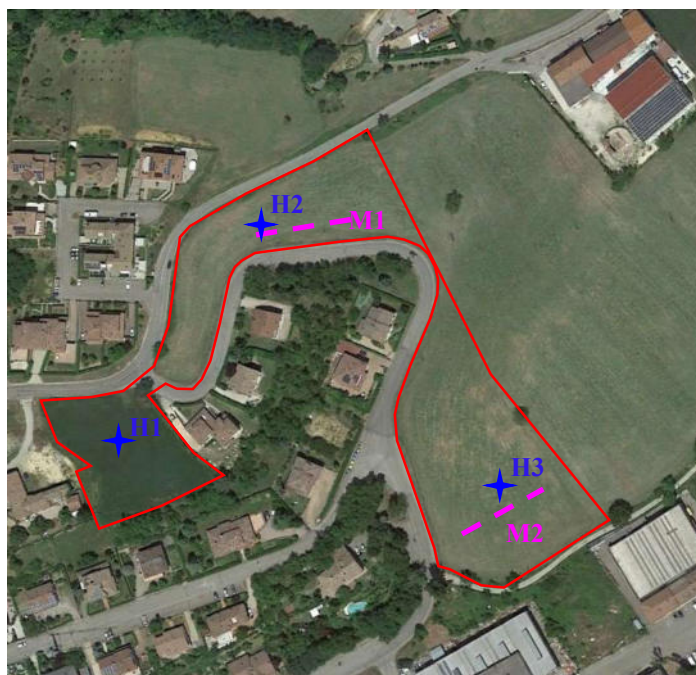


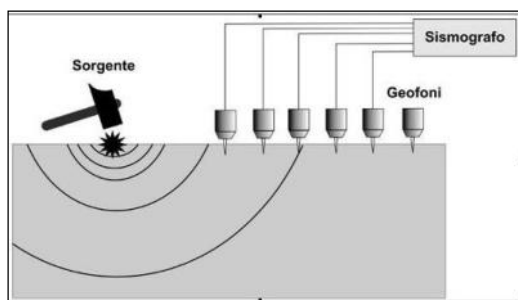
Fig. 16 – Ubicazione indagini geofisiche

3.3.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TIPO MASW – ALLEGATO 2

Al fine di valutare la possibilità di definire in modo semplificato la categoria di suolo e fornire una prima caratterizzazione della risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo con le NTC 2018.

Acquisizione e strumentazione impiegata



La tecnica non è invasiva e richiede una fonte di energizzazione (mazza battente).

Le onde *Rayleigh*, che sono il risultato dell'interferenza fra le onde di pressione “P” e quelle di taglio “S”, si trasmettono sulla superficie libera e, in un terreno stratificato, subiscono una sorta di dispersione con velocità di propagazione che dipende dalla frequenza.

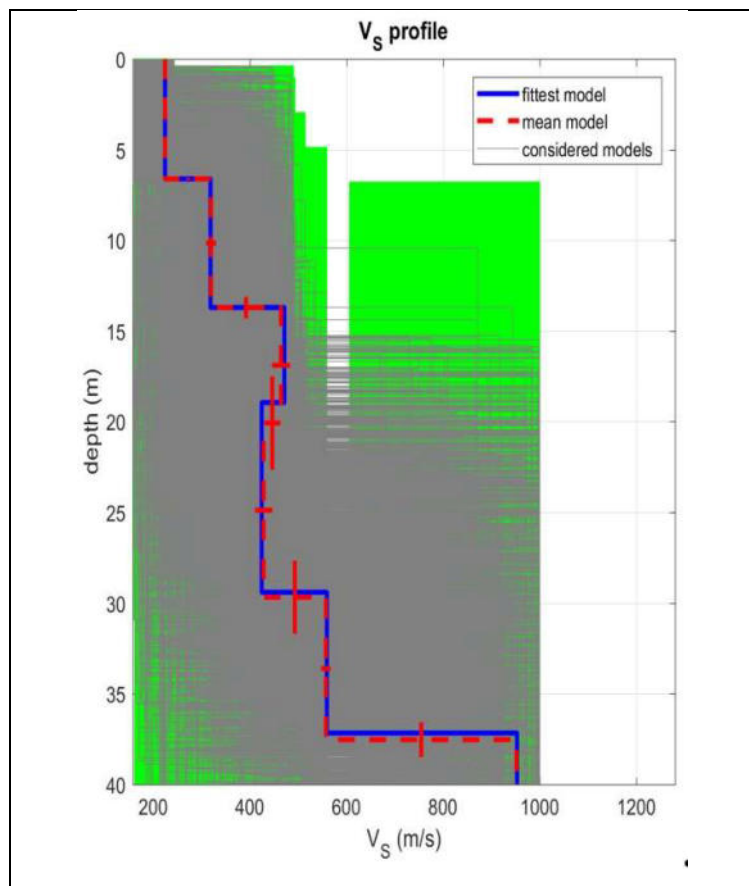
Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità per cui hanno una maggior velocità di fase.

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (Sismografo PASI mod. 16S-U) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz (spaziatura tra geofoni 2 m, 1s di acquisizione, offset minimi di 2-5 m).

L'indagine eseguita è composta da n° 2 stendimenti lunghi 46 m; l'ubicazione dello stendimento è riportata nella figura.

Profili di Vs

Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime. Di seguito si riportano, per le due Masw, i profili verticali delle Vs.



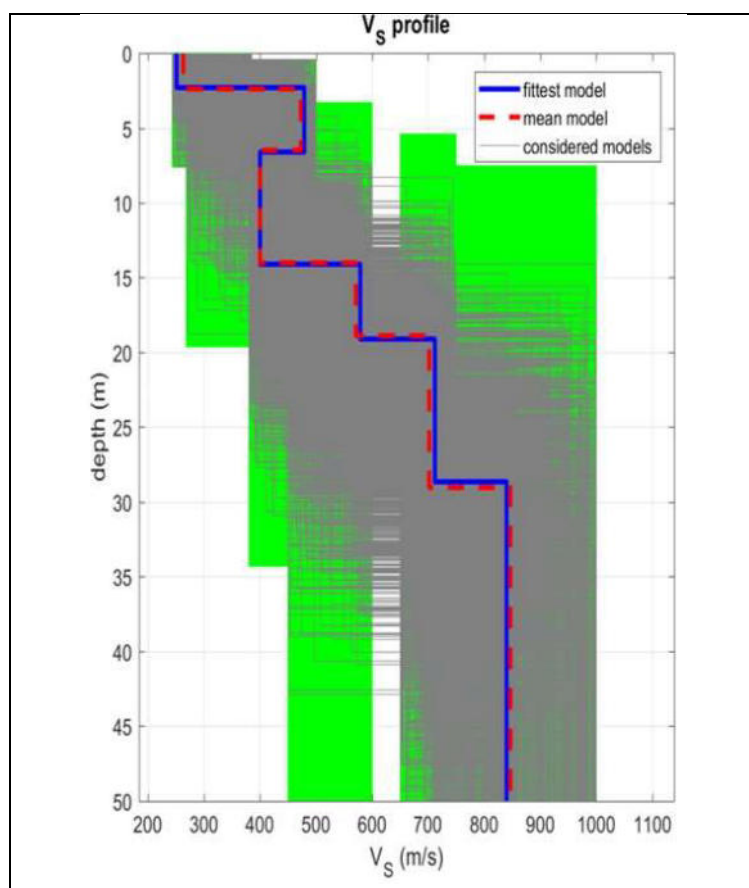
MASW - 1

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	6.6	6.6	224
6.6	13.7	7.1	318
13.7	18.9	5.2	471
18.9	29.4	10.5	424
29.4	37.2	7.8	559
37.2			953

CATEGORIA DI SUOLO: C (NTC18)

Terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalentemente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

$$VsEq = Vs30 = 338 \text{ m/s}$$



MASW - 2

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	2.3	2.3	251
2.3	6.6	4.3	479
6.6	14.1	7.5	400
14.1	19.1	5.0	579
19.1	28.7	9.6	712
28.7			840

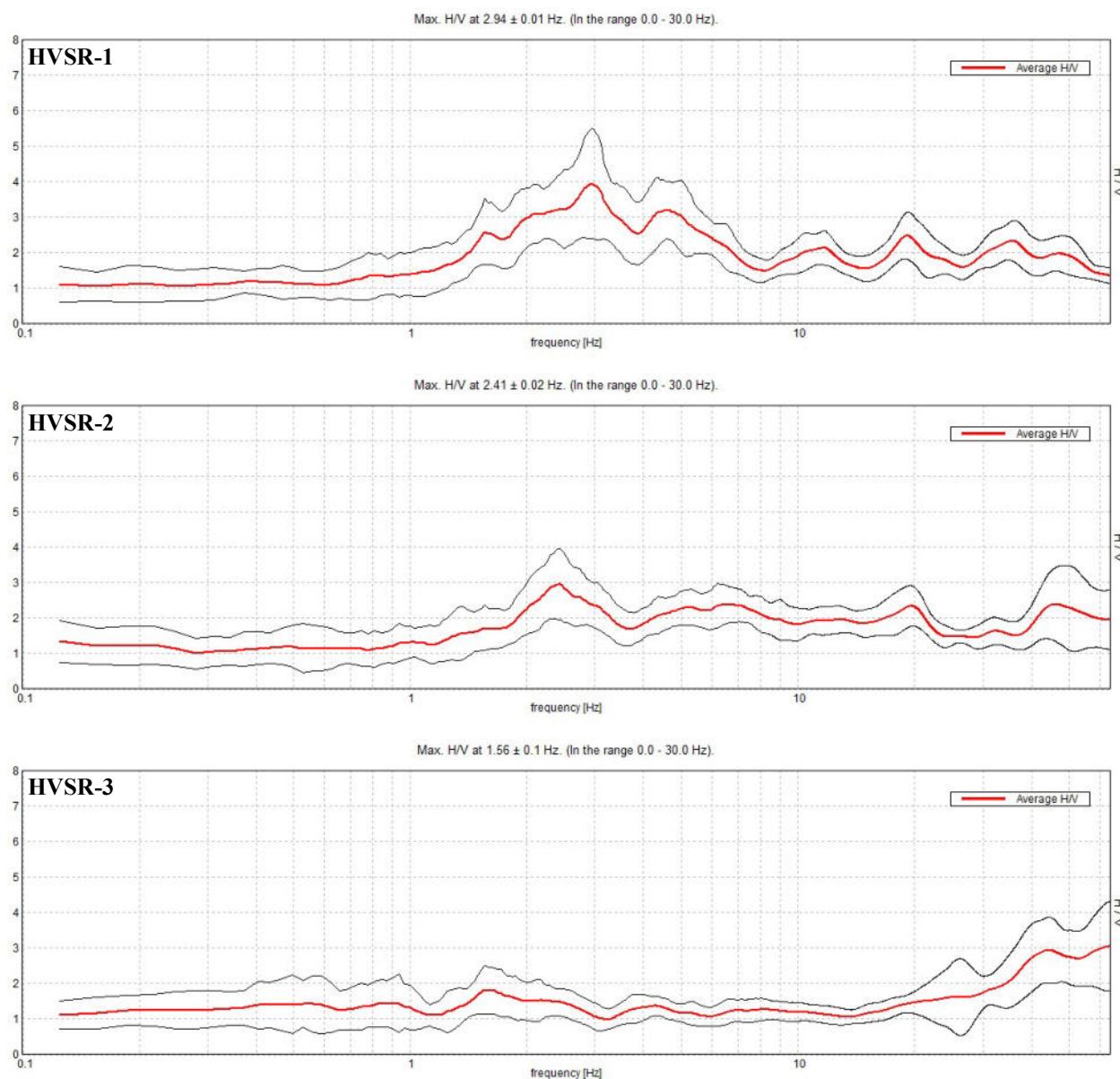
CATEGORIA DI SUOLO: B (NTC18)

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalentemente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

$$VsH = 486 \text{ m/s (H=28.7 m)}$$

L'andamento della curva H/V unitamente all'osservazione del profilo Vs della Masw permette di rilevare l'assenza di sostanziali inversioni di velocità; la linea rossa (average H/V) si mantiene con valori superiori a 1.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



Frequenze di risonanza

Le curve H/V mostrano i seguenti picchi principali di risonanza:

Hvsr-1:	2.94 Hz
Hvsr-2:	2.41 Hz
Hvsr-3:	- Hz

Questi andamenti, ritenuti affidabili e di origine stratigrafica, evidenziano come ci sia un passaggio di rigidezza tra i terreni di copertura/primo substrato alterato e il substrato, stimabile negli Hvsr 1-2 intorno ai 30-37 m di profondità (vedi profilo Vs della Masw 1).

Il range tipico di interesse ingegneristico/strutturale delle costruzioni è compreso tra 1-10 Hz.

In fase progettuale sarà determinata la frequenza di vibrazione delle strutture. La conoscenza di tale caratteristica è necessaria al fine di valutare l'esistenza di eventuali incrementi dell'ampiezza delle oscillazioni sismiche, legati a fenomeni di doppia risonanza tra la frequenza fondamentale dei terreni superficiali e il primo modo di vibrare dei fabbricati in previsione.

3.4 CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO

Utilizzando l'analisi semplificata, l'osservazione dei dati ottenuti con le indagini geofisiche unitamente alle conoscenze geologiche e litostratigrafiche, permette di ottenere:

Masw 1 – $V_s E_q = V_s 30 = 338$ m/s **Categoria di suolo C (NTC2018)**

Masw 2 – $V_s E_q = V_s H$ (H: 28.7 m) = 486 m/s **Categoria di suolo B (NTC2018)**

a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica **$S_s = 1.20$ (Suolo B) e $S_s = 1.46$ (Suolo C).**

3.5 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

Tab. 3.2.III – <i>Categorie topografiche</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella seguente Tab. 3.2.V, in funzione della categoria topografica definita e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tab. 3.2.V, fino alla base, dove S_T assume valore unitario.

Tab. 3.2.V – <i>Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T</i>		
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

L'Ambito in esame si colloca nel tratto medio-inferiore di un pendio con acclività media $< 15^\circ$, pertanto la **categoria topografica è T1** a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione: **$S_T = 1.0$.**

3.6 CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO (NTC 2018)

I parametri spettrali per definire l'azione sismica di progetto vengono calcolati in un punto medio all'interno dell'Ambito:

- a) Classe dell'opera II - Cu = 1
- b) vita nominale della costruzione: 50 anni
- c) azione sismica: stato limite di salvaguardia della vita (tempo di ritorno: 475 anni)

I parametri tabellati sono sempre riferiti al substrato rigido. Oltre ad ag si riportano anche altri due parametri:

- Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore del sito viene ottenuto tramite la media pesata dei valori che si riferiscono ai quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto mediante la seguente formula:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove:

p = valore del parametro di interesse nel punto in esame

pi = valore del parametro di interesse nell'i-simo punto della maglia elementare contenete il punto in esame

di = distanza del punto in esame dall'i-simo punto della maglia suddetta

Parametri sismici

Di seguito si riportano i parametri e i coefficienti sismici del sito.

Sito in esame	Siti di riferimento
latitudine: 44,331098	Sito 1 ID: 17389 Lat: 44,3551 Lon: 10,8338 Distanza: 2902,278
longitudine: 10,848214	Sito 2 ID: 17390 Lat: 44,3566 Lon: 10,9037 Distanza: 5246,135
Classe: 2	Sito 3 ID: 17612 Lat: 44,3067 Lon: 10,9058 Distanza: 5328,518
Vita nominale: 50	Sito 4 ID: 17611 Lat: 44,3051 Lon: 10,8360 Distanza: 3048,480

Parametri sismici

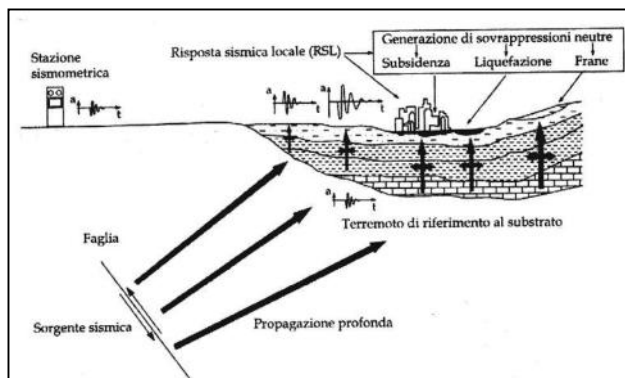
Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Di seguito i parametri sismici ai vari stati limite:

Parametri sismici	Operatività SLO
Probabilità di superamento: 81 %	Ss: 1,500
Tr: 30	Cc: 1,660
[anni]	St: 1,000
ag: 0,056 g	Kh: 0,017
Fo: 2,499	Kv: 0,008
Tc*: 0,252[s]	Amax: 0,827
	Beta: 0,200
Parametri sismici	Danno SLD
Probabilità di superamento: 63 %	Ss: 1,500
Tr: 50[anni]	Cc: 1,630
ag: 0,070 g	St: 1,000
Fo: 2,491	Kh: 0,021
Tc*: 0,265[s]	Kv: 0,010
	Amax: 1,026
	Beta: 0,200
Parametri sismici	Salvaguardia della vita SLV
Probabilità di superamento: 10 %	Ss: 1,460
Tr: 475[anni]	Cc: 1,580
ag: 0,159 g	St: 1,000
Fo: 2,520	Kh: 0,056
Tc*: 0,292[s]	Kv: 0,028
	Amax: 2,281
	Beta: 0,240
Parametri sismici	Prevenzione del collasso SLC
Probabilità di superamento: 5 %	Ss: 1,400
Tr: 975[anni]	Cc: 1,560
ag: 0,200 g	St: 1,000
Fo: 2,529	Kh: 0,079
Tc*: 0,302[s]	Kv: 0,039
	Amax: 2,749
	Beta: 0,280

3.7. PERICOLOSITÀ SISMICA ED EFFETTI LOCALI

La diversa entità dei danni prodotti da un terremoto nello stesso ambito territoriale dimostra che le azioni sismiche possono



assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni geologiche che caratterizzano un dato ambito territoriale (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza/profondità della falda freatica, proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, ecc).

Terreni con caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti possono, in condizioni di sollecitazione sismica, perdere

temporaneamente o permanentemente la capacità portante a loro ascrivibile in condizioni statiche, causando cedimenti e lesioni negli edifici, anche se questi sono stati costruiti secondo criteri tali da far loro sopportare le sollecitazioni indotte dai terremoti attesi. Altro caso riguarda l'effetto di liquefazione in condizioni sismiche dei terreni sabbiosi saturi che, sotto sollecitazioni cicliche, tendono a perdere la loro resistenza al taglio.

In alcuni casi, le particolari caratteristiche del sito, sia di tipo morfologico sia derivanti dalla natura del substrato, possono determinare effetti di amplificazione delle sollecitazioni, rispetto ad una situazione tipo. Si precisa che la situazione tipo è in generale definita da un'area pianeggiante con roccia granitica come appoggio per le strutture di fondazione degli edifici oppure, negli studi di microzonazione sismica, come il substrato roccioso (bedrock) che risente del terremoto di riferimento per il sito in questione, rispetto al quale si verifica l'eventuale effetto di amplificazione.

Tale effetto di amplificazione è legato alla presenza di terreni con rigidità inferiori a quella di riferimento; tale condizione di minore rigidità può ad esempio essere espressa dal valore dell'impedenza acustica della roccia (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche): più l'impedenza acustica della roccia è minore rispetto a quella della roccia di riferimento più l'effetto di amplificazione si rende evidente.

L'effetto di amplificazione sismica si risente poi anche quando il substrato è costituito da "terreni" (in senso geotecnico: terreni quaternari, depositi superficiali, ecc.), che per la loro stessa natura sono caratterizzati da valori di impedenza acustica sempre inferiori a quelli della roccia di riferimento. In questi casi, tuttavia, accade spesso che il fenomeno di amplificazione non risulta la causa delle lesioni e dei crolli degli edifici costruiti su questi terreni. In effetti, sono le caratteristiche geotecniche dei medesimi, che in condizioni di sollecitazione sismica tendono a peggiorare decisamente, a determinare i crolli: a causa della perdita di capacità portante alle strutture di fondazione, che avviene prima che l'effetto di amplificazione venga risentito dalla struttura degli immobili.

Fondamentale quindi è la valutazione della "risposta sismica locale" (RSL). Con tale termine s'intende l'insieme delle modifiche in intensità, ampiezza e frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraverso gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

I due coefficienti di amplificazione che sono stati considerati in questo studio sono:

S_s (in base al profilo stratigrafico e tipo di suolo) e S_T (coefficiente di amplificazione topografica)

Per l'area in esame, si escludono effetti locali indotti da liquefazione e da cedimenti.

Nel Cap. 2.7 è stato trattato l'effetto dell'instabilità di versante.

Nel Cap. 3.2-3.3 sono stati valutati gli effetti dovuti alle caratteristiche litologiche (metodo semplificato).

3.7.1 MICROZONAZIONE SISMICA - CARTA DELLE MOPS

Dalla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Pavullo, di seguito si riporta la “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica”, nella quale l'Ambito in studio rientra quasi totalmente nella Zona 1 “Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali”. Le indagini sismiche svolte confermano sostanzialmente la zonazione comunale.

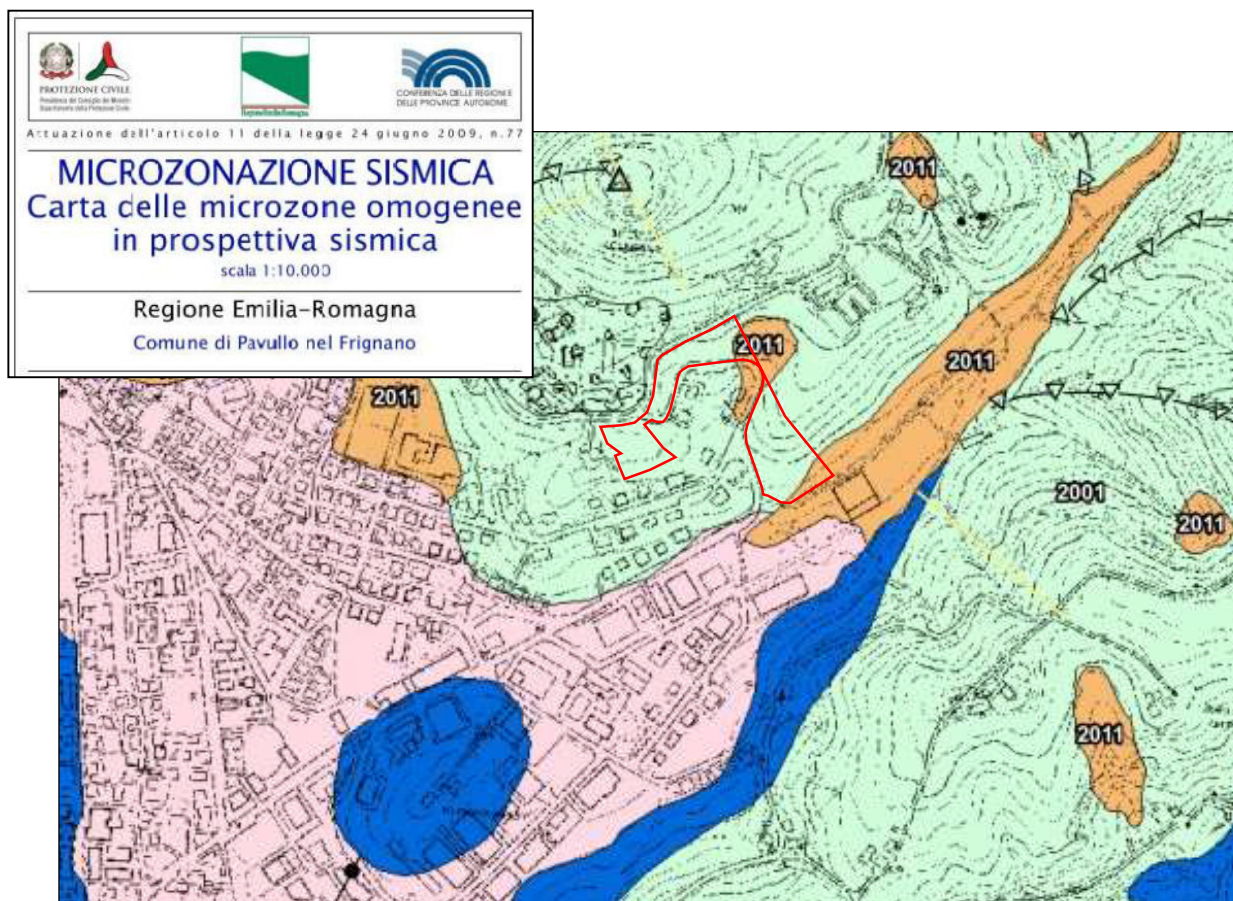
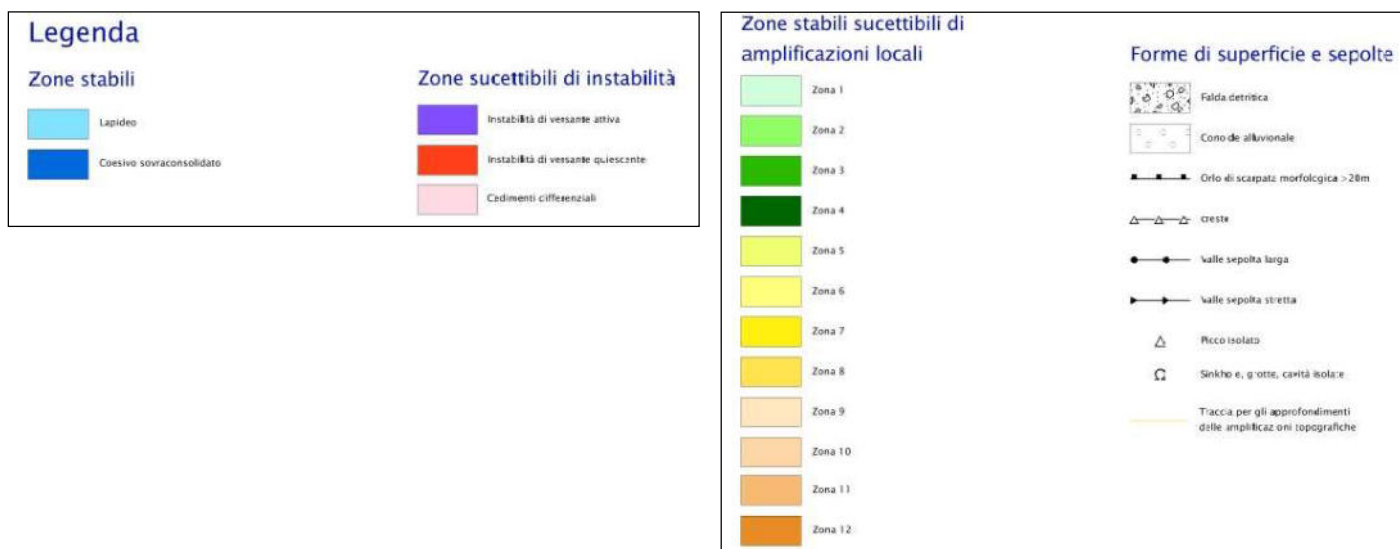


Fig. 17



3.8 MICROZONAZIONE SISMICA - DAL 112/2007 ⇒ DGR 630/2019 ⇒ DGR 476/2021

La Regione con deliberazione dell'Assemblea Legislativa n. 112/2007 ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. n. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a gli "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", successivamente aggiornato con propria deliberazione n. 2193/2015.

Alla luce dei recenti studi di microzonazione sismica realizzati per la ricostruzione dei Comuni dell'Italia Centrale colpiti dalla sequenza sismica iniziata il 24 agosto 2016, la Commissione Tecnica, nella versione 4.1 degli standard, richiede la valutazione dei fattori di amplificazione sismica anche in termini di accelerazione per intervalli di periodi compresi tra 0,1 e 0,5 s, tra 0,4 e 0,8 s e tra 0,7 e 1,1 s; tali parametri non sono previsti nei citati indirizzi regionali (Delibera Assemblea legislativa n. 112/2007 e propria deliberazione n. 2193/2015).

Nel Settembre 2015, le Tabelle della Dal 112/07 sono state oggetto di una opportuna revisione nel lavoro prodotto dal CNR – Istituto per la dinamica dei processi ambientali di Milano dal titolo "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" (A. Tinto, L. Martelli, A. Marcellini).

Questo studio ha rivisto la suddivisione del territorio regionale in ambiti geo-litologici omogenei.

Nel territorio regionale sono stati individuati due ambienti geo-litologici omogenei principali relativi a: 1) zona collinare e montana (Appennino) e 2) pianura e zona costiera che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine).

La figura seguente riporta schematicamente questa suddivisione.

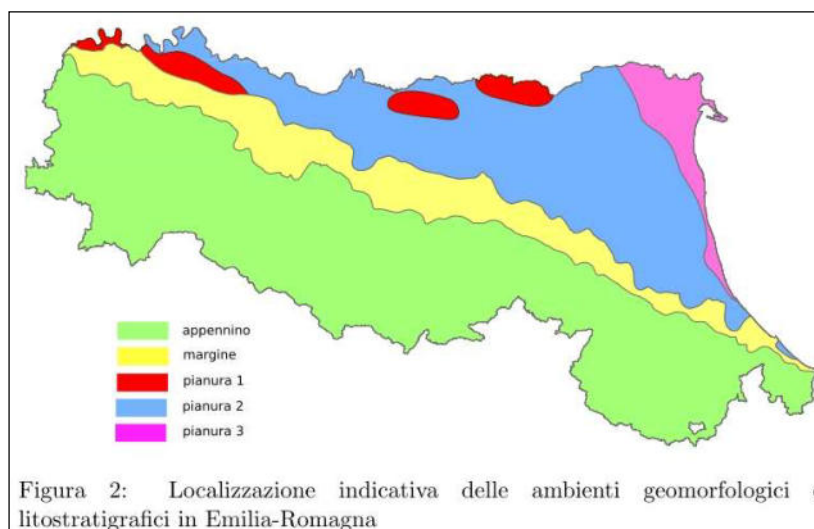


Fig. 18 - Tratta da: "Abachi per la valutazione dei fattori di amplificazione per le indagini di microzonazione sismica di secondo livello in Emilia-Romagna" CNR (A. Tinto, L. Martelli, A. Marcellini).

In data 6 aprile 2018 il CNR-IDPA, Istituto che ha curato le tabelle dell'Allegato A2 della Delibera Assemblea legislativa n. 112/2007 e dell'aggiornamento propria deliberazione n. 2193/2015, ha inviato un'integrazione all'Allegato A2 contenente tabelle per la valutazione dei fattori di amplificazione sismica anche in termini di accelerazione per intervalli di periodi compresi tra 0,1 e 0,5 s, tra 0,4 e 0,8 s, tra 0,7 e 1,1 s.

In data 21 maggio 2018 il Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università di Firenze, lo stesso che ha curato l'Allegato A3 della Delibera Assemblea legislativa n. 112/2007 e dell'aggiornamento propria deliberazione n. 2193/2015, ha trasmesso la revisione dell'Allegato A3.

Viste le modifiche di alcune parti dell'Allegato A e degli Allegati tecnici alla deliberazione n. 2193/2015, rese necessarie dall'approvazione della L.R. n. 24/2017 e dalle revisioni degli Allegati A2 e A3 sopra indicate; si è provveduto all'aggiornamento dell'atto di indirizzo di cui alla citata propria deliberazione n. 2193/2015, al fine di indirizzare l'attività

pianificatoria degli Enti locali, per definire in modo omogeneo i criteri e le modalità di analisi della risposta sismica locale e di microzonazione sismica del territorio regionale.

Viene quindi approvata la DGR 630/2019 quale aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico, denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" di cui alla propria deliberazione n. 2193/2015, per ridefinire i criteri, le procedure e le specifiche tecniche per la microzonazione sismica del territorio regionale.

La nuova DGR 476/2021 rappresenta poi l'ultimo aggiornamento della stessa DGR 630/2019.

La Delibera regionale, propone un'analisi semplificata al secondo livello di approfondimento con lo scopo di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale. Essa suggerisce la definizione delle amplificazioni locali sulla base delle tabelle allegate in appendice al documento e riferite a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche ("secondo livello" di analisi).

Tale livello di approfondimento prevede la determinazione dei coefficienti di amplificazione sismica impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (A2.1.1 e A2.1.2) che permettono di calcolare i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento.

I FA riportati nelle tabelle seguenti sono stati calcolati per un tempo di ritorno $T_R = 475$ anni, con smorzamento $\zeta = 5\%$, e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- accelerazione di picco orizzontale (PGA)¹;

- intensità spettrale $SA = \int_{T_1}^{T_2} A(T, \zeta) dT$

dove A è lo spettro di risposta in accelerazione, T è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento²; sono stati considerati quattro intervalli di periodo proprio T ottenendo quattro valori di intensità spettrale:

	T₁	T₂
SA1	0,1 s	0,5 s
SA2	0,4 s	0,8 s
SA3	0,7 s	1,1 s
SA4*	0,5 s	1,5 s

- intensità spettrale

dove V è lo spettro $SI = \int_{T_1}^{T_2} V(T, \zeta) dT$ è il periodo proprio e ζ è lo smorzamento³; sono stati considerati tre intervalli di periodo proprio T ottenendo tre valori di intensità spettrale:

	T₁	T₂
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s
SI3*	0,5 s	1,5 s

*I fattori di amplificazione SA4 e SI3 sono richiesti per studi in aree di pianura e di costa.

1 PGA/PGA 0 ; PGA 0 è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 al suolo di riferimento, PGA è l'accelerazione massima orizzontale a periodo T=0 alla superficie del sito.

2 SA/SA 0 ; SA 0 è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento, SA è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito.

3 SI/SI 0 ; SI 0 è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento, SI l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Intensità di Housner) alla superficie del sito.

Sulla base di quanto sopra riportato e in considerazione delle risultanze delle indagini svolte, l'area in studio rientra nel A2.1.1 – Appennino. Il substrato rilevato con la Masw presenta velocità maggiori di 800 m/s.

Masw 1 – $V_{SE}=V_{S30}= 338$ m/s – $H=37.2$ m $V_{SH}=366$ m/s

Masw 2 – $V_{SE}=V_{SH}$ ($H: 28.7$ m) = 486 m/s

A2.1.1 - APPENNINO

Le tabelle relative al settore appenninico sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree collinari e montane dell'Emilia-Romagna. In caso di coperture direttamente poggianti su substrato rigido, ovvero bedrock sismico, generalmente caratterizzato da $V_s > 800$ m/s, si devono usare le seguenti tabelle:

Fattori di amplificazione sismica FA

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
15	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0
20	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,0
25	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	1,0
30		1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2
35		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
40		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	1,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,8	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,8	2,4	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
30		3,0	2,7	2,0	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
35		3,1	2,9	2,4	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
40		3,1	3,0	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
50		2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,7	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
20	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
25	2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1
30		2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2
35		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2

Fattore di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
30		2,5	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
35		3,1	2,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	2,9	1,9	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
50		3,5	3,3	2,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,4	2,3	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0
20	2,4	2,4	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
25	2,4	2,4	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1
35		2,3	2,3	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

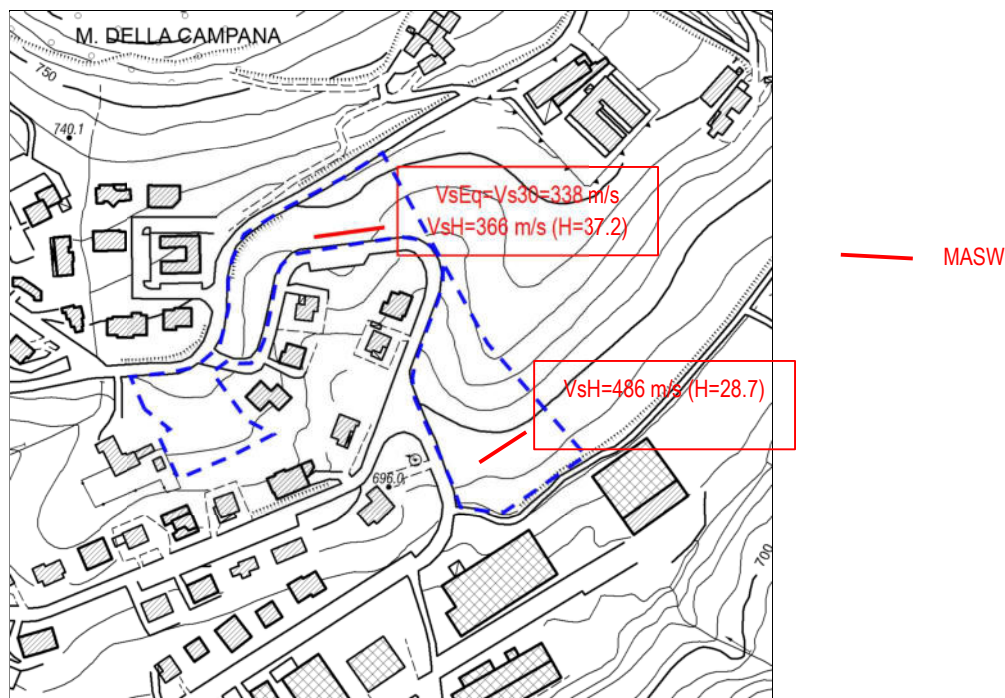
Fattore di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)

V_{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,6	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
30		2,9	2,3	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
35		3,2	2,8	1,9	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	3,1	2,4	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0
50		3,2	3,2	2,9	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1

Fattore di Amplificazione **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$)

3.9 MICROZONAZIONE SISMICA - SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

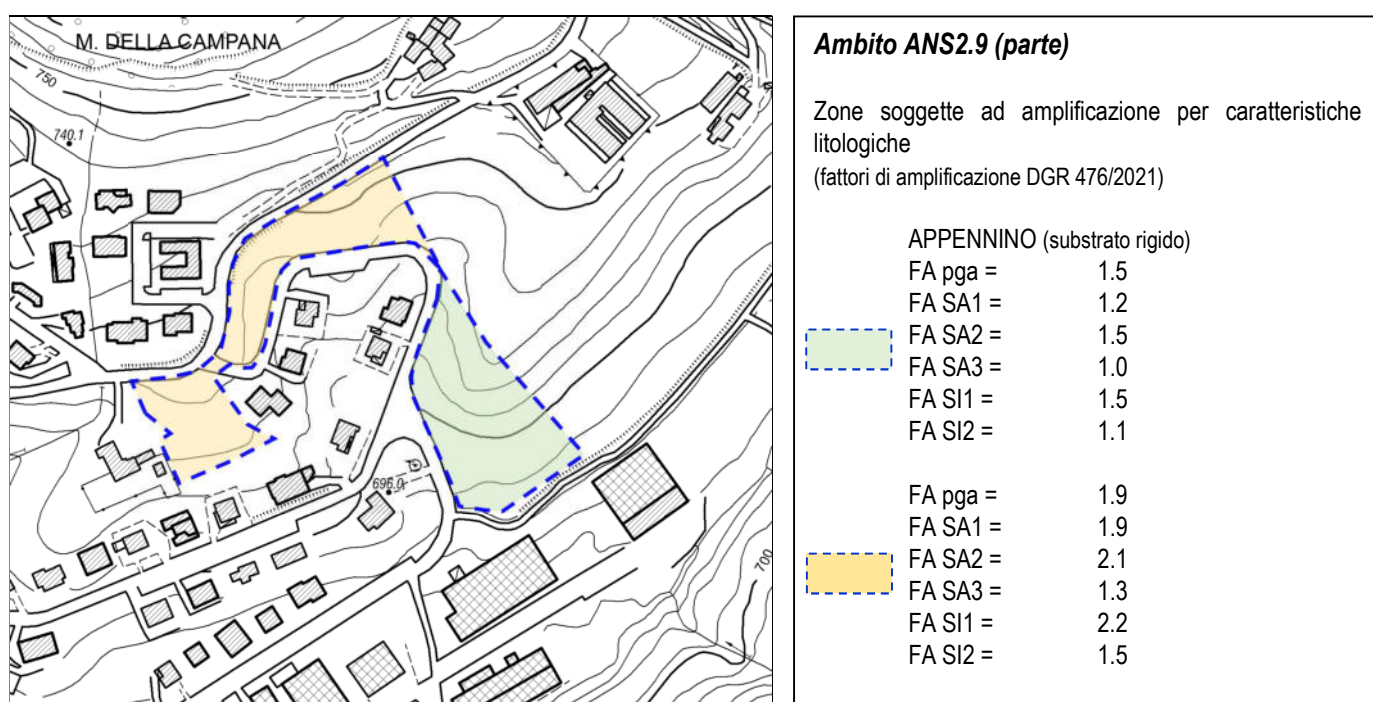
3.9.1 CARTA DELLE Vs



3.9.2 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA DI SECONDO LIVELLO

Sulla base di quanto detto nei capitoli precedenti, di seguito si riporta la Carta della Microzonazione sismica, che sostanzialmente identifica due zone soggette ad:

amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche



4. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

Nell'ambito del presente studio vengono svolte analisi della risposta sismica locale (RSL) al fine di quantificare i possibili fenomeni di amplificazione del moto sismico che possono interessare le litologie sovrastanti il bedrock rigido.

Per determinare la risposta sismica del sottosuolo attesa in superficie a partire da un input (terremoto) tipico atteso al bedrock, è stato utilizzato il software della Geostru RSL III, in grado di modellare la propagazione unidimensionale delle onde di taglio. In considerazione della sufficiente regolarità dello spessore e della geometria della coltre detritica del sito considerato, si è ritenuto infatti adeguato un modello numerico monodimensionale.

La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale, tramite l'utilizzo di Geostru RSL III si compone di due fasi: elaborazione del modello e simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

4.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

4.1.1 Stima della pericolosità e analisi di disaggregazione

Una stima della pericolosità del sito in studio può essere fatta attraverso le Mappe interattive della pericolosità sismica dell'INGV. Una volta selezionata la località si disegna la mappa. È stata selezionata la carta di pericolosità relativa alla specifica probabilità di eccedenza. La carta Ingv è costruita per tempi di esposizione Δt di 50 anni; nel nostro caso ($C_u=1$) il periodo di esposizione è lo stesso (50 anni).

$$P = 1 - e^{-\left[\frac{1}{T_e}\right]Dt} = 1 - e^{-\left[\frac{1}{475}\right]50} \approx 5\%$$

Dove T_e è il tempo medio di ritorno associato all'evento caratterizzato da una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La carta è costruita per probabilità del 10-5-2% in 50 anni; si può quindi scegliere il valore del 5% e ridisegnare la carta di disaggregazione per questa probabilità:

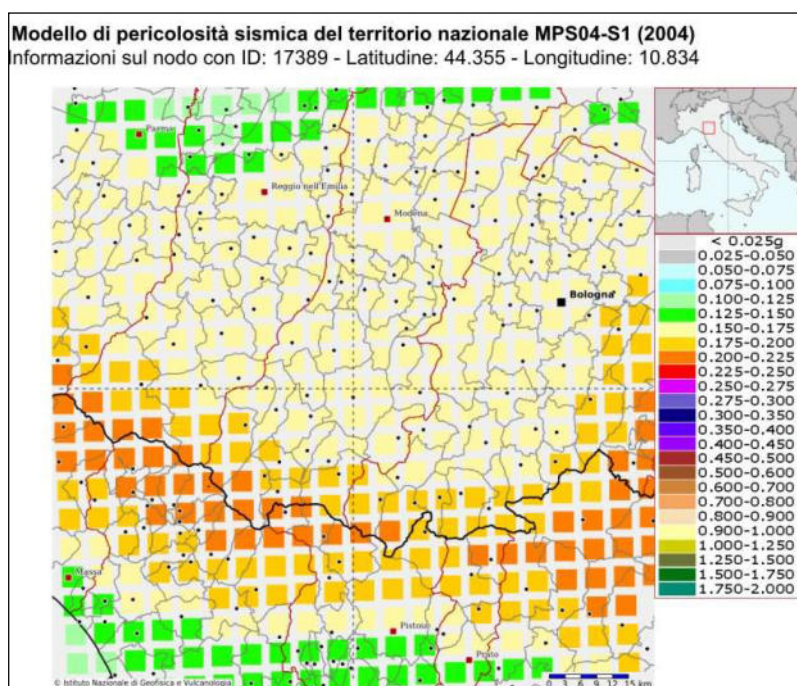
Selezionando il punto sulla griglia più vicino al sito in esame si ottiene il grafico di disaggregazione riportato nella pagina seguente e il suo valore mediano.

Risulta come rappresentativa la coppia magnitudo-distanza 4.89-8.71 km con un valore di ξ pari a 0.911.

Epsilon indica di quanto l'accelerazione attesa al sito per coppia magnitudo/distanza individuata dall'analisi di disaggregazione si discosta dal valore di PGA stimato al sito nella carta di pericolosità relativo al sito.

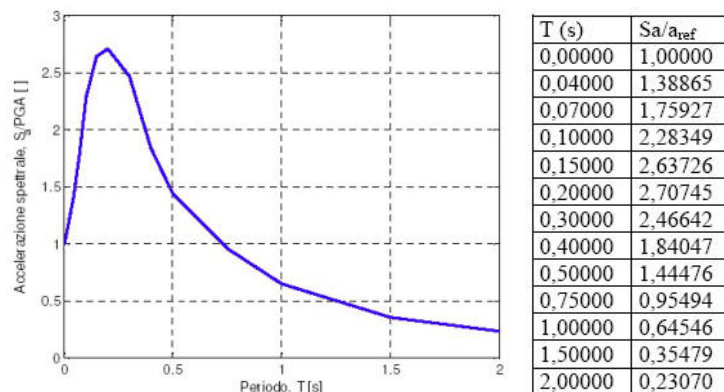
Dato che questo scostamento è espresso in frazioni della deviazione standard della legge di attenuazione, valori di epsilon minori di 1 indicano che la coppia corrisponde a valori di PGA attesi compatibili con la PGA dedotta

dalle carte di pericolosità. Valori maggiori di 1 indicano che questo scostamento è significativo e che quindi la coppia scelta produce valori di PGA molto lontani da quelli attesi.



4.1.2 Definizione del moto di riferimento

Lo spettro di riferimento viene fornito dalla RER che assegna lo spettro di risposta normalizzato all'intero territorio regionale, per un valore dello smorzamento pari al 5% dello smorzamento critico, uno spettro di risposta normalizzato a probabilità uniforme (10% di probabilità di superamento in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno dell'evento sismico di 475 anni).



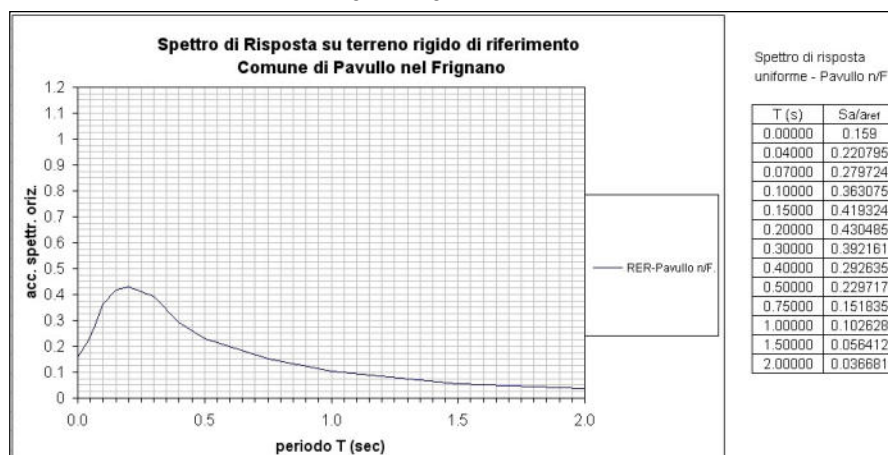
Spettro di risposta normalizzato ($T_R = 475$ anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

Dallo spettro di riferimento è possibile ottenere, moltiplicando le ordinate spettrali (valori della tabella della figura precedente) per il valore di accelerazione massima attesa in 475 anni a_{refg} del comune d'interesse, lo spettro di risposta elastico a probabilità uniforme del moto sismico atteso su terreno rigido di riferimento per il periodo di ritorno prescelto, che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per Pavullo n/F..

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia, per Pavullo n/F., nell'intervallo 0,150 ÷ 0,175 g.

Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna nella redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" dove viene indicata una PGA corrispondente a 0,159 g per l'intero territorio comunale di Pavullo n/F.

Per il Comune di Pavullo n/F. lo spettro così determinato è riportato nella figura seguente:



Spettro di risposta a probabilità uniforme, pari al 10% di almeno una eccedenza in 50 anni per Pavullo n/F.. Con linea blu viene riportato lo spettro costruito con i parametri riportati nella delibera dell'assemblea legislativa ER – DAL112-2007.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio T , espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (pari a 9.81m/s^2), al corrispondente periodo T .

4.1.3 Classe d'Uso e Periodo di riferimento per l'azione sismica

L'indagine condotta ha avuto in particolare lo scopo di determinare lo spettro di risposta elastico per uno smorzamento del 5% corrispondente alla specifica situazione sismo-stratigrafica dell'area interessata dal progetto.

Bisogna però determinare preventivamente quale è il livello di "cautela" richiesto ovvero determinare quale probabilità di eccedenza caratterizzi il terremoto massimo da cui proteggere il manufatto

Questo tipo di indicazioni deve provenire dal "progettista" e dipende dal tipo di utilizzo del manufatto ("Classe d'uso").

2.4.2 CLASSI D'USO
In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:
<i>Classe I:</i> Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i> Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i> Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i> Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

La Classe d'uso, determina il "periodo di riferimento" (V_R) relativo al problema affrontato. Il periodo di riferimento (in anni) è definito da due parametri prodotto:

$$V_F = V_N \times C_U$$

Dove V_N è la vita nominale e C_U è il coefficiente d'uso.

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0.7	1.0	1.5	2.0

Nel caso in oggetto C_U è pari a 1.

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale è pari a 50 anni.

Tabella 2.4.I – Vita nominale V_N per diversi tipi di opere

TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale V_N (in anni)
1 Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva ¹	≤ 10
2 Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3 Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Quindi $V_F = V_N \times C_U = 50 \times 1 = 50$ anni.

4.1.4 Stati Limite e relative probabilità di superamento – Tempo di ritorno

Il Periodo di riferimento rappresenta il tempo di esposizione ovvero l'intervallo di tempo (futuro) al quale si riferisce la previsione del massimo scuotimento ragionevolmente atteso dal quale dobbiamo proteggere la struttura. Il problema è che non sappiamo di fatto prevedere quale sarà questo scuotimento ma solo definire possibili scenari ai quali attribuiamo diverso livelli di verosimiglianza (probabilità). Questi livelli di verosimiglianza costituiscono la stima della pericolosità sismica. La pericolosità sismica è la valutazione della probabilità associata a un possibile livello di scuotimento per un fissato tempo di esposizione o periodo di riferimento. Dato il periodo di riferimento viene quindi definita una curva di pericolosità (Hazard) che associa ad ogni valore dello scuotimento sismico una fissata probabilità di eccedenza.

Il problema assume la forma: "Quanto voglio essere cautelativo (in termini di probabilità di eccedenza) nella previsione del massimo scuotimento atteso nei prossimi 50 anni (ovvero del periodo di riferimento scelto per la struttura)?"

La cautela dipende dal tipo di effetti da cui mi voglio cautelare (Stati Limite):

3.2.1 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO	
Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.	
Gli stati limite di esercizio sono:	
-	Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
-	Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.
Gli stati limite ultimi sono:	
-	Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
-	Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Il livello di "cautela" (ovvero la probabilità di eccedenza) è allora fissata dalle NTC18 in funzione del tipo di effetti da cui ci si vuole difendere. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 3.2.I – Probabilità di superamento P_{V_k} al variare dello stato limite considerato

Stati Limite		P_{V_k} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

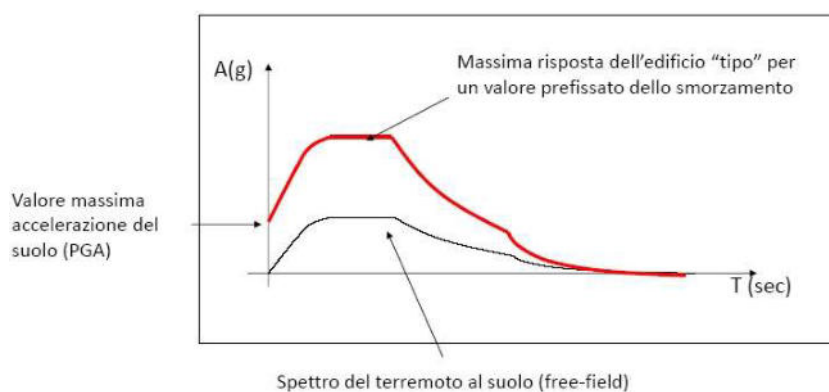
Per la salvaguardia della vita (SLV) la probabilità è fissata al 10% ovvero si ci si cautela contro il 10% di probabilità di eccedenza ("voglio essere sicuro al 90% che qual livello di scuotimento non verrà superato).

Si sceglie quindi il livello di scuotimento associato ad un tempo di ritorno di 475 anni ovvero caratterizzato da un numero di eccedenza annuali pari a $1/475 = 0.0021$ eventi per anno.

In sintesi quindi i fabbricati in previsione possono rientrare in Classe II (2.4.2, NTC18). Pertanto, per la definizione del periodo di riferimento per l'azione sismica si tiene conto di un coefficiente d'uso (C_u) pari a 1 che, per un valore della vita nominale (V_n) pari a 50 anni, porta ad un periodo di riferimento (V_r) di 50 anni. Infine, i carichi sismici verranno determinati facendo riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), così come descritto nel paragrafo 3.2.1 delle NTC18. La pericolosità di riferimento sarà quindi definita come il massimo scuotimento ragionevolmente atteso (ovvero con una probabilità di eccedenza del 10%) su un tempo di esposizione di 50 anni (corrispondente ad un tempo di ritorno di 475 anni).

4.1.5 Valutazione dell'azione sismica

È necessario valutare l'accelerazione massima e il relativo spettro di risposta attesi in superficie. È opportuno ricordare che lo spettro di risposta non è lo spettro di scuotimento del terremoto. Di seguito si riporta lo schema esplicativo.



L'ampiezza della "risposta" è maggiore (circa 2.5 volte per smorzamenti del 5%) dello scuotimento del suolo alla stessa frequenza.

Le caratteristiche dello spettro di risposta relativo al terremoto da considerare per le verifiche sismiche possono essere ricavate in due modi

1. Attraverso un approccio semplificato
2. Attraverso analisi di risposta sismica locale (RSL) L'approccio semplificato permette di risalire allo spettro di risposta atteso sulle base di pochi parametri: *valore del picco di accelerazione orizzontale atteso (PGA) relativo al tempo di ritorno specificato (dato di pericolosità) e classe di sottosuolo dedotta mediante un abaco.*

Nella situazione in studio si è ritenuto opportuno, data l'importanza del progetto, ricorrere, per la valutazione delle azioni sismiche attese, ad una approfondita analisi della risposta sismica locale (RSL).

4.1.6 Terremoti di input, spettri di risposta e accelerogrammi di riferimento

Occorre in primo luogo individuare l'accelerogramma di riferimento e il suo spettro di risposta

Nella valutazione della Risposta sismica locale gli elementi chiave sono

1. L'accelerogramma di riferimento o almeno il suo spettro di risposta
2. Scelta dei parametri dinamici del modello (p.es le curve di degrado dei diversi materiali).

L'accelerogramma può essere un accelerogramma teorico (generato artificialmente) in modo che sia compatibile con lo spettro atteso per il moto di riferimento al suolo.

In realtà, avere a disposizione uno spettro di risposta di riferimento e una coppia magnitudo-distanza non basta; per poter applicare la nostra procedura per lo studio della risposta sismica locale abbiamo bisogno di un accelerogramma.

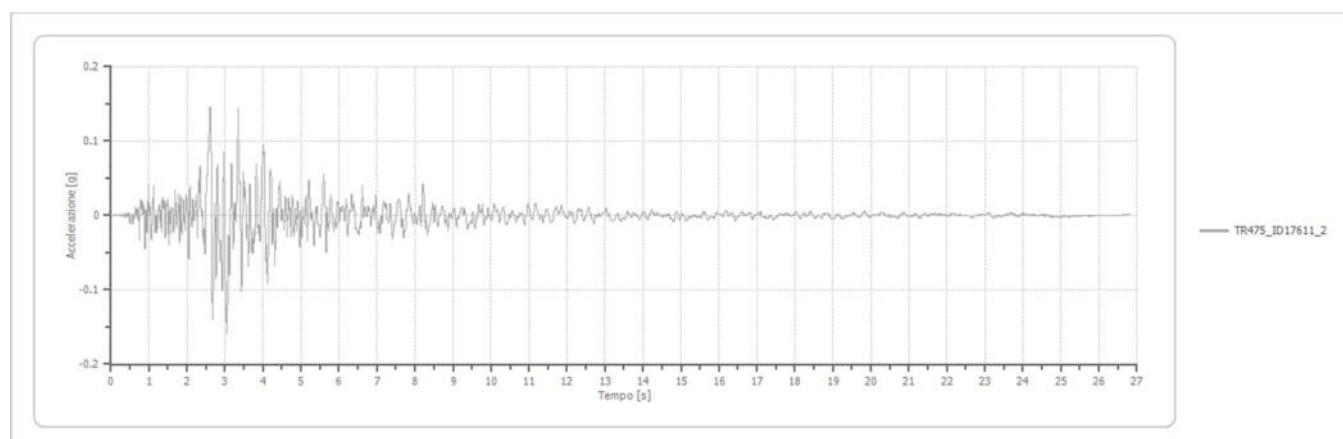
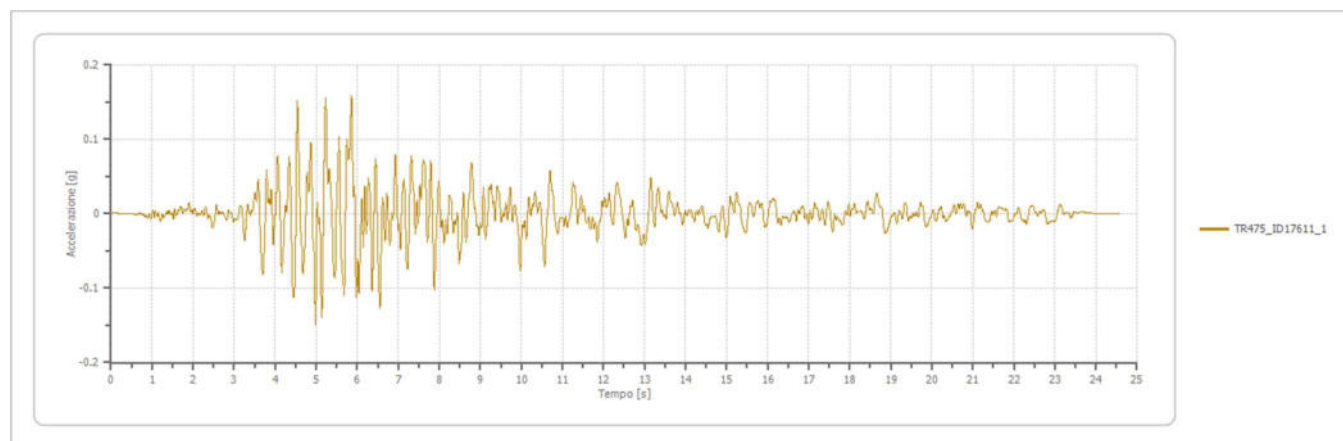
Si hanno tre possibilità:

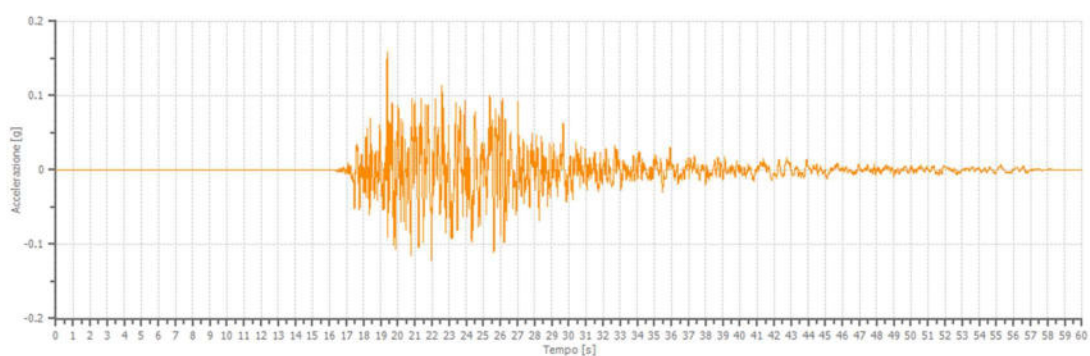
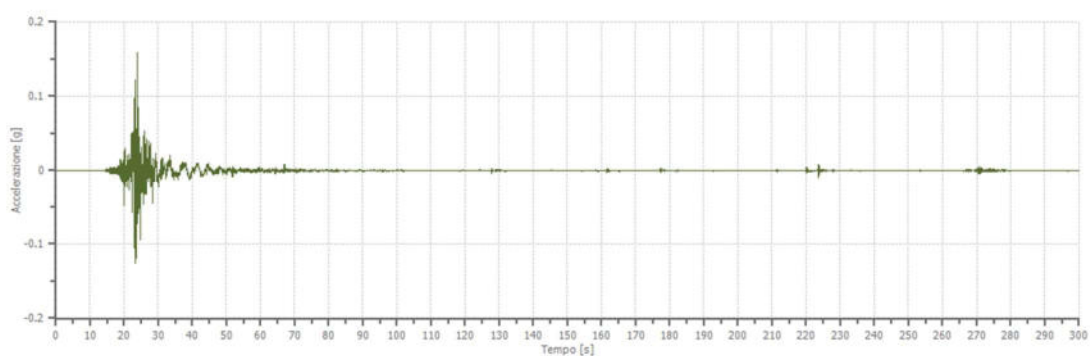
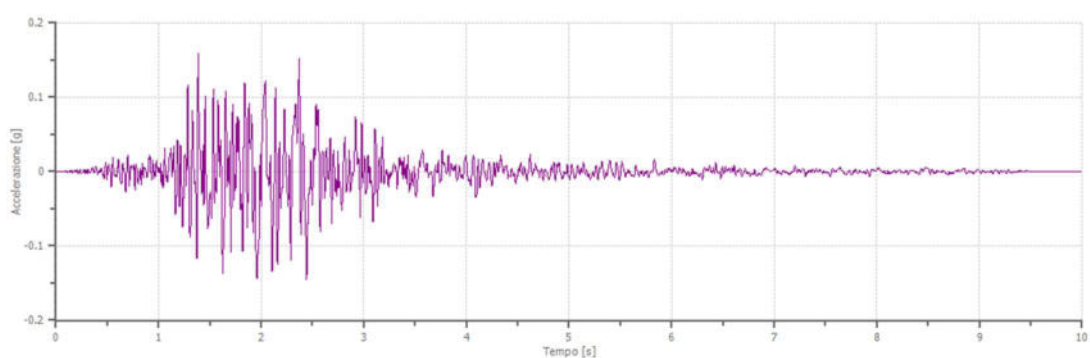
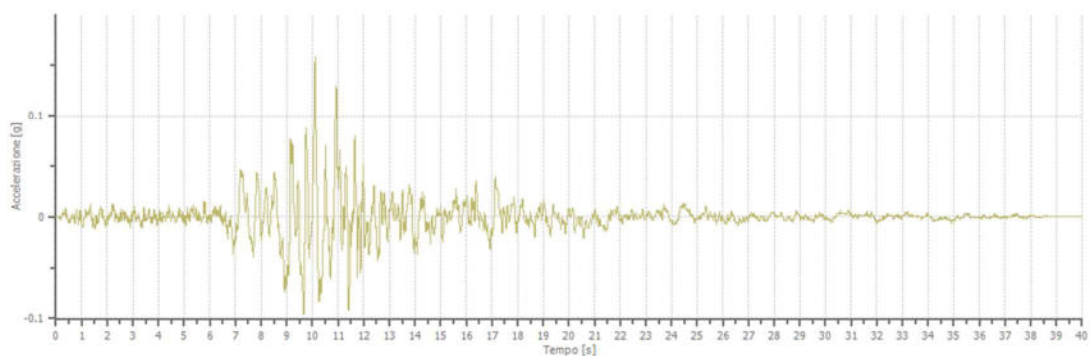
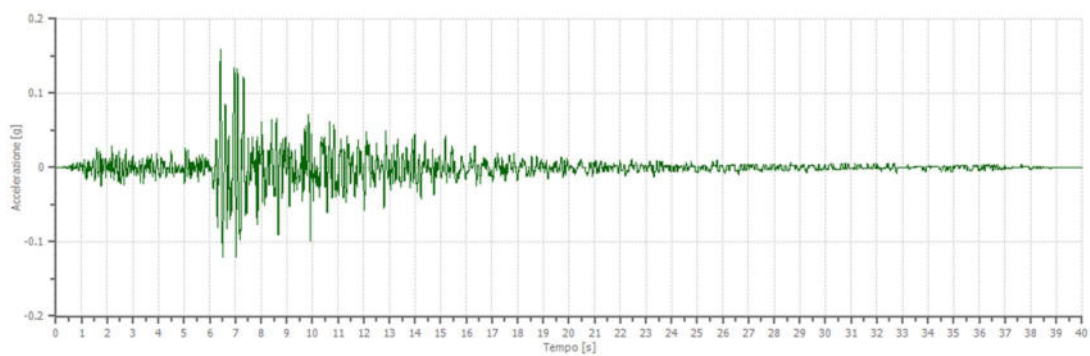
1. Costruire per via numerica accelerogrammi con le caratteristiche richieste utilizzando modelli fisico/empirici (accelerogrammi artificiali)
2. Costruire accelerogrammi a partire dalle caratteristiche della sorgente utilizzando una modellazione fisica (accelerogrammi sintetici o simulati)
3. Trovare accelerogrammi registrati al sito o in altre situazioni con le caratteristiche richieste (accelerogrammi reali spettro-compatibili)

Nel presente studio si utilizzano accelerogrammi reali spettro-compatibili.

A tale scopo vengono utilizzati 7 segnali sismici di input forniti dalla RER (DGR 476/2021 e 564/2021), rappresentati accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa.

Di seguito sono riportati gli accelerogrammi utilizzati.





4.1.7 Sismostratigrafia

Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre a simulazione, i 7 accelerogrammi individuati (terremoti di input) vengono importati nel software RSL III.

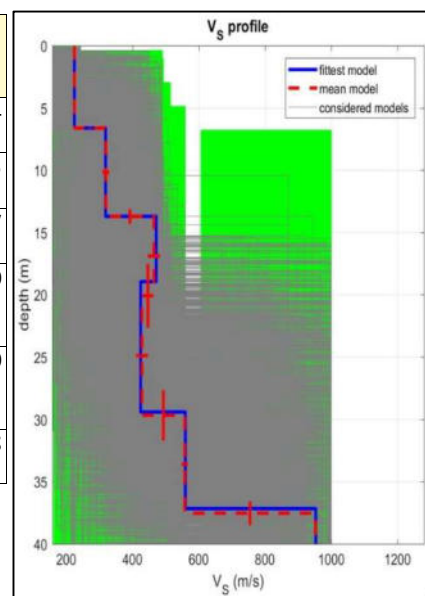
È necessario ora determinare le caratteristiche sismostratigrafiche del volume di terreno d'indagine ed oggetto della probabile amplificazione. Si riporta nel software il profilo sismostratigrafico del terreno, ovvero i differenti sismostrati in cui la campagna di esplorazione geologica (geofisica e geotecnica) del sottosuolo ha discretizzato il sottosuolo dell'area in esame. Si assume, trattandosi di indagini monodimensionali, che gli strati siano piano paralleli e che la propagazione del sisma sia verticale.

Le indagini sismiche effettuate hanno raggiunto il substrato rigido di riferimento o Bedrock sismico, che secondo la normativa vigente (D.M. 17/01/2018) è caratterizzato da velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/sec.

Di seguito si riportano le due sismo stratigrafie di input:

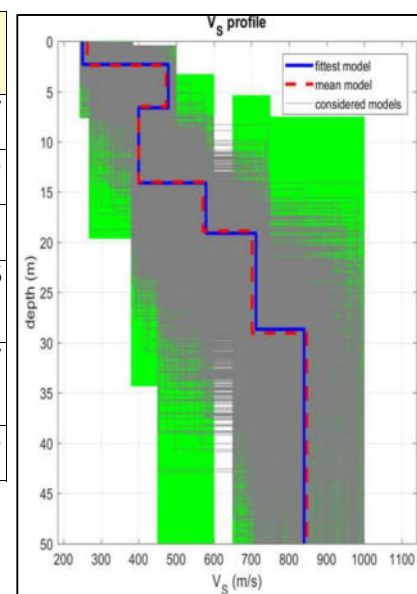
Stratigrafia – MASW 1

n.	Prof. [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	6.6	Lombardia - Argille limose	92.07	--	18.0	224.0	59.4
2	6.6	7.1	Lombardia - Limi argillosi	195.86	--	19.0	318.0	186.3
3	13.7	5.2	Seed et al. (1986) Gravel	452.28	--	20.0	471.0	305.7
4	18.9	10.5	EPRI (1993) Rock 15,54-36,57 metri	384.84	--	21.0	424.0	468.0
5	29.4	7.8	EPRI (1993) Rock 36,88-76,20 metri	700.77	--	22.0	559.0	664.0
6	oo	--	Smorzamento costante	2036.76	--	22.0	953.0	749.8



Stratigrafia – MASW 2

n.	Prof. [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	2.3	Lombardia - Argille limose	115.60	--	18.0	251.0	20.7
2	2.3	4.3	Lombardia - Limi argillosi	444.38	--	19.0	479.0	82.3
3	6.6	7.5	Seed et al. (1986) Gravel	326.20	--	20.0	400.0	198.1
4	14.1	5.0	EPRI (1993) Rock 6,4-15,24 metri	717.64	--	21.0	579.0	325.6
5	19.1	9.6	EPRI (1993) Rock 15,54-36,57 metri	1136.88	--	22.0	712.0	483.7
6	oo	--	Smorzamento costante	1582.39	--	22.0	840.0	589.3



4.1.8 Proprietà geotecniche dinamiche

Tenendo conto che il comportamento del terreno non è lineare, ma varia al variare della deformazione indotta dal sisma, ad ogni tipologia di terreno individuata nella sismo stratigrafia sono associate curve di decadimento del modulo di taglio (G/G_0) e dello smorzamento (D/D_0) con la deformazione. Queste curve sono state tratte da bibliografia, facendo attenzione alla scelta in base alle caratteristiche litologiche/stratigrafiche.

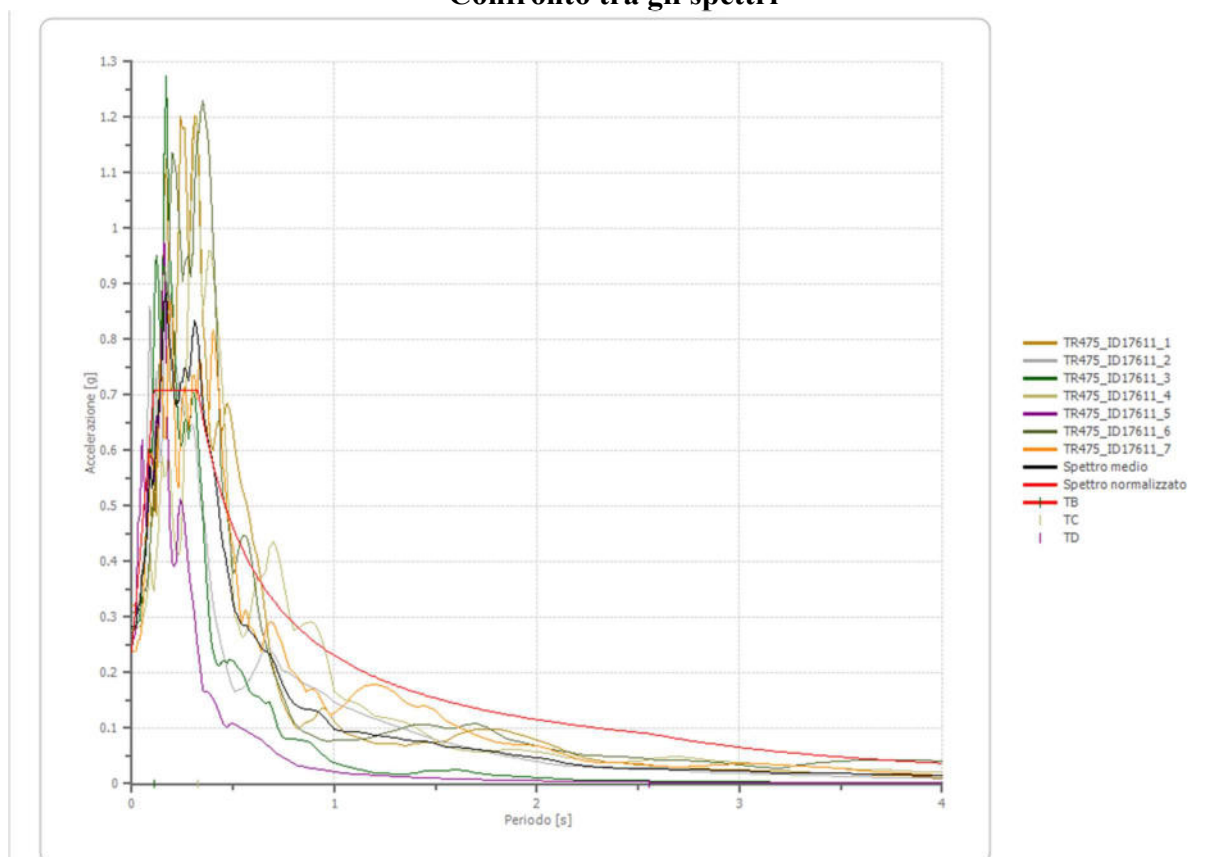
Non avendo a disposizione prove di laboratorio dinamiche (colonna risonante), sono stati adottati, per le proprietà meccaniche in campo dinamico (leggi di variazione $G=G(\gamma)$ e $D=D(\gamma)$), valori di letteratura.

Leggi di variazione del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento con la deformazione di taglio sono riportate in Allegato 5.

4.2 RISULTATI DELLA MODELLAZIONE NUMERICA

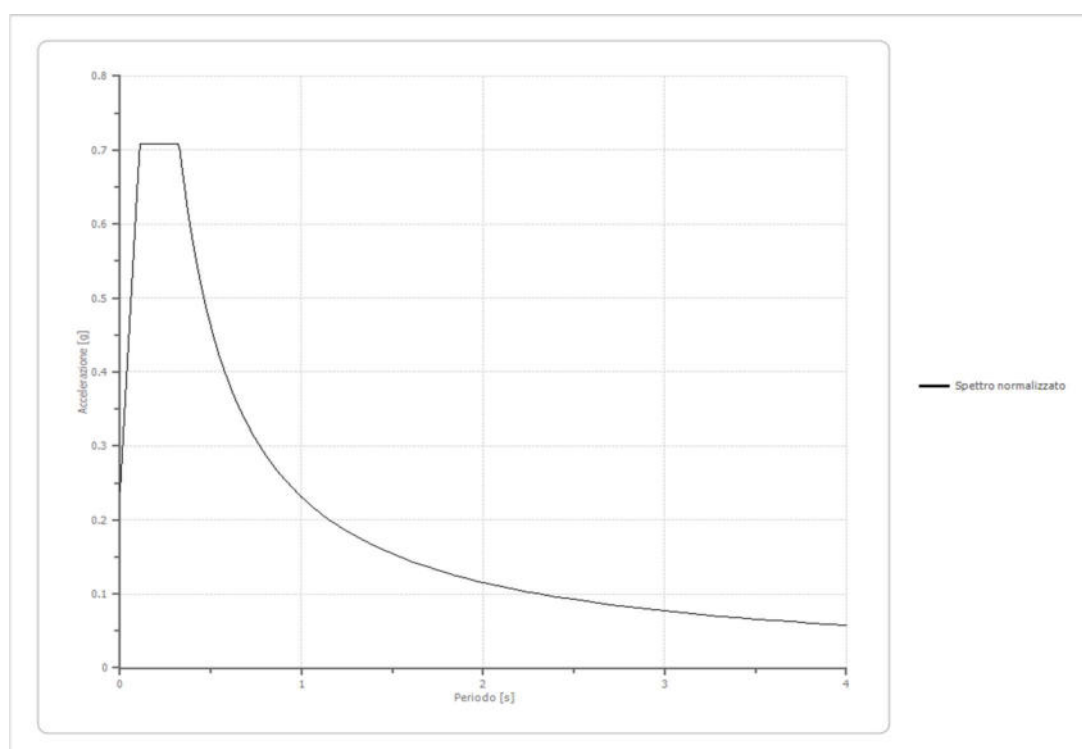
MASW 1 – LOTTI A-B-C-D-1-2-3-4

Confronto tra gli spettri



Parametri spettro normalizzato

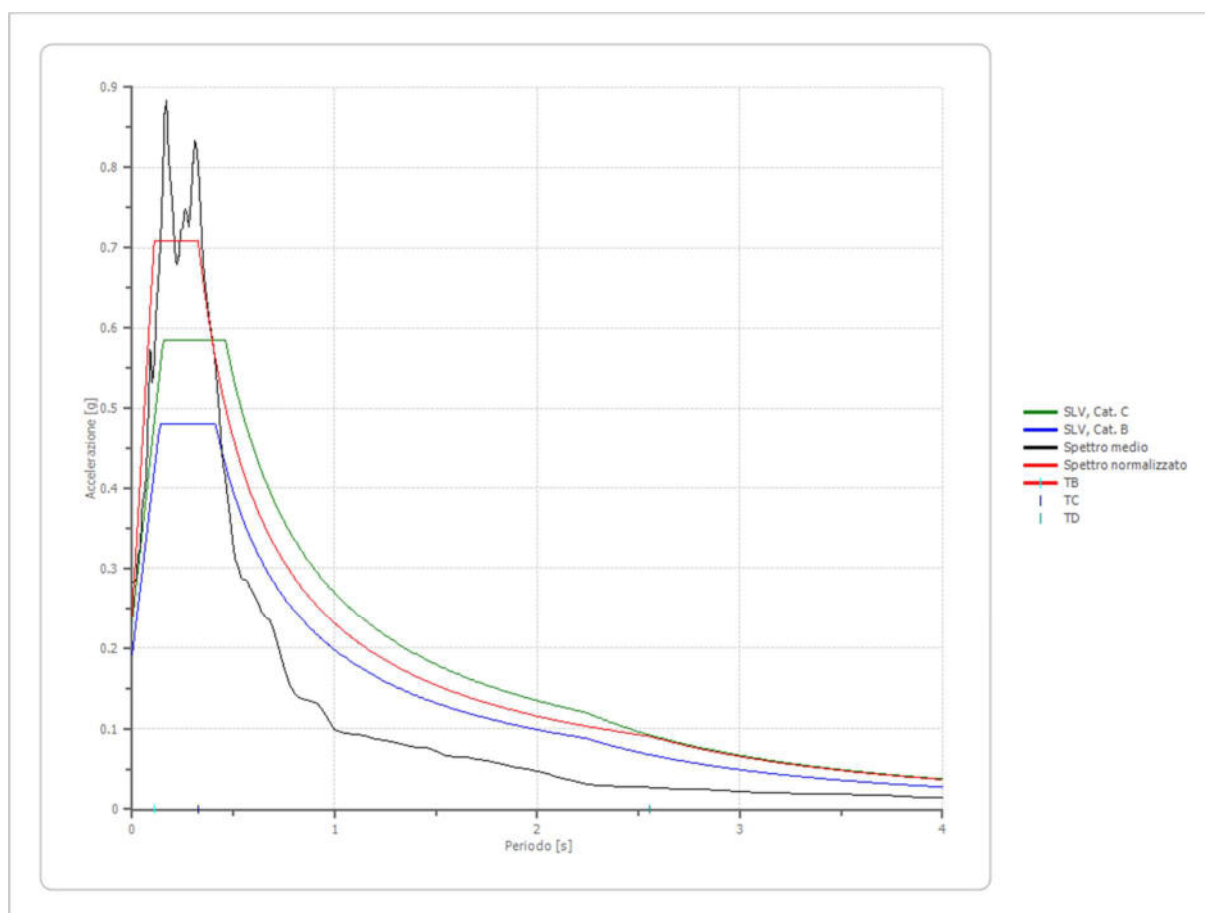
Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.239	2.963511	--	0.109	0.326	2.556	0.239	0.708	1.503



Confronto spettri normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.056	0.070	0.159	0.200	0.056	0.070	0.159	0.200
Fo	2.499	2.491	2.52	2.529	2.499	2.491	2.52	2.529
Tc* [s]	0.252	0.265	0.292	0.302	0.252	0.265	0.292	0.302
Ss	1.50	1.50	1.46	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.65	1.63	1.58	1.56	1.45	1.43	1.41	1.40
TB [s]	0.139	0.144	0.153	0.157	0.122	0.127	0.137	0.141
TC [s]	0.417	0.431	0.460	0.471	0.365	0.380	0.411	0.422
TD [s]	1.824	1.880	2.236	2.400	1.824	1.880	2.236	2.400
Se(0) [g]	0.084	0.105	0.232	0.279	0.067	0.084	0.191	0.240
Se(TB) [g]	0.210	0.262	0.585	0.706	0.168	0.209	0.481	0.606

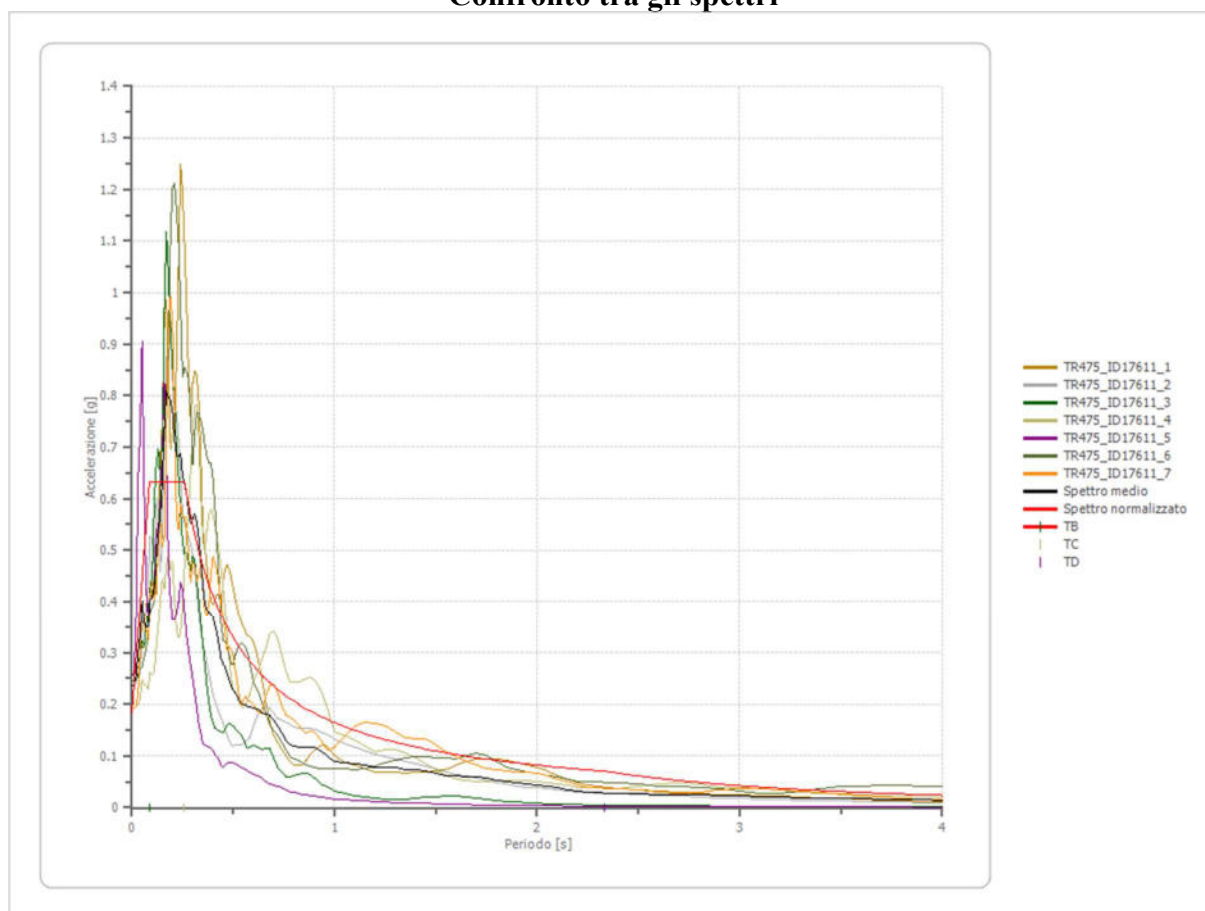


Dal confronto tra lo spettro NTC18 ricavato con l'analisi semplificata (Suolo C) e quello da RSL emerge che:

- i valori dell'accelerazione derivati dalla modellazione numerica della RSL sono superiori a bassi periodi, tra 0.1-0.35 sec (circa il +20%); oltre tali periodi lo spettro RSL calcolato risulta leggermente inferiore.

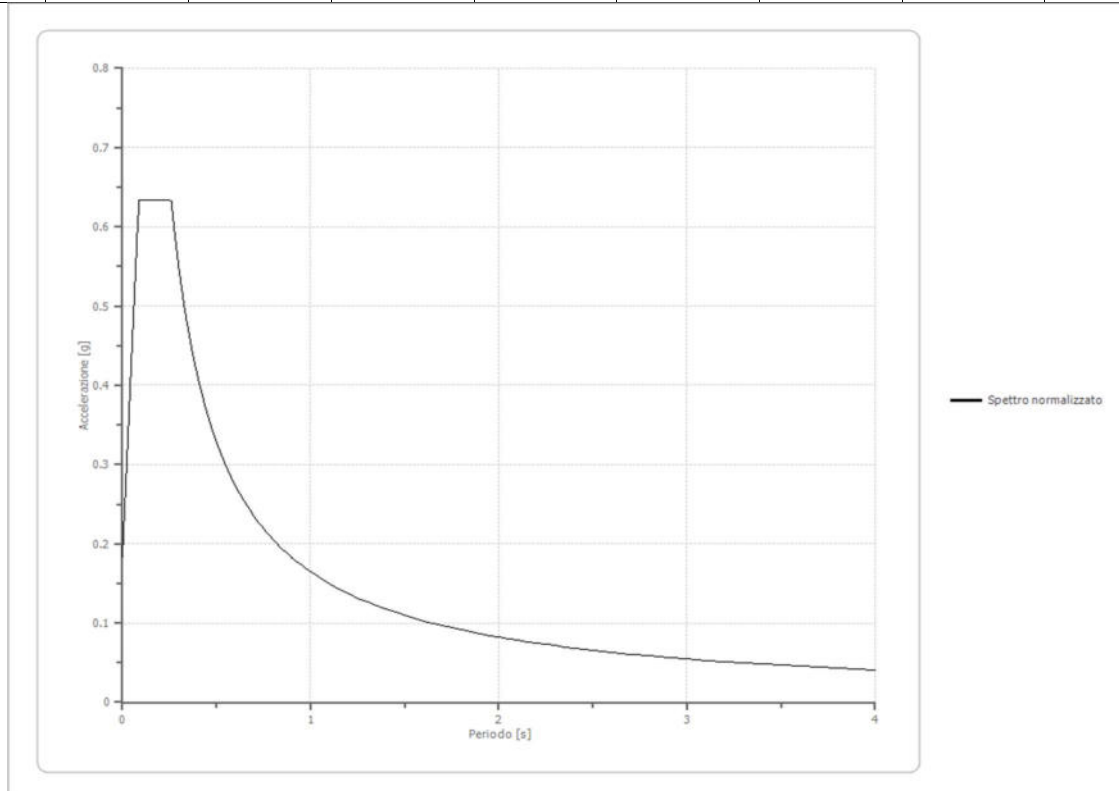
MASW 2 – LOTTI 5-6-7-8-9

Confronto tra gli spettri



Parametri spettro normalizzato

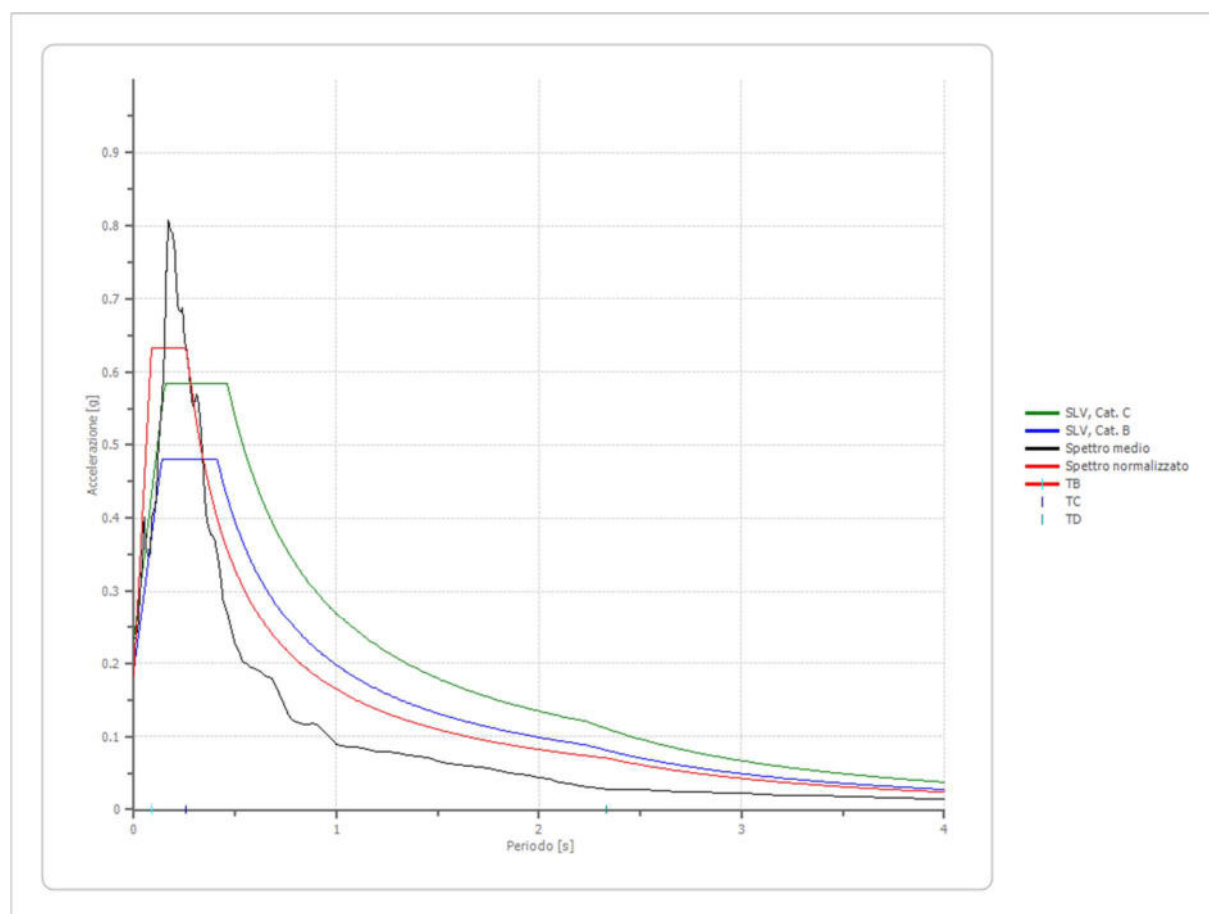
Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.183	3.458235	--	0.086	0.259	2.333	0.183	0.633	1.152



Confronto spettri normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.056	0.070	0.159	0.200	0.056	0.070	0.159	0.200
Fo	2.499	2.491	2.52	2.529	2.499	2.491	2.52	2.529
Tc* [s]	0.252	0.265	0.292	0.302	0.252	0.265	0.292	0.302
Ss	1.50	1.50	1.46	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.65	1.63	1.58	1.56	1.45	1.43	1.41	1.40
TB [s]	0.139	0.144	0.153	0.157	0.122	0.127	0.137	0.141
TC [s]	0.417	0.431	0.460	0.471	0.365	0.380	0.411	0.422
TD [s]	1.824	1.880	2.236	2.400	1.824	1.880	2.236	2.400
Se(0) [g]	0.084	0.105	0.232	0.279	0.067	0.084	0.191	0.240
Se(TB) [g]	0.210	0.262	0.585	0.706	0.168	0.209	0.481	0.606



Dal confronto tra lo spettro NTC18 ricavato con l'analisi semplificata (Suolo C) e quello da RSL emerge che:

- i valori dell'accelerazione derivati dalla modellazione numerica della RSL sono superiori a bassi periodi, tra 0.1-0.3 sec (circa il +12%); oltre tali periodi lo spettro RSL calcolato risulta leggermente inferiore.

5. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

5.1 INDAGINI, MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

5.1.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI CAMPAGNA

Per la caratterizzazione litostratigrafica e fisico-meccanica dei terreni di fondazione del sito sono state eseguite:

- n° 7 prove penetrometriche dinamiche



Figura 21 – Ubicazioni indagini su planimetria generale

● prova penetrometrica dinamica

--- Masw

✦ Hvsr



Prova penetrometrica 1

Prova penetrometrica 2

Prova penetrometrica 3

Prova penetrometrica 4



Prova penetrometrica 5

Prova penetrometrica 6

Prova penetrometrica 7

5.1.2 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA – STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per le prove eseguite il giorno 04/06/2021 (Fig. 18), si è utilizzato un **penetrometro Tg 63**, certificato dalla Ditta Pagani Geotechnical Equipment di Piacenza, con caratteristiche tecniche riassunte nelle tabelle seguenti:

Pagani Tg 63 – dinamico	
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90

Per le prove dinamiche, dalla lettura in campagna del numero dei colpi (N), necessari per infiggere la punta di 20 cm, si sono ricavati, tramite la "formula degli olandesi", i valori di *resistenza dinamica alla punta* " R_{pd} " $R_{pd} = [(M^2 \cdot H) \cdot N] / [ad \cdot (M + Pa)]$ (kg/cm²). In allegato 1, oltre ai tabulati di calcolo, si riporta una litostratigrafia schematica interpretativa e due modelli di grafici, il primo riporta il "*Numero (N) di Colpi*" e la "*Profondità*" in m, il secondo la *resistenza dinamica alla punta* " R_{pd} ".

Di seguito si riporta la legenda dei parametri calcolati con le prove (All 1):

Legenda	
Nspt =	n° colpi da SPT
γ =	peso di volume
ϕ =	angolo d'attrito
C' =	coesione efficace
Cu =	coesione non drenata
Ed =	modulo edometrico
Mo =	modulo confinato

5.2 CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base dell'interpretazione delle prove penetrometriche, è possibile, per una immediata valutazione delle caratteristiche dei terreni attraversati, ricostruire le seguenti stratigrafie interpretative.

SEQUENZE LITOSTRATIGRAFICHE

PROVA 1		PROVA 2		PROVA 3		PROVA 4	
-0.0÷1.0m	Terreno agrario superficiale e primo suolo.	-0.0÷1.2m	Terreno agrario superficiale e primo suolo.	-0.0÷1.2m	Terreno agrario superficiale e primo suolo.	-0.0÷1.0m	Terreno agrario superficiale e primo suolo.
1.0÷6.4m	Terreni di copertura argillosi-limosi da mediamente compatti a compatti. Rpd=16÷47 kg/cm ²	1.2÷3.8m	Terreni di copertura argillosi-limosi mediamente compatti. Rpd=12÷29 kg/cm ²	1.2÷4.0m	Terreni di copertura argillosi-limosi mediamente compatti. Rpd=15÷27 kg/cm ²	1.0÷4.2m	Terreni di copertura argillosi-limosi da mediamente compatti a compatti. Rpd=16÷62 kg/cm ²
-6.4÷9.4m	Substrato alterato Marne siltose da compatte a molto compatte con frazione grossolana litoide arenaceo-calcareo. Rpd=22÷112 kg/cm ²	-3.8÷7.4m	Substrato alterato Marne siltose da compatte a molto compatte con frazione grossolana litoide arenaceo-calcareo. Rpd=46÷118 kg/cm ²	-4.0÷5.6m	Substrato alterato Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide. Rpd=55÷138 kg/cm ²	-4.2÷4.8m	Marne siltose molto compatte. Rpd=59÷104 kg/cm ²
-9.4÷10.0m	Livello litoide. Rpd>300 kg/cm ²	-7.4÷7.8m	Livello litoide. Rpd>300 kg/cm ²	-5.6÷5.8m	Livello litoide. Rpd>300 kg/cm ²	-4.8÷5.2m	Livello litoide. Rpd>300 kg/cm ²

Rpd: resistenza dinamica alla punta con valori riferiti alla superficie della punta di perforazione (20 cm²).

PROVA 5		PROVA 6		PROVA 7	
-0.0÷0.8m	Terreno agrario superficiale e suolo.	-0.0÷0.8m	Terreno agrario superficiale e suolo.	-0.0÷0.8m	Terreno agrario superficiale e suolo.
0.8÷3.4m	Terreni di copertura argillosi-limosi da compatti a molto compatti con frazione grossolana. Rpd=39÷167 kg/cm ²	0.8÷3.6m	Terreni di copertura argillosi-limosi da compatti a molto compatti con frazione grossolana. Rpd=39÷207 kg/cm ²	0.8÷4.4m	Terreni di copertura argillosi-limosi da mediamente compatti a compatti. Rpd=8÷66 kg/cm ²
-3.4÷5.2m	Substrato alterato Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide. Rpd=83÷147 kg/cm ²	-3.6÷4.4m	Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide arenaceo-calcareo. Rpd=59÷176 kg/cm ²	-4.4÷5.8m	Substrato alterato Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide. Rpd=55÷138 kg/cm ²
-5.2÷5.6m	Livello litoide. Rpd>300 kg/cm ²	-4.4÷4.6m	Livello litoide. Rpd>300 kg/cm ²	-5.8÷6.2m	Livello litoide. Rpd>300 kg/cm ²

5.2.1 IDROLOGIA SOTTERRANEA

All'interno dei fori di sondaggio, tramite freatimetro elettroacustico, è stata verificata la presenza di acqua di falda (04/06/2021).

I sondaggi hanno evidenziato presenza di acqua o livelli di filtrazione preferenziale all'interno dei fori a quote molto variabili:

PRESENZA DI ACQUA NEI FORI DELLE INDAGINI (04/06/2021)

Prove penetrometriche	1	2	3	4	5	6	7
Profondità prova (m)	10.0	7.8	5.8	5.2	5.6	4.6	6.2
Presenza di acqua da p.c. (m)	-8.4	-	-	-3.8	-	-	- 4.1

Il sottosuolo investigato può essere soggetto a filtrazione di acque in particolare al passaggio tra lo strato di copertura e la parte superficiale più fratturata del substrato pelitico-arenaceo. Non si può quindi escludere, durante gli sbancamenti, la possibilità di intercettare locali orizzonti naturali di saturazione discontinui a carattere stagionale e/o livelli di filtrazione preferenziale al contatto tra litotipi a diversa permeabilità.

6. TIPOLOGIA DELL' INTERVENTO

L'Ambito in studio è oggetto di accordo operativo che fa seguito alla precedente manifestazione d'interesse.

Si tratta di un nuovo intervento di sviluppo residenziale in cui sono previsti 13 lotti privati edificabili.

L'ipotesi progettuale oggetto della presente proposta riguarda un intervento relativamente semplice e non particolarmente esteso, che prevede la creazione di un nuovo insediamento residenziale a bassa densità con ampie aree di verde pubblico.

L'insediamento residenziale si compone perlopiù di ville uni/bi/trifamiliari di uno/due piani fuori terra più sottotetto e interrato.

7. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE GENERALI

Analizzando le indagini, il sottosuolo dell'Ambito risulta caratterizzato da una sequenza litostratigrafica composta da depositi di copertura argillosi limosi variamente addensati, da mediamente compatti fino a compatti-molto compatti con a luoghi frazione grossolana, passanti a quote significativamente variabili oltre i 3.5-6.5 m di profondità, a primo substrato argillitico-marnoso siltoso alterato molto compatto con secondari livelli litoidi arenaceo-calcarei.

Un livello a consistenza litoide ha determinato il rifiuto strumentale delle perforazioni.

Le prove evidenziano quindi una certa disomogeneità latero-verticale, sia per le caratteristiche meccanico-resistive che per la profondità del substrato e la natura dei litotipi (presenza di livelli litoide).

Per una dettagliata modellazione litostratigrafica e meccanico-resistiva dei terreni di fondazione dei singoli lotti, sarà necessario integrare le investigazioni svolte in questa fase preliminare, con un adeguato numero di indagini tese a definire, lotto per lotto, un particolareggiato quadro litostratigrafico e litotecnico.

7.1 SCELTA DELLA TIPOLOGIA DI FONDAZIONE

Nella scelta della profondità fondale andrà tenuto conto che le NTC2018 prescrivono che il piano di fondazione deve essere situato sotto la coltre di terreno vegetale nonché sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto d'acqua (strato attivo). Fondazioni non adeguatamente approfondite possono nel tempo subire cedimenti differenziali tra le varie parti della struttura.

Nel caso in esame, una idonea quota d'imposta è quella che permette di oltrepassare i terreni di copertura più superficiali e meno compatti ed innestarsi possibilmente su litologie con caratteristiche omogenee.

In questa fase è possibile ipotizzare, in linea generale, l'adozione di fondazioni dirette superficiali del tipo a trave rovescia o platea con quote di posa variabili e dipendenti dalle quote di progetto e dalla presenza o meno di piano interrato.

Laddove però, sono presenti livelli superficiali meno compatti di spessore tale da non essere oltrepassati con fondazioni dirette, o nel caso si valutino condizioni litologiche che possano determinare fenomeni di sovraconsolidazione per essiccazione dei terreni, si dovrà valutare la scelta di fondazioni profonde tipo pali trivellati che andranno innestati adeguatamente, per alcuni metri, nelle litologie molto compatte di primo substrato.

In fase esecutiva, l'esecuzione di indagini geognostiche puntuali all'interno dei singoli lotti permetterà di qualificare la natura dei terreni e quantificarne precisamente i caratteri lito-tecnici e di conseguenza dettagliare puntualmente la profondità, la tipologia, e il dimensionamento delle fondazioni.

7.2 STABILITÀ DELLE PARETI DI SBANCAMENTO

Nel caso i progetti edificatori prevedano piani interrati, la stabilità dei fronti di scavo andranno verificate in tutte le condizioni.

Nel Cap. 2.6 è stata condotta una verifica preliminare delle scarpate di scavo.

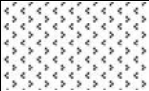
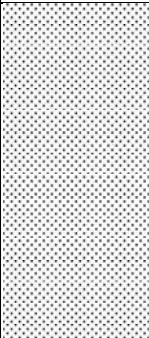
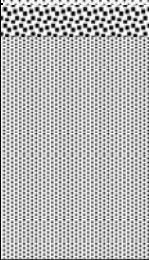
Tra gli obiettivi della progettazione geotecnica dell'intervento vi dovrà essere quello di prevedere i dovuti accorgimenti per garantire che i terreni interessati nonché quelli nell'intorno conservino le attuali condizioni di resistenza e che mantengano le attuali caratteristiche di stabilità.

7.3 MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

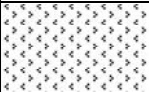
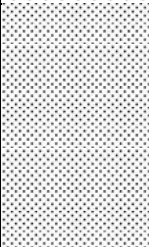
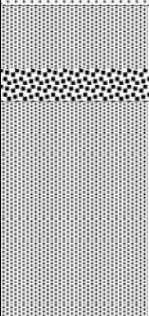
Lo studio eseguito ha permesso di definire per ogni verticale un modello geologico-geotecnico medio del terreno di fondazione. I parametri geotecnici di seguito riportati, rappresentativi delle litologie individuate, sono ottenuti dall'elaborazione ponderata delle indagini eseguite.

MODELLI GEOTECNICI - PARAMETRI GEOTECNICI NOMINALI MEDI

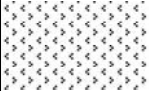
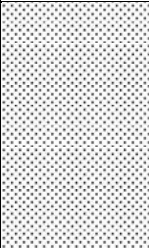
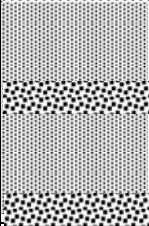
PROVA 1

Stratigrafia	Strati prof. in m	Descrizione litologica	Parametri geotecnici
	0.0– 1.0	Terreno agrario e primo suolo	-
	1.0 – 6.4	TERRENI DI COPERTURA Argille limose da poco a mediamente compatte	$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ $\phi = 23\text{-}24^\circ$ $c' = 8 \text{ kPa}$ $c_u = 75 \text{ kPa}$ $E_d = 3200 \text{ kPa}$
	6.4 – 9.4	SUBSTRATO ALTERATO Marne siltose da compatte a molto compatte con frazione grossolana litoide	$\gamma = 1.9 \text{ t/m}^3$ $\phi = 27\text{-}29^\circ$ $c' = 10\text{-}12 \text{ kPa}$ $c_u = 160 \text{ kPa}$ $E_d = 8000 \text{ kPa}$
	9.4 – 9.8	Livello litoide	$\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3 - \phi = 44^\circ$

PROVA 2

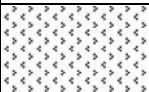
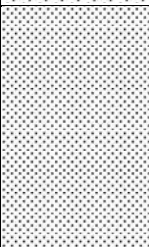
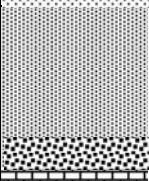
Stratigrafia	Strati prof. in m	Descrizione litologica	Parametri geotecnici
	0.0– 1.2	Terreno agrario e primo suolo	-
	1.2 – 3.8	TERRENI DI COPERTURA Argille limose mediamente compatte	$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ $\phi = 22^\circ$ $c' = 6 \text{ kPa}$ $c_u = 55 \text{ kPa}$ $E_d = 2200 \text{ kPa}$
	3.8 – 7.4	SUBSTRATO ALTERATO Marne siltose da compatte a molto compatte con frazione grossolana litoide	$\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ $\phi = 27\text{-}31^\circ$ $c' = 12 \text{ kPa}$ $c_u = 190 \text{ kPa}$ $E_d = 9000 \text{ kPa}$
	7.4 – 7.8	Livello litoide	$\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3 - \phi = 44^\circ$

PROVA 3

Stratigrafia	Strati prof. in m	Descrizione litologica	Parametri geotecnici
	0.0– 1.2	Terreno agrario e primo suolo	-
	1.2 – 4.0	TERRENI DI COPERTURA Argille limose mediamente compatte	$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ $\phi = 22-23^\circ$ $c' = 7 \text{ kPa}$ $c_u = 60 \text{ kPa}$ $E_d = 2500 \text{ kPa}$
	4.0 – 5.6	SUBSTRATO ALTERATO Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide	$\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ $\phi = 28-33^\circ$ $c' = 12-15 \text{ kPa}$ $c_u = 200-350 \text{ kPa}$ $E_d = 14000 \text{ kPa}$
	5.6 – 5.8	Livello litoide	$\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3 - \phi = 44^\circ$

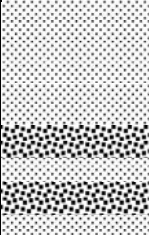
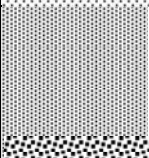
Legenda: parametri nominali: γ peso di volume; C' coesione efficace, ϕ angolo d'attrito; C_u coesione non drenata; E_d modulo edometrico.

PROVA 4

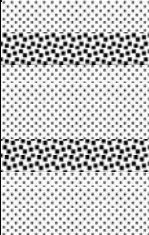
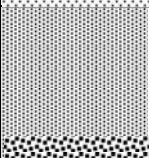
Stratigrafia	Strati prof. in m	Descrizione litologica	Parametri geotecnici
	0.0– 1.0	Terreno agrario e primo suolo	-
	1.0 – 4.2	TERRENI DI COPERTURA Argille limose da mediamente compatte a compatte	$\gamma = 1.8-1.9 \text{ t/m}^3$ $\phi = 24-27^\circ$ $c' = 10-12 \text{ kPa}$ $c_u = 80-150 \text{ kPa}$ $E_d = 3000-5500 \text{ kPa}$
	4.2 – 4.8	SUBSTRATO ALTERATO Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide	$\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ $\phi = 29-31^\circ$ $c' = 12-15 \text{ kPa}$ $c_u = 180-250 \text{ kPa}$ $E_d = 10000 \text{ kPa}$
	4.8 – 5.2	Livello litoide	$\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3 - \phi = 43^\circ$

Legenda: parametri nominali: γ peso di volume; C' coesione efficace, ϕ angolo d'attrito; C_u coesione non drenata; E_d modulo edometrico.

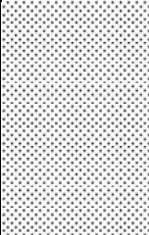
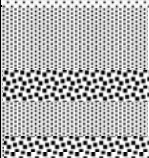
PROVA 5

Stratigrafia	Strati prof. in m	Descrizione litologica	Parametri geotecnici
	0.0– 0.8	Terreno agrario e primo suolo	-
	0.8 – 3.4	TERRENI DI COPERTURA Argille limose da compatte a molto compatte con frazione grossolana	$\gamma = 1.9 \text{ t/m}^3$ $\phi = 26-32^\circ$ $c' = 10-12 \text{ kPa}$ $c_u = 150-250 \text{ kPa}$ $E_d = 10500 \text{ kPa}$
	3.4 – 5.2	SUBSTRATO ALTERATO Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide	$\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ $\phi = 31-34^\circ$ $c' = 12-15 \text{ kPa}$ $c_u = 250-350 \text{ kPa}$ $E_d = 15000 \text{ kPa}$
	5.2 – 5.6	Livello litoide	$\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3 - \phi = 38^\circ$

PROVA 6

Stratigrafia	Strati prof. in m	Descrizione litologica	Parametri geotecnici
	0.0– 0.8	Terreno agrario e primo suolo	-
	0.8 – 3.6	TERRENI DI COPERTURA Argille limose da compatte a molto compatte con frazione litoide	$\gamma = 1.9 \text{ t/m}^3$ $\phi = 26-32^\circ$ $c' = 10-12 \text{ kPa}$ $c_u = 150-300 \text{ kPa}$ $E_d = 12000 \text{ kPa}$
	3.6 – 4.4	SUBSTRATO ALTERATO Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide	$\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ $\phi = 31^\circ$ $c' = 12-15 \text{ kPa}$ $c_u = 200-350 \text{ kPa}$ $E_d = 15000 \text{ kPa}$
	4.4 – 4.6	Livello litoide	$\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3 - \phi = 42^\circ$

PROVA 7

Stratigrafia	Strati prof. in m	Descrizione litologica	Parametri geotecnici
	0.0– 0.8	Terreno agrario e primo suolo	-
	0.8 – 4.4	TERRENI DI COPERTURA Argille limose da mediamente compatte a compatte	$\gamma = 1.8 \text{ t/m}^3$ $\phi = 22-23^\circ$ $c' = 8-10 \text{ kPa}$ $c_u = 80 \text{ kPa}$ $E_d = 3000 \text{ kPa}$
	4.4 – 5.8	SUBSTRATO ALTERATO Marne siltose molto compatte con frazione grossolana litoide	$\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ $\phi = 28-31^\circ$ $c' = 12-15 \text{ kPa}$ $c_u = 150-250 \text{ kPa}$ $E_d = 11000 \text{ kPa}$
	5.8 – 6.2	Livello litoide	$\gamma = 2.1 \text{ t/m}^3 - \phi = 39^\circ$

Legenda: parametri nominali: γ peso di volume; C' coesione efficace, ϕ angolo d'attrito; C_u coesione non drenata; E_d modulo edometrico.

8. CONSIDERAZIONI FINALI

A corredo dell'Accordo Operativo relativo a parte dell'Ambito ANS2.9 in località Monte della Campana a Pavullo n/F. (Mo), è stato eseguito il presente studio volto alla ricostruzione degli aspetti geologici e sismici e della modellazione geologica dell'area in esame.

Lo studio è sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento generale per le fasi successive della progettazione e per definire gli ulteriori programmi di indagini geognostiche di dettaglio nei futuri singoli lotti.

Le indagini svolte hanno messo in evidenza i seguenti aspetti:

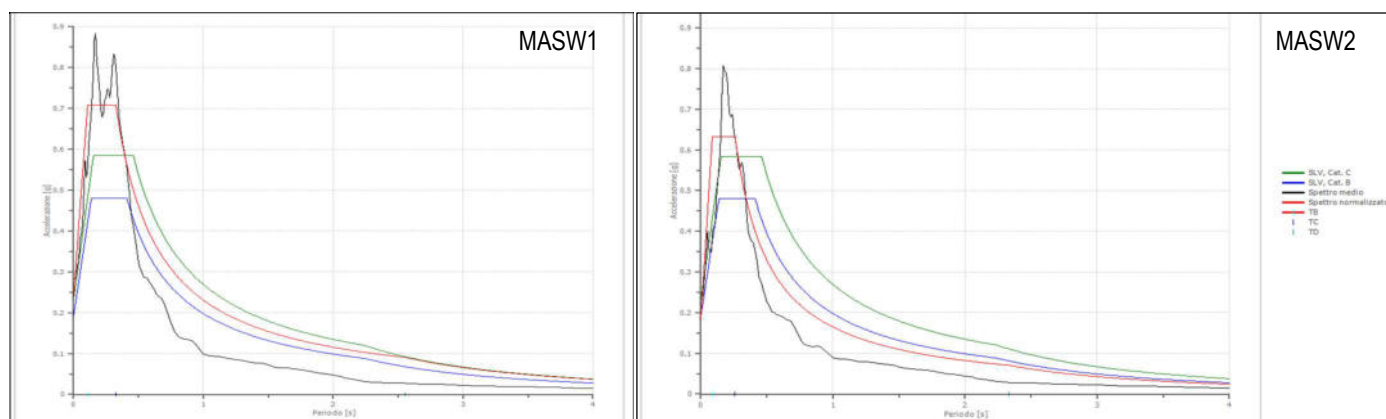
- Il quadro litostratigrafico dell'area è caratterizzato da una sequenza litostratigrafica composta da depositi di copertura argillosi limosi variamente addensati, da mediamente compatti fino a compatti-molto compatti con a luoghi frazione grossolana, passanti a quote significativamente variabili oltre i 3.5-6.5 m di profondità, a primo substrato argillitico-marnoso siltoso alterato molto compatto con secondari livelli litoidi arenaceo-calcarei. Un livello a consistenza litoide ha determinato il rifiuto strumentale delle perforazioni.
- Per quanto riguarda la conformazione e il regime idrologico del sottosuolo, all'interno dei fori di sondaggio è stata verificata la presenza di acqua di falda (04/06/2021) o livelli di filtrazione preferenziale a quote molto variabili, comprese tra -3.8 m (prova 4), -4.1 m (prova 7) e -8.4 m (prova 1). Il sottosuolo investigato può essere soggetto a filtrazione di acque in particolare al passaggio tra lo strato di copertura e la parte superficiale più fratturata del substrato pelitico-arenaceo. Non si può quindi escludere, durante gli sbancamenti, la possibilità di intercettare locali orizzonti naturali di saturazione discontinui a carattere stagionale e/o livelli di filtrazione preferenziale al contatto tra litotipi a diversa permeabilità.
- L'ambito in studio si colloca nel tratto medio-inferiore di un versante che scende dal Monte della Campana ad esposizione sud-est e non presenta alcuna forma e/o processo di degradazione significativo.
- In un adeguato intorno non si rilevano fenomeni geodinamici e/o segnali di azione morfogenetica che possono influire direttamente sull'ambito in esame.
- Non si rilevano processi erosivi da parte delle acque di corrivazione.
- La caratterizzazione sismica dell'area, con approccio semplificato, permette di classificare il suolo di fondazione nelle classi B-C.
- L'accelerazione massima su suolo rigido e pari a $a_g = 0.159$ ($C_u=1$).
- Allo stato limite ultimo (SLV) l'ampl. stratigrafica $S_s=1,20-1,46$ l'ampl. topografica $S_t=1,0$.
- Nelle Carte dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Pavullo l'area in studio rientra nelle "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali".
- I coefficienti di amplificazione FA ottenuti con le tabelle regionali (DGR 476/2021) sono riportate nel Cap 3.8-3.9.

Le verifiche di stabilità svolte mostrano come il tratto di pendio in esame, sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche (sisma), prima, durante e dopo gli interventi edilizi, risulta verificato positivamente.

Si osserva come localmente gli interventi edificatori simulati influiscono inevitabilmente in modo significativo sulla stabilità del pendio. Occorre dire però che, nelle verifiche, a favore di sicurezza i carichi dei fabbricati sono stati collocati superficialmente e inoltre non sono state impostate opere di sostegno/contenimento alle scarpate di scavo. Entrambi questi fattori penalizzano decisamente i valori di F_s in condizioni di progetto. L'ideale progettazione di opere di sostegno unitamente alla corretta scelta della quota di posa delle fondazioni dei fabbricati concorreranno senz'altro a ripristinare le buone condizioni di stabilità naturali.

Fondamentale rimane la corretta regimazione delle acque superficiali ed il loro opportuno smaltimento, evitando così qualsiasi dispersione liquida nei terreni che ne possa nel tempo deteriorare le caratteristiche meccanico-resistive.

Si è condotta una valutazione della risposta sismica locale (RSL), mediante l'esecuzione di indagini sismiche sito specifiche (Masw e Hvsr), utilizzo di 7 segnali sismici di input forniti dalla RER (DGR 476/2021 e 564/2021) e codice di calcolo (Software RSL III Geostru) con determinazione dello spettro elastico normalizzato (Cap. 5).



Dal confronto tra lo spettro NTC18 ricavato con l'analisi semplificata (Suolo C) e quello da RSL emerge che:

- i valori dell'accelerazione derivati dalla modellazione numerica della RSL sono superiori a bassi periodi, tra 0.1-0.3/0.35 sec (circa il +12/20%); oltre tali periodi lo spettro RSL calcolato risulta leggermente inferiore.

Le caratteristiche fisico-meccaniche e resistive delle litologie investigate risultano compatibili con carichi d'esercizio di tipologie residenziali comuni. In fase progettuale andrà valutata l'ideale soluzione fondale, garante della corretta interazione tra sollecitazioni prodotte dalle strutture e le caratteristiche del terreno di fondazione.

La modellazione geologica preliminare dell'area di Ambito, pur rimandando alle singole fasi progettuali l'individuazione della scelta fondale definitiva, permette in linea generale, di ipotizzare l'adozione di fondazioni dirette superficiali del tipo a trave rovescia o platea con quote di posa variabili e dipendenti dalle quote di progetto e dalla presenza o meno di piano interrato. Laddove però, sono presenti livelli superficiali meno compatti di spessore tale da non essere oltrepassati con fondazioni dirette, o nel caso si valutino condizioni litologiche che possano determinare fenomeni di sovraconsolidazione per essiccazione dei terreni, si dovrà valutare la scelta di fondazioni profonde tipo pali trivellati che andranno innestati adeguatamente, per alcuni metri, nelle litologie molto compatte di primo substrato.

In fase progettuale/esecutiva dovranno essere approfondite e verificate le condizioni litostratigrafiche e geomeccaniche dei terreni di fondazione con indagini geognostiche puntuali all'interno di ogni singolo lotto al fine di verificare la presenza di eventuali disomogeneità latero-verticali non evidenziate dalle prove eseguite in questa fase e qualificare la natura dei terreni e quantificarne precisamente i caratteri litotecnici e di conseguenza affinare le scelte progettuali.

Dalle considerazioni sopra esposte, e nel rispetto delle prescrizioni indicate e delle verifiche da condursi nei singoli lotti, si ritiene l'Ambito ANS.2.9 in previsione compatibile con le caratteristiche geologiche e sismiche dell'area.

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti



ALLEGATO - 1 -

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°

Località: Ambito ANS 2.9 - Monte della Campana - Pavullo n/F. (Mo)

Comm.za

Quota:

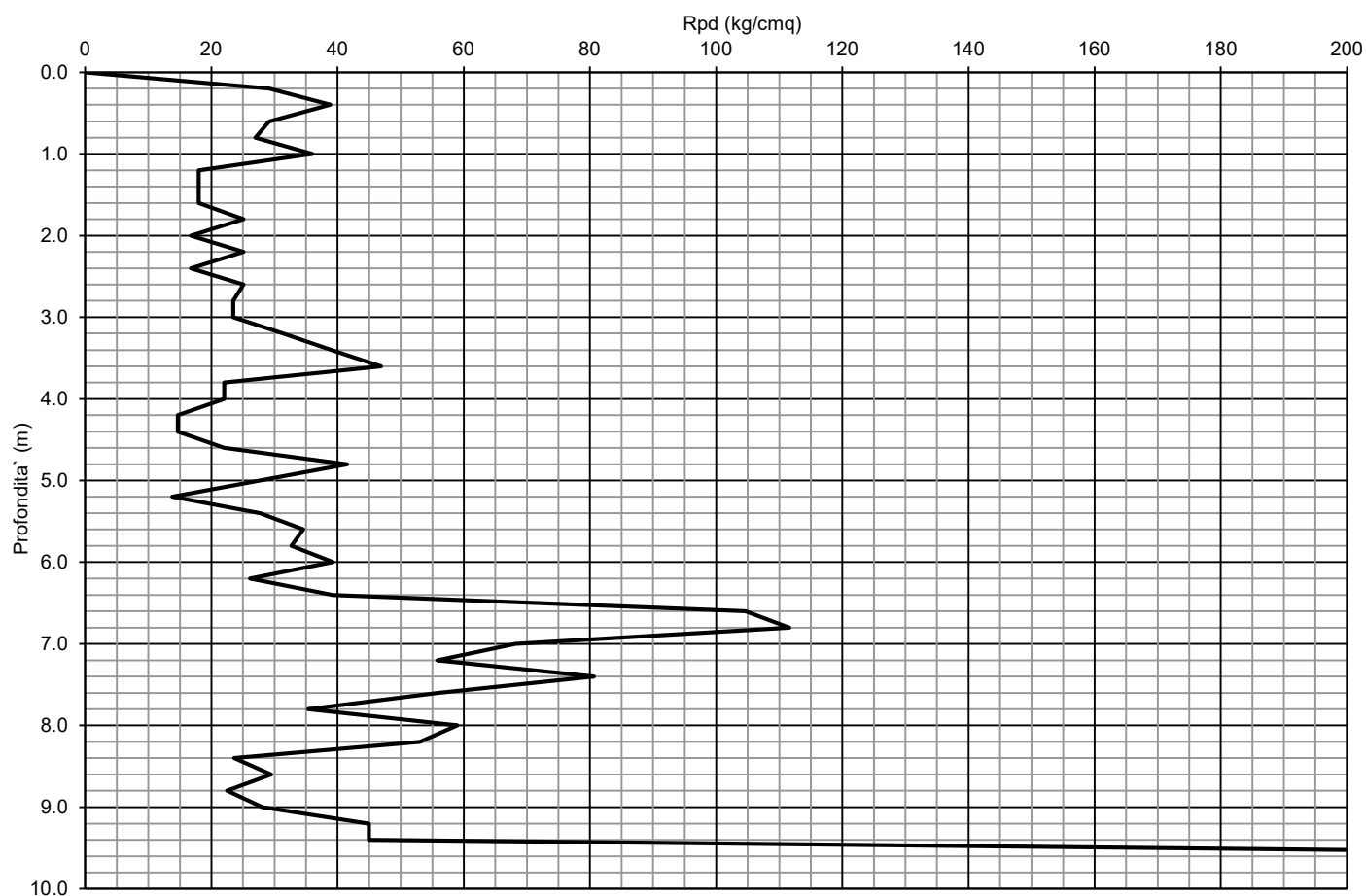
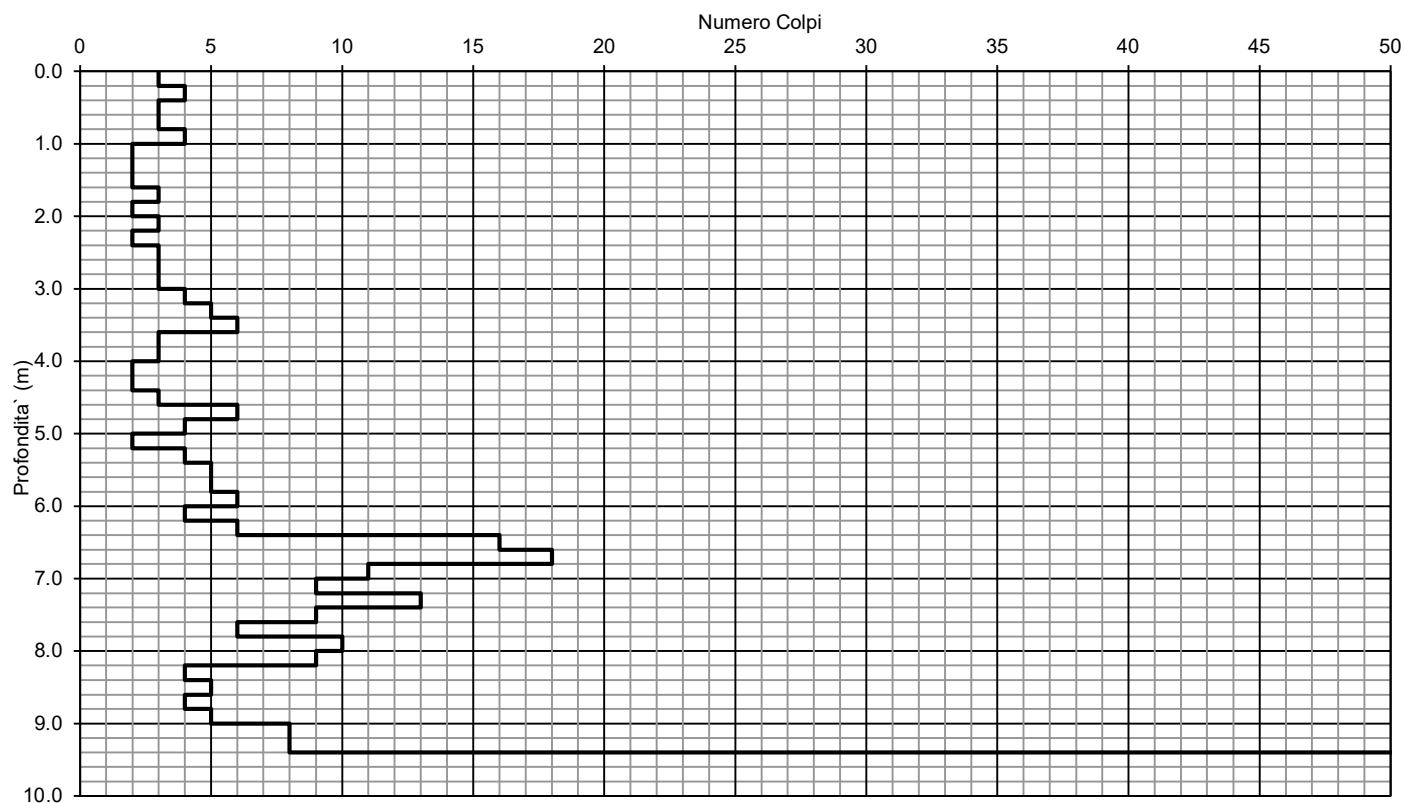
 1
 Data: 04/06/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi						N° asta	falda	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	ϕ (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	ϕ^m (°)	C' (t/mq)	Ed (t/mq)	100cm	---		
		n° colpi SPT	coesione non drenata	modulo edometrico	angolo d'attrito	modulo confinato	Res. Din. alla punta										
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	3	4.5	8.7	270.7	23.2	320.4	29.2							1	-	Terreno	
0.4	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9							1	-	agrario	
0.6	3	4.5	8.7	270.7	23.2	320.4	29.2							1	-	superficiale	
0.8	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-	e primo suolo	
1.0	4	6.0	10.7	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-		
1.2	2	3.0	5.3	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.4	2	3.0	5.3	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.6	2	3.0	5.2	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.8	3	4.5	7.4	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.0	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.2	3	4.5	7.3	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.4	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.6	3	4.5	7.3	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.8	3	4.5	6.8	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-		
3.0	3	4.5	6.8	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-		
3.2	4	6.0	9.1	361.0	24.5	427.1	31.3							4	-		
3.4	5	7.5	11.4	451.2	25.6	533.9	39.1	5.3	1.80	7.5	24	0.7	318	4	-	TERRENI DI COPERTURA	
3.6	6	9.0	13.7	541.4	26.6	640.7	46.9							4	-	argillosi-limosi	
3.8	3	4.5	6.2	270.7	23.2	320.4	22.0							5	-	compatti	
4.0	3	4.5	6.2	270.7	23.2	320.4	22.0							5	-		
4.2	2	3.0	4.0	180.5	21.7	213.6	14.7							5	-		
4.4	2	3.0	4.0	180.5	21.7	213.6	14.7							5	-		
4.6	3	4.5	6.2	270.7	23.2	320.4	22.0							5	-		
4.8	6	9.0	12.0	541.4	26.6	640.7	41.5							6	-		
5.0	4	6.0	7.8	361.0	24.5	427.1	27.7							6	-		
5.2	2	3.0	3.7	180.5	21.7	213.6	13.8							6	-		
5.4	4	6.0	7.8	361.0	24.5	427.1	27.7							6	-		
5.6	5	7.5	9.8	451.2	25.6	533.9	34.6							6	-		
5.8	5	7.5	9.3	451.2	25.6	533.9	32.7							7	-		
6.0	6	9.0	11.2	541.4	26.6	640.7	39.2							7	-		
6.2	4	6.0	7.3	361.0	24.5	427.1	26.2							7	-		
6.4	6	9.0	11.2	541.4	26.6	640.7	39.2							7	-		
6.6	16	24.1	30.8	1443.8	34.0	1708.5	104.6							7	-		
6.8	18	27.1	32.8	1624.3	35.2	1922.1	111.6							8	-		
7.0	11	16.5	19.8	992.6	30.8	1174.6	68.2							8	-		
7.2	9	13.5	16.1	812.2	29.2	961.1	55.8							8	-		
7.4	13	19.6	23.5	1173.1	32.1	1388.2	80.6							8	-		
7.6	9	13.5	16.0	812.2	29.2	961.1	55.8							8	-		
7.8	6	9.0	9.9	541.4	26.6	640.7	35.4	13.5	1.90	15.6	29	1.6	812	9	-	SUBSTRATO ALTERATO	
8.0	10	15.0	16.9	902.4	30.0	1067.8	59.0							9	-	Marne siltose	
8.2	9	13.5	15.1	812.2	29.2	961.1	53.1							9	-	da compatte	
8.4	4	6.0	6.3	361.0	24.5	427.1	23.6							9	-	a molto compatte	
8.6	5	7.5	8.0	451.2	25.6	533.9	29.5							9	-	con frazione	
8.8	4	6.0	5.9	361.0	24.5	427.1	22.5							9	-	grossolana	
9.0	5	7.5	7.6	451.2	25.6	533.9	28.1							10	-	litoide	
9.2	8	12.0	12.6	721.9	28.4	854.3	45.0							10	-	arenaceo-calcareo	
9.4	8	12.0	12.6	721.9	28.4	854.3	45.0							10	-		
9.6	52	78.2	86.8	4692.5	44.4	5552.8	292.3	78.2	2.10	-	44	-	4692	10	-	Livello litoide	
9.8	RIF													11	-		
10.0		0.0	-1.0	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		

Legenda

Nspt = numero colpi della prova SPT
 γ = peso di volume
 Cu = coesione non drenata
 C' = coesione drenata
 ϕ = angolo d'attrito
 Ed = modulo edometrico
 Mo = modulo confinato
 Rpd = resistenza dinamica alla punta (Olandesi)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°

Località: Ambito ANS 2.9 - Monte della Campana - Pavullo n/F. (Mo)

Comm.za

Quota:

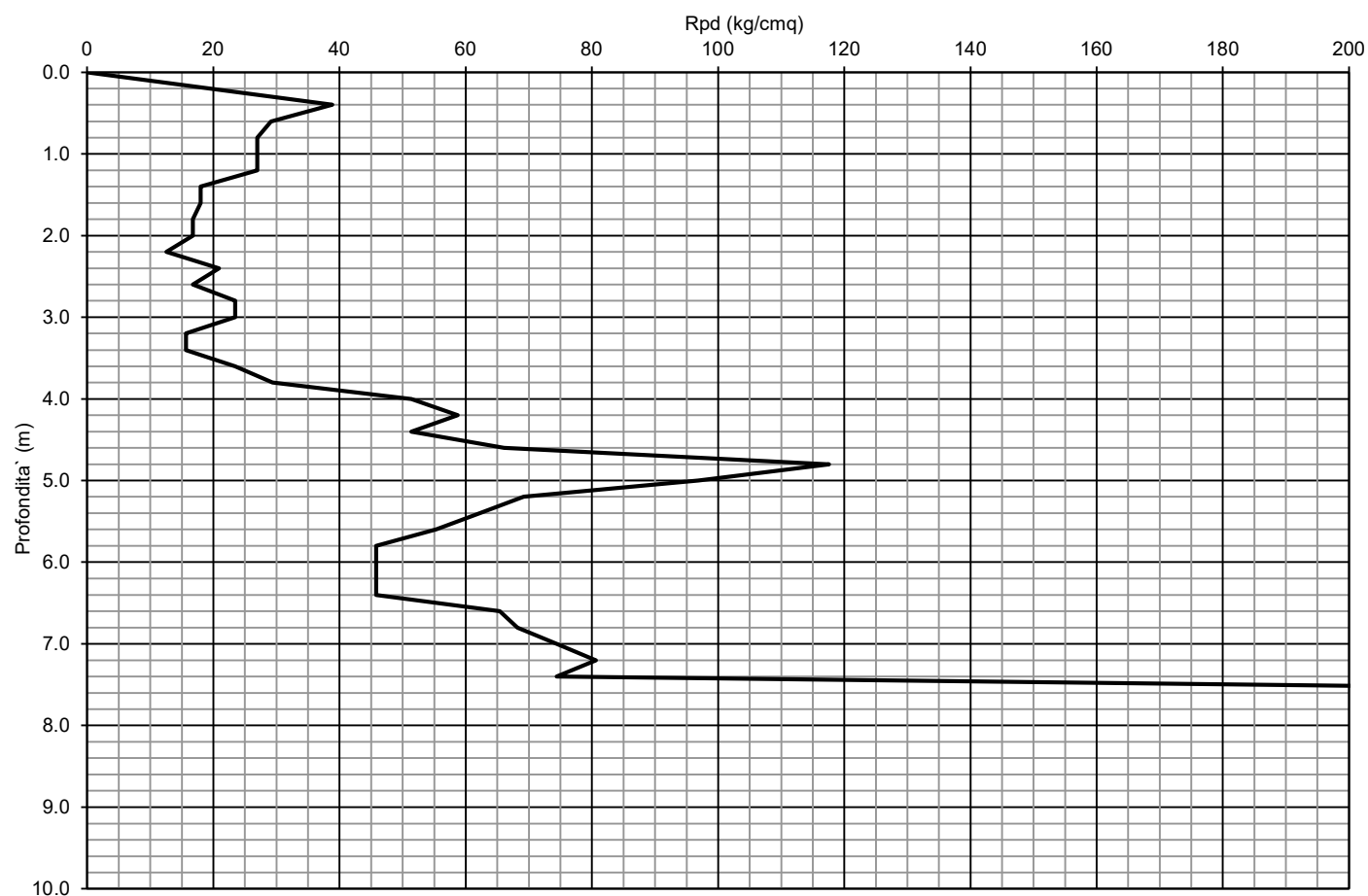
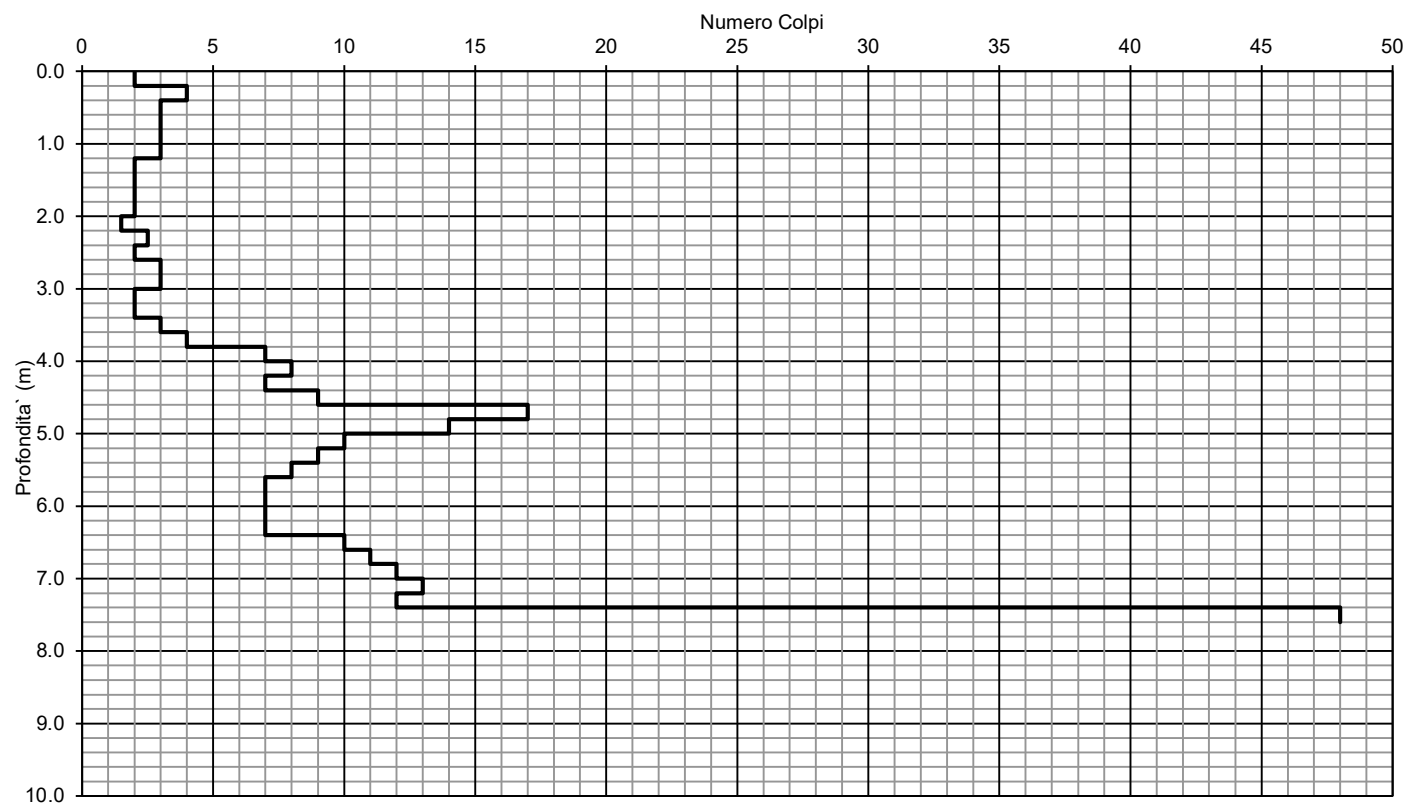
 2
 Data: 04/06/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi						N° asta 100cm	falda	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	φ° (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	φ° (°)	C° (t/mq)	Ed (t/mq)				
		n° colpi SPT	coesione non drenata	modulo edometrico	angolo d'attrito	modulo confinato	Res. Din. alla punta										
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	2	3.0	5.8	180.5	21.7	213.6	19.4							1	-		
0.4	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9							1	-	Terreno	
0.6	3	4.5	8.7	270.7	23.2	320.4	29.2							1	-	agrario	
0.8	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-	superficiale	
1.0	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-	e primo suolo	
1.2	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.4	2	3.0	5.3	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.6	2	3.0	5.2	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.8	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.0	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.2	1.5	2.3	3.6	135.4	20.8	160.2	12.5							3	-	TERRENI DI	
2.4	2.5	3.8	6.0	225.6	22.5	267.0	20.9	3.6	1.80	5.5	22	0.6	218	3	-	COPERTURA	
2.6	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-	argillosi-limosi	
2.8	3	4.5	6.8	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-	mediamente	
3.0	3	4.5	6.8	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-	compatti	
3.2	2	3.0	4.4	180.5	21.7	213.6	15.6							4	-		
3.4	2	3.0	4.4	180.5	21.7	213.6	15.6							4	-		
3.6	3	4.5	6.7	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-		
3.8	4	6.0	8.4	361.0	24.5	427.1	29.4							5	-		
4.0	7	10.5	15.0	631.7	27.6	747.5	51.4							5	-		
4.2	8	12.0	17.2	721.9	28.4	854.3	58.7							5	-		
4.4	7	10.5	15.0	631.7	27.6	747.5	51.4							5	-		
4.6	9	13.5	19.4	812.2	29.2	961.1	66.1							5	-		
4.8	17	25.6	34.8	1534.1	34.6	1815.3	117.6							6	-		
5.0	14	21.1	28.6	1263.4	32.8	1495.0	96.8							6	-	SUBSTRATO	
5.2	10	15.0	20.3	902.4	30.0	1067.8	69.2							6	-	ALTERATO	
5.4	9	13.5	18.2	812.2	29.2	961.1	62.3							6	-	Marne siltose	
5.6	8	12.0	16.1	721.9	28.4	854.3	55.3	14.6	2.00	19.0	30	1.9	877	6	-	da compatte	
5.8	7	10.5	13.2	631.7	27.6	747.5	45.8							7	-	a molto compatte	
6.0	7	10.5	13.2	631.7	27.6	747.5	45.8							7	-	con frazione	
6.2	7	10.5	13.1	631.7	27.6	747.5	45.8							7	-	grossolana	
6.4	7	10.5	13.1	631.7	27.6	747.5	45.8							7	-	litoide	
6.6	10	15.0	19.0	902.4	30.0	1067.8	65.4							7	-	arenaceo-calcareo	
6.8	11	16.5	19.8	992.6	30.8	1174.6	68.2							8	-		
7.0	12	18.0	21.7	1082.9	31.5	1281.4	74.4							8	-		
7.2	13	19.6	23.5	1173.1	32.1	1388.2	80.6							8	-		
7.4	12	18.0	21.6	1082.9	31.5	1281.4	74.4							8	-		
7.6	48	72.2	88.6	4331.5	43.7	5125.6	297.7	72.2	2.10	-	44	-	4332	8	-	Livello litoide	
7.8	RIF													9	-		
8.0		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.2		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.4		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.6		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.8		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.0		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.2		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.4		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.6		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.8		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		
10.0		0.0	-1.0	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		

Legenda

Nspt = numero colpi della prova SPT
 γ = peso di volume
 Cu = coesione non drenata
 C° = coesione drenata
 φ° = angolo d'attrito
 Ed = modulo edometrico
 Mo = modulo confinato
 Rpd = resistenza dinamica alla punta (Olandesi)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°

Località: Ambito ANS 2.9 - Monte della Campana - Pavullo n/F. (Mo)

Comm.za

Quota:

3

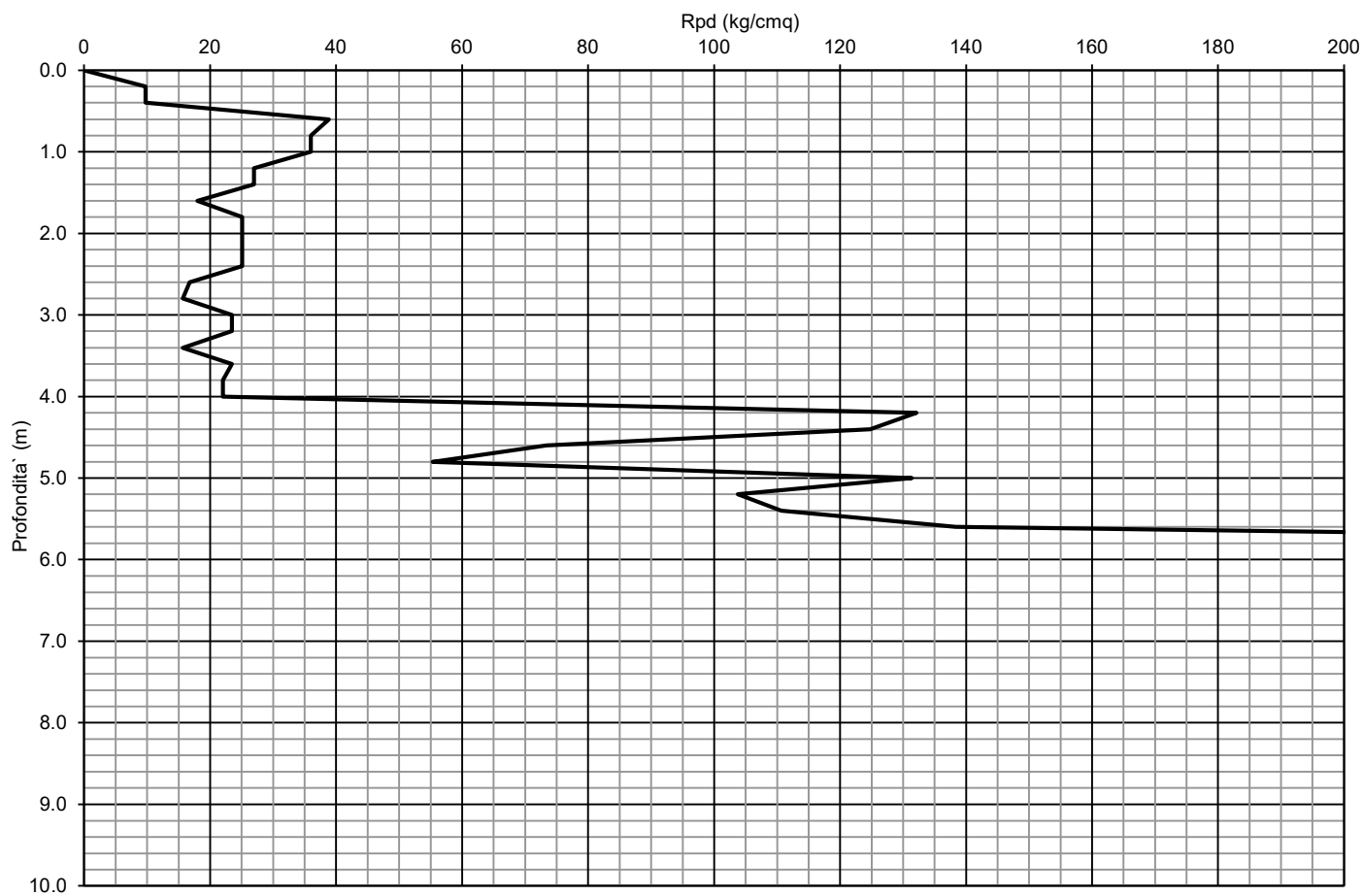
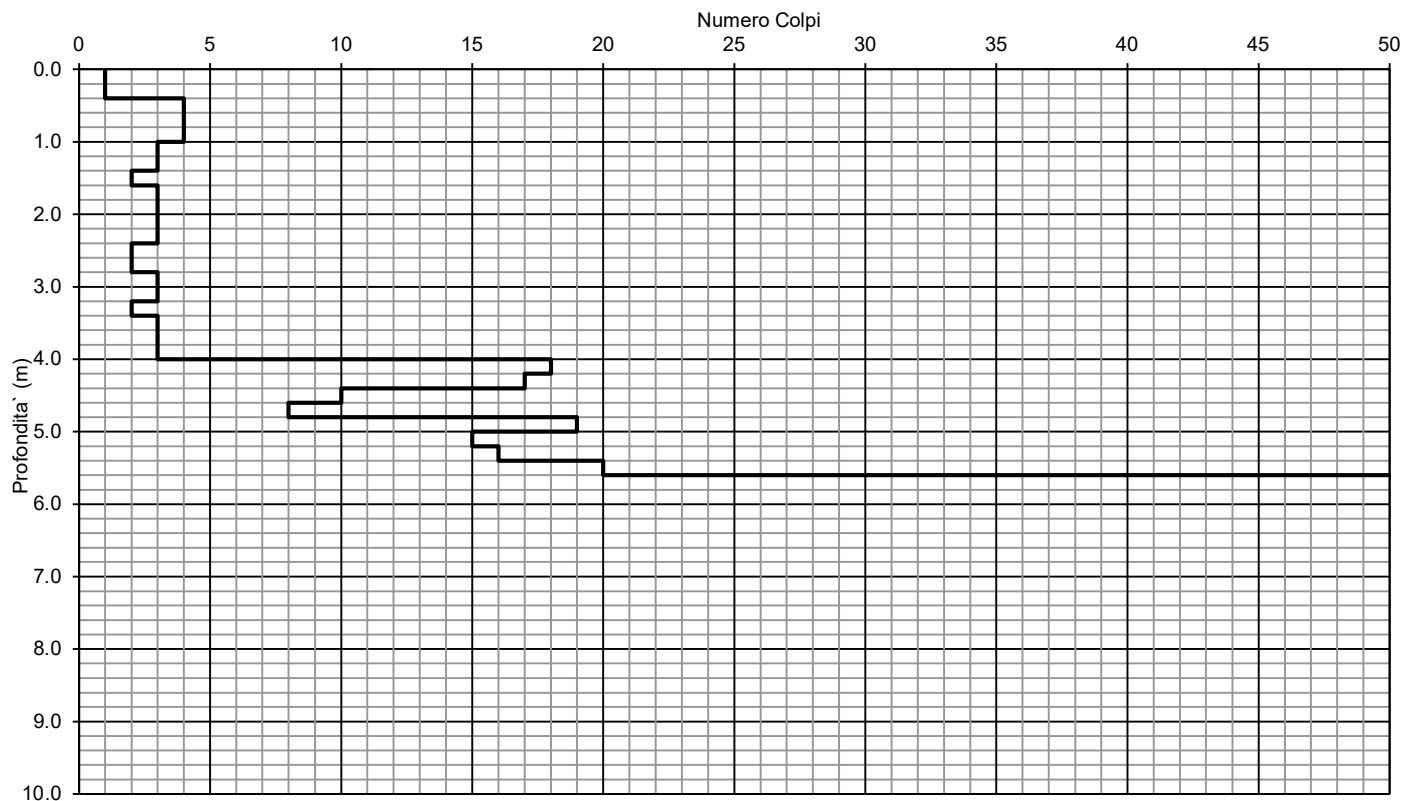
Data: 04/06/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi						N° asta 100cm	falda	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	φ° (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	φ° (°)	C° (t/mq)	Ed (t/mq)				
		n° colpi SPT	coesione non drenata	modulo edometrico	angolo d'attrito	modulo confinato	Res. Din. alla punta										
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	1	1.5	2.9	90.2	19.7	106.8	9.7							1	-		
0.4	1	1.5	2.9	90.2	19.7	106.8	9.7							1	-	Terreno	
0.6	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9							1	-	agrario	
0.8	4	6.0	10.7	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-	superficiale	
1.0	4	6.0	10.7	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-	e primo suolo	
1.2	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.4	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.6	2	3.0	5.2	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.8	3	4.5	7.4	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.0	3	4.5	7.3	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.2	3	4.5	7.3	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.4	3	4.5	7.3	270.7	23.2	320.4	25.1	4.1	1.80	6.3	23	0.6	243	3	-	TERRENI DI	
2.6	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-	COPERTURA	
2.8	2	3.0	4.4	180.5	21.7	213.6	15.6							4	-	argillosi-limosi	
3.0	3	4.5	6.8	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-	mediamente	
3.2	3	4.5	6.7	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-	compatti	
3.4	2	3.0	4.4	180.5	21.7	213.6	15.6							4	-		
3.6	3	4.5	6.7	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-		
3.8	3	4.5	6.2	270.7	23.2	320.4	22.0							5	-		
4.0	3	4.5	6.2	270.7	23.2	320.4	22.0							5	-		
4.2	18	27.1	39.2	1624.3	35.2	1922.1	132.1							5	-	SUBSTRATO	
4.4	17	25.6	37.0	1534.1	34.6	1815.3	124.8							5	-	ALTERATO	
4.6	10	15.0	21.6	902.4	30.0	1067.8	73.4							5	-	Marne siltose	
4.8	8	12.0	16.1	721.9	28.4	854.3	55.3	23.1	2.00	32.2	33	3.2	1387	6	-	molto compatte	
5.0	19	28.6	39.0	1714.6	35.7	2028.9	131.4							6	-	con frazione	
5.2	15	22.6	30.6	1353.6	33.4	1601.8	103.8							6	-	grossolana	
5.4	16	24.1	32.7	1443.8	34.0	1708.5	110.7							6	-	litoide	
5.6	20	30.1	41.0	1804.8	35.3	2135.7	138.3							6	-		
5.8	51	76.7	99.5	4602.2	44.3	5446.0	333.6	76.7	2.10	-	44	-	4602	7	-	Livello litoide	
6.0		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.2		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.4		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.6		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.0		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.2		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.4		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.6		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.8		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.0		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.2		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.4		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.6		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.8		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.0		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.2		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.4		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.6		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.8		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		
10.0		0.0	-1.0	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		

Legenda

Nspt = numero colpi della prova SPT
 γ = peso di volume
 Cu = coesione non drenata
 C° = coesione drenata
 φ° = angolo d'attrito
 Ed = modulo edometrico
 Mo = modulo confinato
 Rpd = resistenza dinamica alla punta (Olandesi)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°

Località: Ambito ANS 2.9 - Monte della Campana - Pavullo n/F. (Mo)

Comm.za

Quota:

4

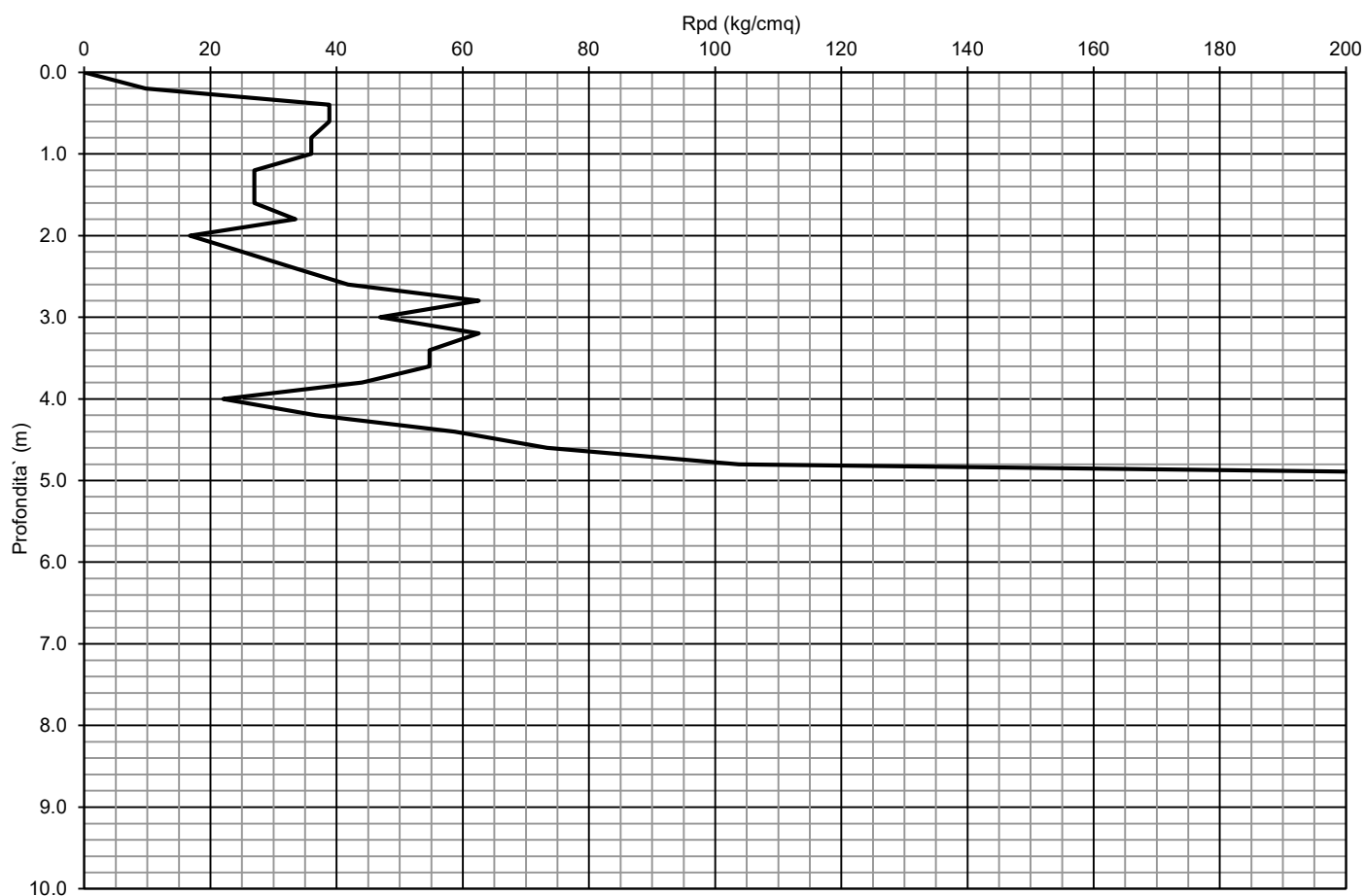
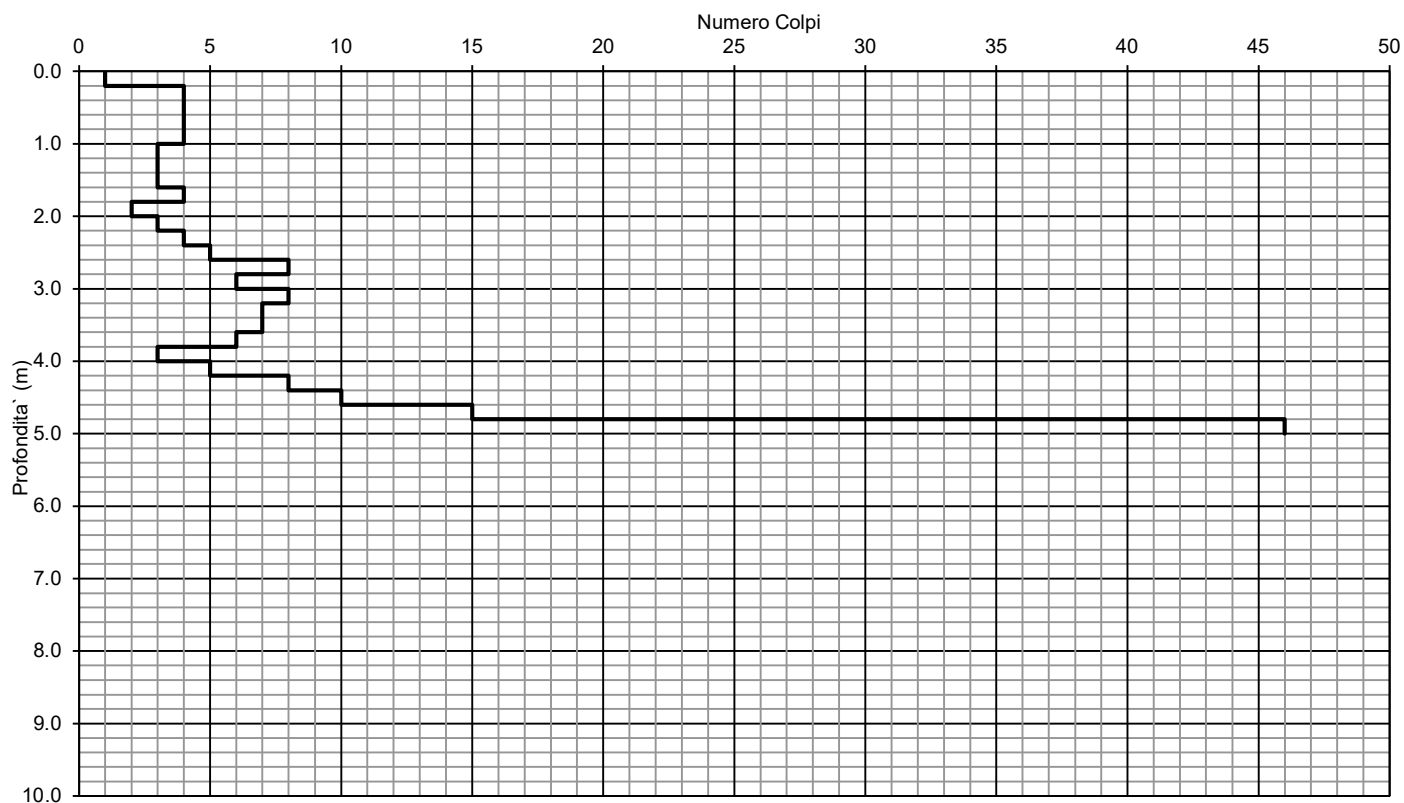
Data: 04/06/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi						N° asta 100cm	falda m	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	φ° (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	φ° (°)	C° (t/mq)	Ed (t/mq)				
		n° colpi SPT	coesione non drenata	modulo edometrico	angolo d'attrito	modulo confinato	Res. Din. alla punta										
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	1	1.5	2.9	90.2	19.7	106.8	9.7							1	-		
0.4	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9							1	-	Terreno agrario	
0.6	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9							1	-	superficiale	
0.8	4	6.0	10.7	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-	e primo suolo	
1.0	4	6.0	10.7	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-		
1.2	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.4	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.6	3	4.5	7.9	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.8	4	6.0	9.9	361.0	24.5	427.1	33.5	5.1	1.80	8.5	24	0.8	305	3	-		
2.0	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.2	3	4.5	7.3	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.4	4	6.0	9.8	361.0	24.5	427.1	33.5							3	-		
2.6	5	7.5	12.3	451.2	25.6	533.9	41.8							3	-		
2.8	8	12.0	18.5	721.9	28.4	854.3	62.5							4	-		
3.0	6	9.0	13.8	541.4	26.6	640.7	46.9							4	-		
3.2	8	12.0	18.5	721.9	28.4	854.3	62.5							4	-		
3.4	7	10.5	16.1	631.7	27.6	747.5	54.7	9.4	1.90	14.1	27	1.4	564	4	-	TERRENI DI COPERTURA argillosi-limosi da mediamente compatti a compatti	
3.6	7	10.5	16.1	631.7	27.6	747.5	54.7							4	-		
3.8	6	9.0	12.9	541.4	26.6	640.7	44.0							5	-		
4.0	3	4.5	6.2	270.7	23.2	320.4	22.0							5	-		
4.2	5	7.5	10.6	451.2	25.6	533.9	36.7							5	-		
4.4	8	12.0	17.2	721.9	28.4	854.3	58.7							5	-	Marne siltose	
4.6	10	15.0	21.6	902.4	30.0	1067.8	73.4	16.5	2.00	23.2	31	2.3	993	5	-	molto compatte	
4.8	15	22.6	30.7	1353.6	33.4	1601.8	103.8							6	-		
5.0	46	69.2	95.0	4151.0	43.2	4912.1	318.2	69.2	2.10	-	43	-	4151	6	-	Livello litoide	
5.2	RIF													6	-		
5.4		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.6		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.0		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.2		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.4		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.6		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.0		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.2		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.4		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.6		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.8		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.0		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.2		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.4		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.6		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.8		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.0		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.2		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.4		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.6		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.8		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		
10.0		0.0	-1.0	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		

Legenda

Nspt = numero colpi della prova SPT
 γ = peso di volume
 Cu = coesione non drenata
 C' = coesione drenata
 φ = angolo d'attrito
 Ed = modulo edometrico
 Mo = modulo confinato
 Rpd = resistenza dinamica alla punta (Olandesi)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°

Località: Ambito ANS 2.9 - Monte della Campana - Pavullo n/F. (Mo)

Comm.za

Quota:

5

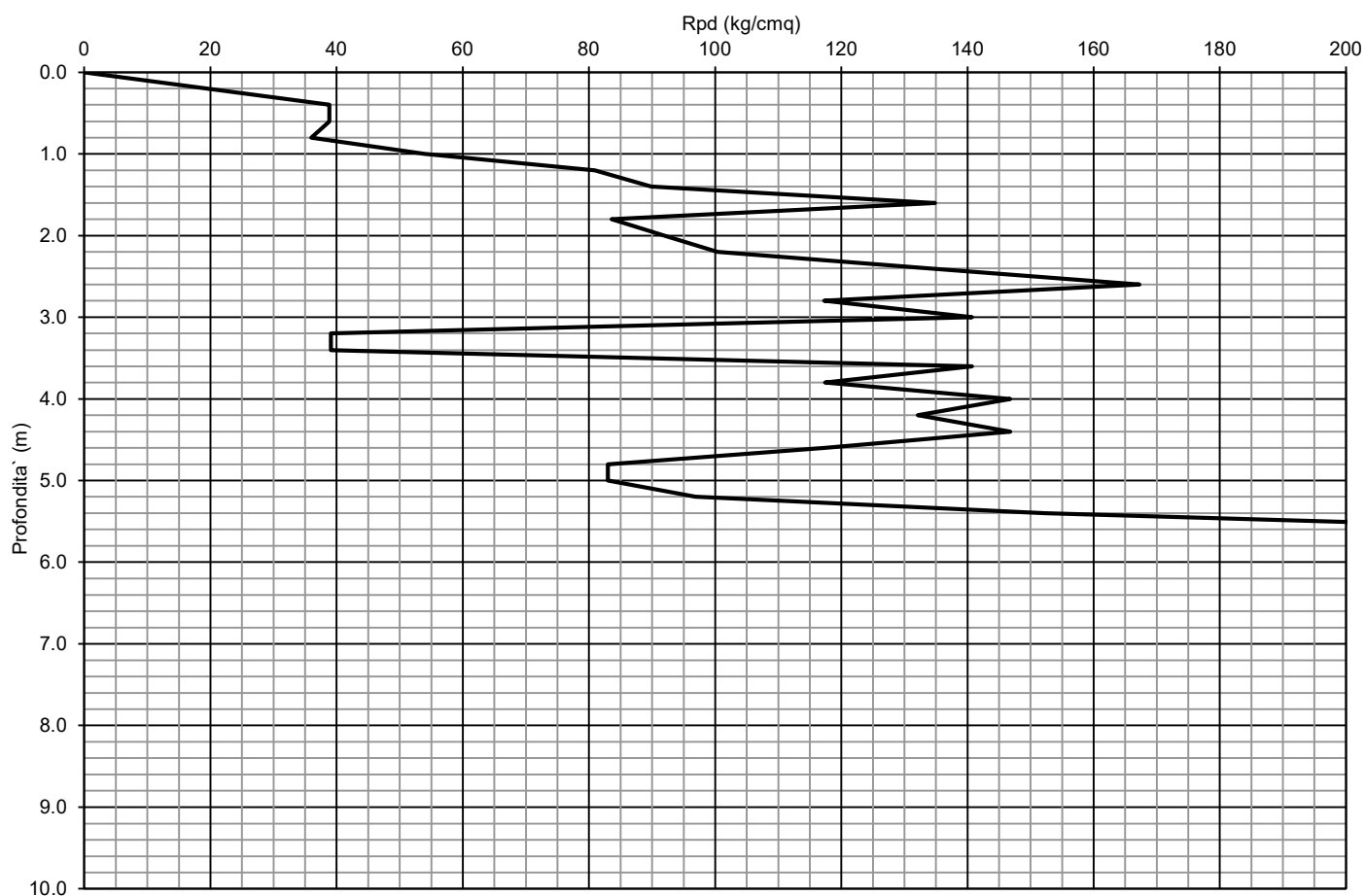
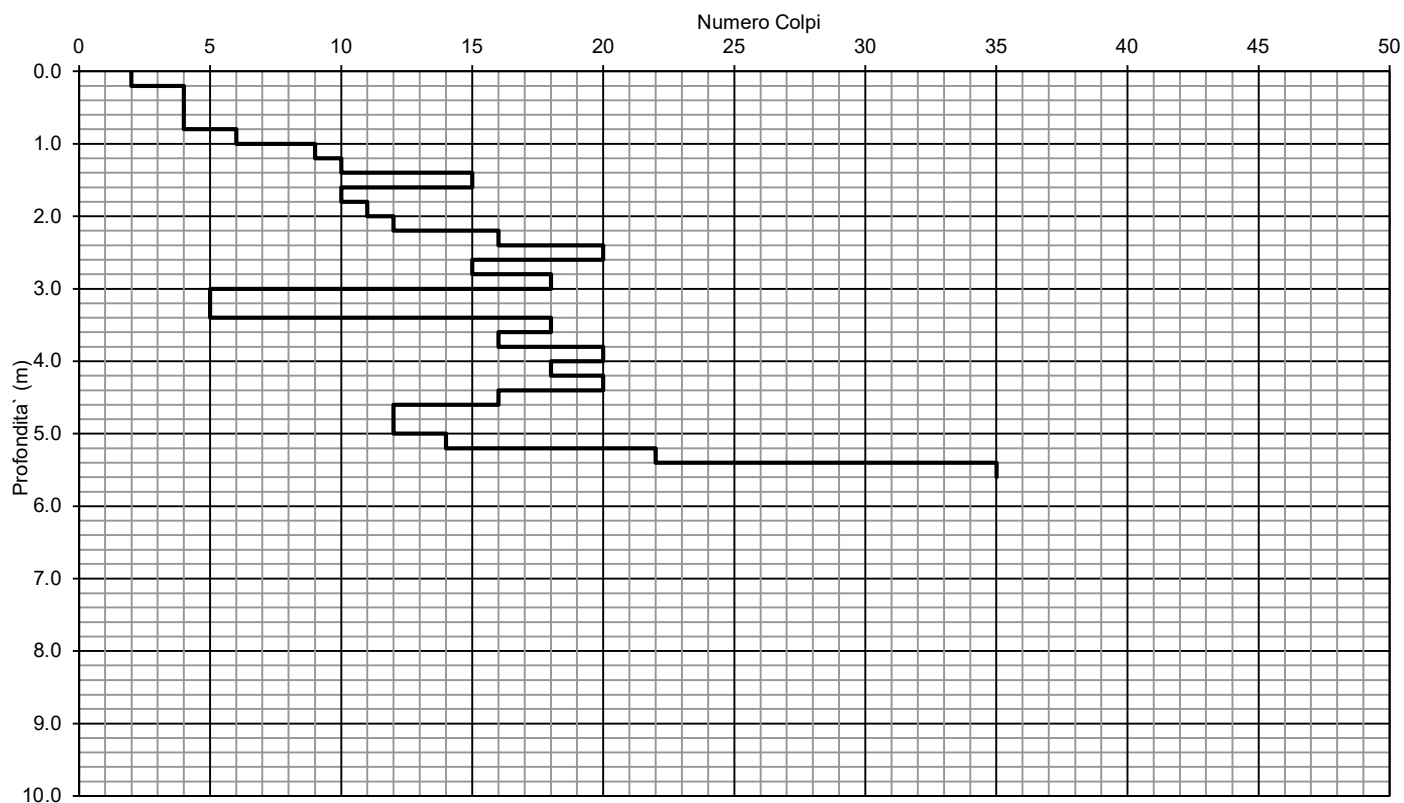
Data: 04/06/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi						N° asta 100cm	falda	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	ϕ (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	ϕ^m (°)	C' (t/mq)	Ed (t/mq)				
		n° colpi SPT	coesione non drenata	modulo edometrico	angolo d'attrito	modulo confinato	Res. Din. alla punta										
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	2	3.0	5.8	180.5	21.7	213.6	19.4							1	-	Terreno	
0.4	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9							1	-	agrario	
0.6	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9							1	-	superficiale	
0.8	4	6.0	10.7	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-	e primo suolo	
1.0	6	9.0	16.1	541.4	26.6	640.7	53.9							2	-		
1.2	9	13.5	24.2	812.2	29.2	961.1	80.9							2	-		
1.4	10	15.0	26.8	902.4	30.0	1067.8	89.9							2	-		
1.6	15	22.6	40.3	1353.6	33.4	1601.8	134.8							2	-		
1.8	10	15.0	24.9	902.4	30.0	1067.8	83.6							3	-	TERRENI DI COPERTURA	
2.0	11	16.5	27.4	992.6	30.8	1174.6	92.0							3	-	argillosi-limosi	
2.2	12	18.0	29.9	1082.9	31.5	1281.4	100.4	17.6	1.90	29.2	31	2.9	1055	3	-	da compatti	
2.4	16	24.1	39.9	1443.8	34.0	1708.5	133.8							3	-	a molto compatti	
2.6	20	30.1	49.9	1804.8	35.3	2135.7	167.3							3	-		
2.8	15	22.6	34.9	1353.6	33.4	1601.8	117.3							4	-		
3.0	18	27.1	41.9	1624.3	35.2	1922.1	140.7							4	-		
3.2	5	7.5	11.4	451.2	25.6	533.9	39.1							4	-		
3.4	5	7.5	11.4	451.2	25.6	533.9	39.1							4	-		
3.6	18	27.1	41.9	1624.3	35.2	1922.1	140.7							4	-		
3.8	16	24.1	34.9	1443.8	34.0	1708.5	117.4							5	-		
4.0	20	30.1	43.7	1804.8	35.3	2135.7	146.8							5	-	SUBSTRATO ALTERATO	
4.2	18	27.1	39.2	1624.3	35.2	1922.1	132.1							5	-	Marne siltose	
4.4	20	30.1	43.6	1804.8	35.3	2135.7	146.8	24.4	2.00	35.1	34	3.5	1464	5	-	molto compatte	
4.6	16	24.1	34.8	1443.8	34.0	1708.5	117.4							5	-	con frazione	
4.8	12	18.0	24.4	1082.9	31.5	1281.4	83.0							6	-	grossolana	
5.0	12	18.0	24.4	1082.9	31.5	1281.4	83.0							6	-		
5.2	14	21.1	28.6	1263.4	32.8	1495.0	96.8							6	-		
5.4	22	33.1	45.1	1985.3	36.0	2349.2	152.2	42.9	2.10	-	38	-	2572	6	-		
5.6	35	52.6	72.1	3158.4	40.4	3737.4	242.1							6	-	Livello litoide	
5.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.0		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.2		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.4		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.6		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.0		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.2		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.4		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.6		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.8		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.0		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.2		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.4		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.6		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.8		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.0		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.2		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.4		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.6		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.8		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		
10.0		0.0	-1.0	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		

Legenda

Nspt = numero colpi della prova SPT
 γ = peso di volume
 Cu = coesione non drenata
 C' = coesione drenata
 ϕ = angolo d'attrito
 Ed = modulo edometrico
 Mo = modulo confinato
 Rpd = resistenza dinamica alla punta (Olandesi)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°

Località: Ambito ANS 2.9 - Monte della Campana - Pavullo n/F. (Mo)

Comm.za

Quota:

6

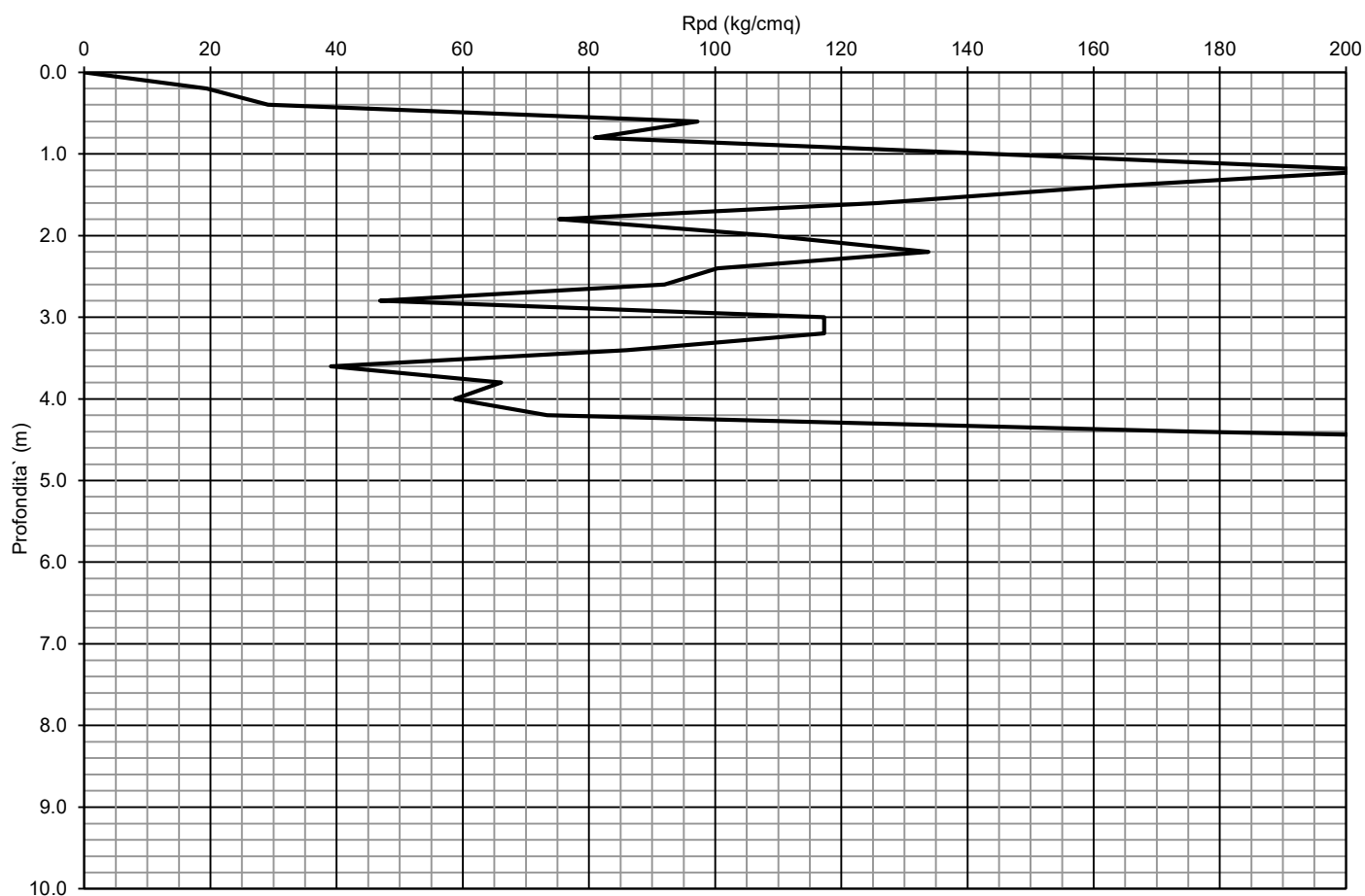
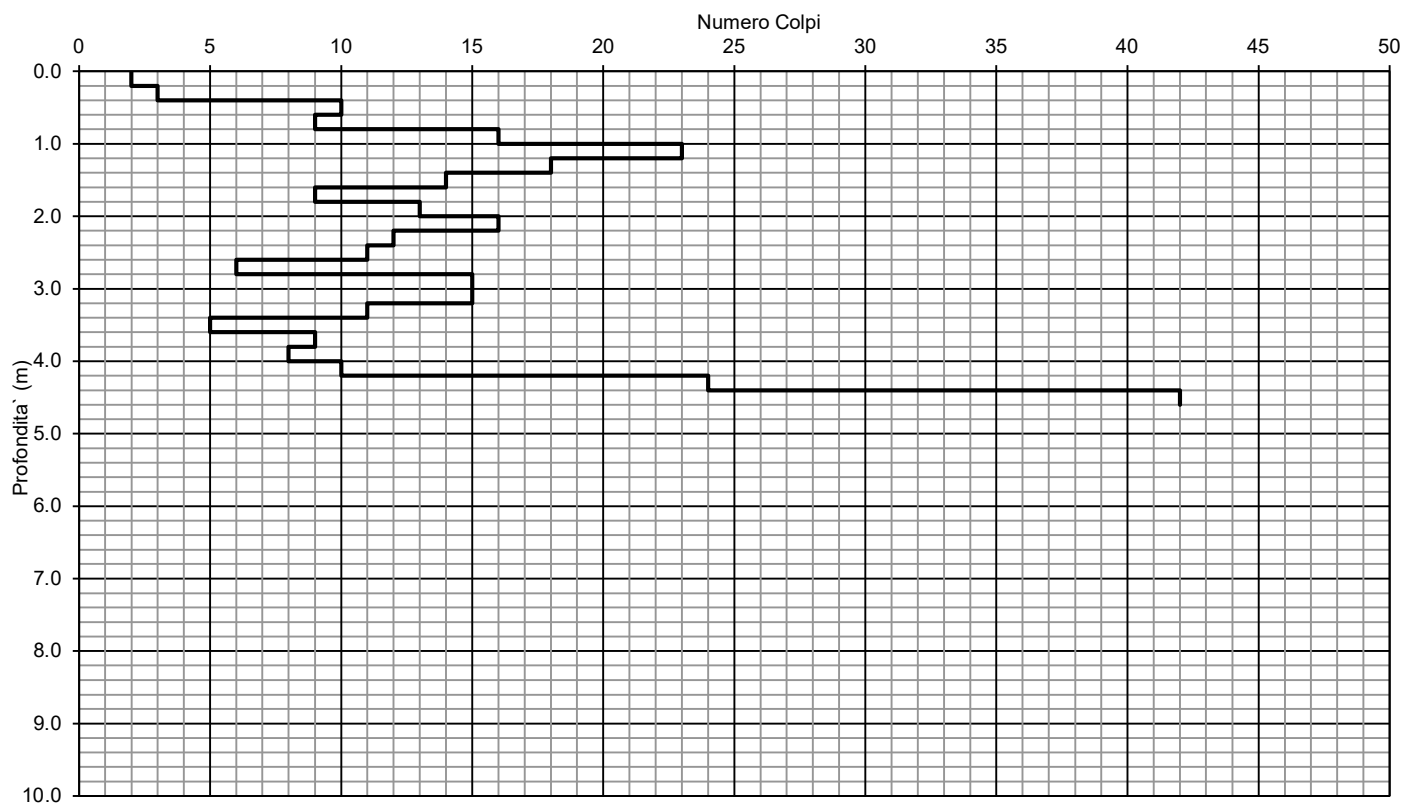
Data: 04/06/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi						N° asta 100cm	falda	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	φ° (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	φ° (°)	C° (t/mq)	Ed (t/mq)				
		n° colpi SPT	coesione non drenata	modulo edometrico	angolo d'attrito	modulo confinato	Res. Din. alla punta										
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	2	3.0	5.8	180.5	21.7	213.6	19.4							1	-	Terreno	
0.4	3	4.5	8.7	270.7	23.2	320.4	29.2							1	-	agrario	
0.6	10	15.0	29.1	902.4	30.0	1067.8	97.2							1	-	superficiale	
0.8	9	13.5	24.2	812.2	29.2	961.1	80.9							2	-	e primo suolo	
1.0	16	24.1	43.1	1443.8	34.0	1708.5	143.8							2	-		
1.2	23	34.6	61.9	2075.5	36.4	2456.0	206.8							2	-		
1.4	18	27.1	48.4	1624.3	35.2	1922.1	161.8							2	-		
1.6	14	21.1	37.6	1263.4	32.8	1495.0	125.9							2	-	TERRENI DI	
1.8	9	13.5	22.4	812.2	29.2	961.1	75.3							3	-	COPERTURA	
2.0	13	19.6	32.4	1173.1	32.1	1388.2	108.7							3	-	argillosi-limosi	
2.2	16	24.1	39.9	1443.8	34.0	1708.5	133.8	19.8	1.90	33.1	32	3.3	1186	3	-	da compatti	
2.4	12	18.0	29.9	1082.9	31.5	1281.4	100.4							3	-	a molto compatti	
2.6	11	16.5	27.4	992.6	30.8	1174.6	92.0							3	-	con frazione	
2.8	6	9.0	13.8	541.4	26.6	640.7	46.9							4	-	grossolana	
3.0	15	22.6	34.9	1353.6	33.4	1601.8	117.3							4	-		
3.2	15	22.6	34.9	1353.6	33.4	1601.8	117.3							4	-		
3.4	11	16.5	25.5	992.6	30.8	1174.6	86.0							4	-		
3.6	5	7.5	11.4	451.2	25.6	533.9	39.1							4	-		
3.8	9	13.5	19.5	812.2	29.2	961.1	66.1							5	-	Marne siltose	
4.0	8	12.0	17.2	721.9	28.4	854.3	58.7							5	-	molto compatte	
4.2	10	15.0	21.6	902.4	30.0	1067.8	73.4	28.0	2.00	40.6	33	4.1	1678	5	-	con frazione	
4.4	24	36.1	52.4	2165.8	36.8	2562.8	176.2							5	-	grossolana	
4.6	42	63.2	92.1	3790.1	42.3	4484.9	308.3							5	-		
4.8		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.0		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.2		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.4		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.6		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.0		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.2		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.4		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.6		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.0		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.2		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.4		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.6		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.8		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.0		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.2		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.4		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.6		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.8		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.0		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.2		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.4		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.6		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.8		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		
10.0		0.0	-1.0	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		

Legenda

Nspt = numero colpi della prova SPT
 γ = peso di volume
 Cu = coesione non drenata
 C° = coesione drenata
 φ° = angolo d'attrito
 Ed = modulo edometrico
 Mo = modulo confinato
 Rpd = resistenza dinamica alla punta (Olandesi)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°

Località: Ambito ANS 2.9 - Monte della Campana - Pavullo n/F. (Mo)

Comm.za

Quota:

7

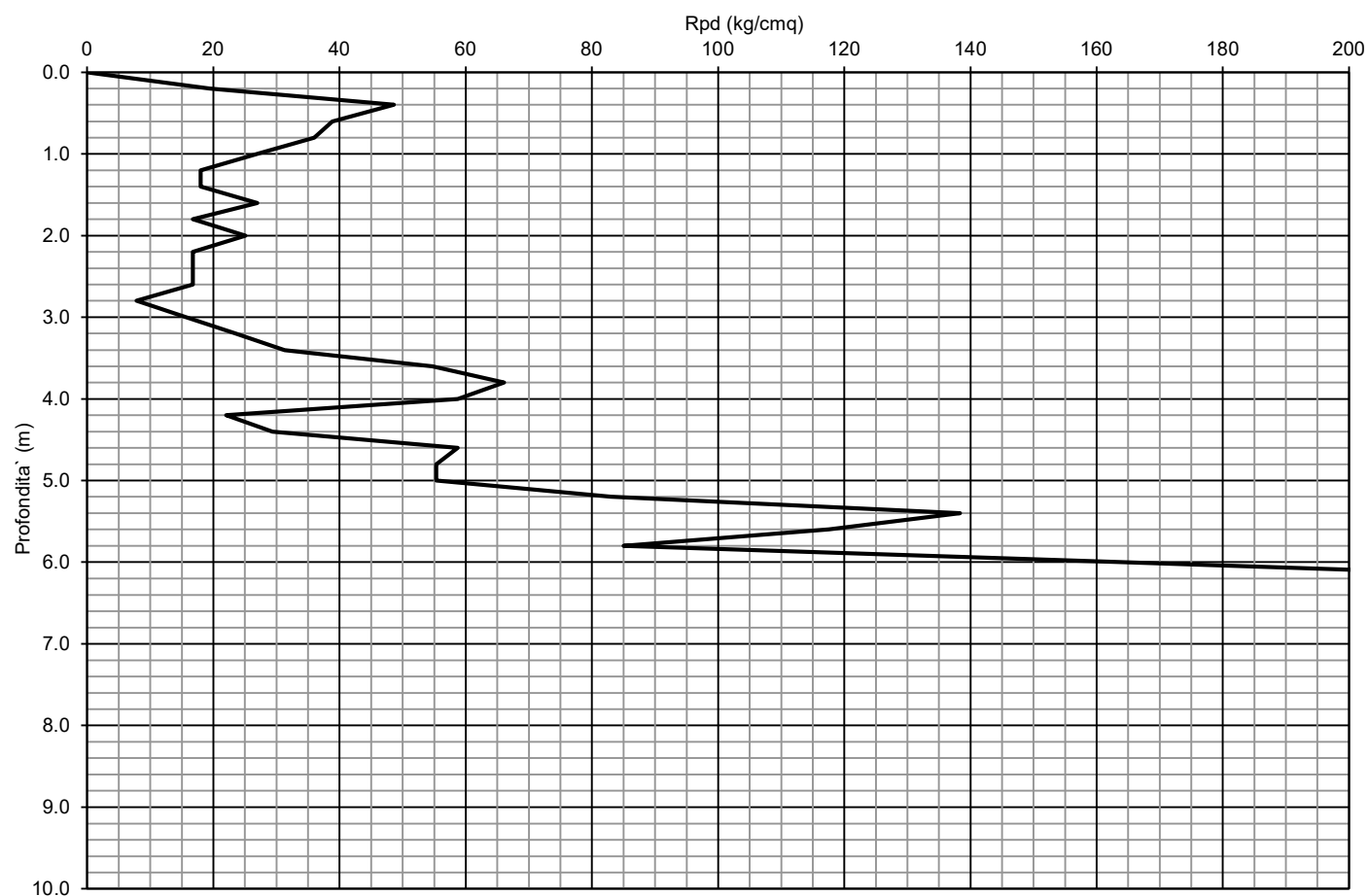
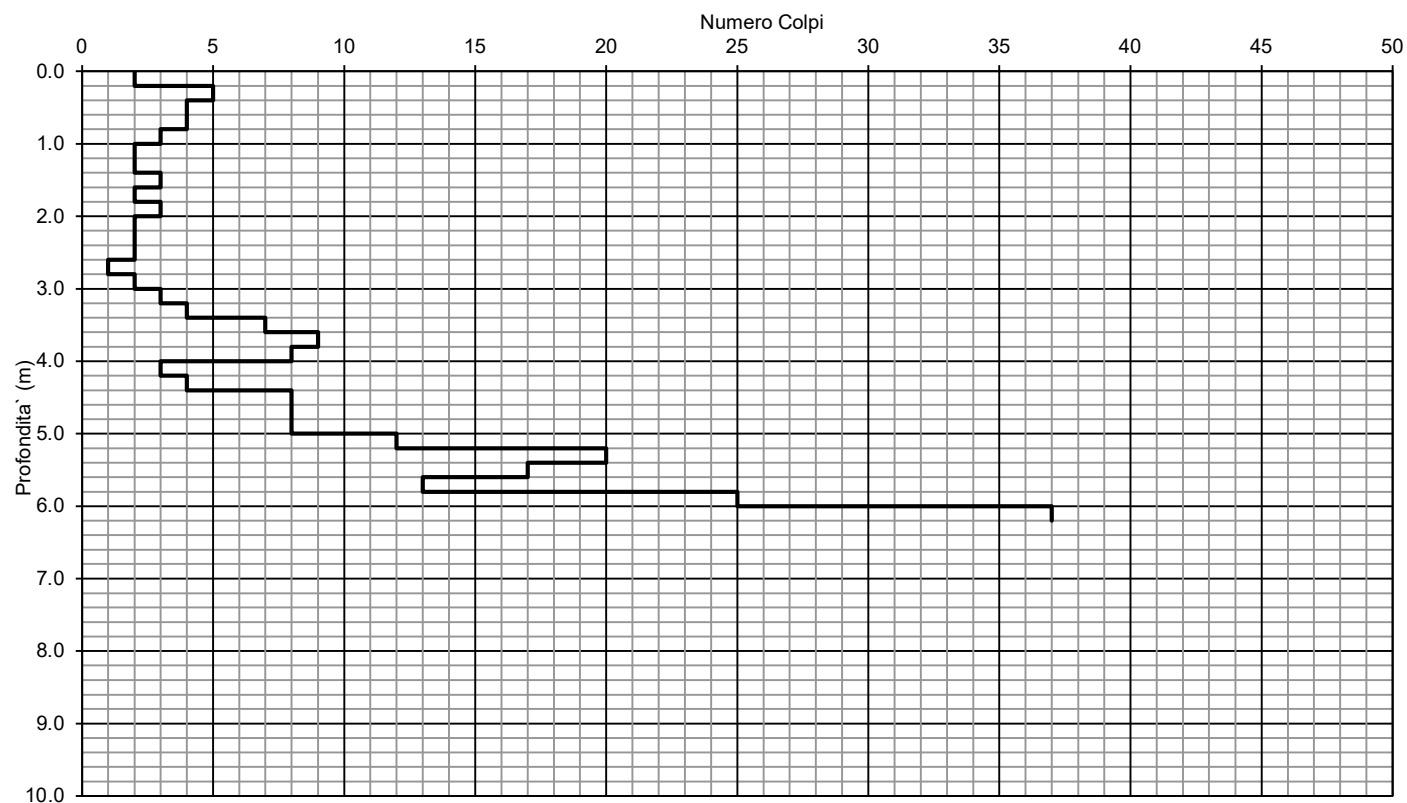
Data: 04/06/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi						N° asta 100cm	falda m	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	φ° (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	φ° (°)	C° (t/mq)	Ed (t/mq)				
		n° colpi SPT	coesione non drenata	modulo edometrico	angolo d'attrito	modulo confinato	Res. Din. alla punta										
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	2	3.0	5.8	180.5	21.7	213.6	19.4							1	-	Terreno	
0.4	5	7.5	14.5	451.2	25.6	533.9	48.6							1	-	agrario	
0.6	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9							1	-	superficiale	
0.8	4	6.0	10.7	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-	e primo suolo	
1.0	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.2	2	3.0	5.3	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.4	2	3.0	5.3	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.6	3	4.5	7.9	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.8	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.0	3	4.5	7.3	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.2	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.4	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.6	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7	5.2	1.80	7.9	23	0.8	311	3	-	TERRENI DI COPERTURA argillosi-limosi da mediamente compatti a compatti	
2.8	1	1.5	2.1	90.2	19.7	106.8	7.8							4	-		
3.0	2	3.0	4.4	180.5	21.7	213.6	15.6							4	-		
3.2	3	4.5	6.7	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-		
3.4	4	6.0	9.1	361.0	24.5	427.1	31.3							4	-		
3.6	7	10.5	16.1	631.7	27.6	747.5	54.7							4	-		
3.8	9	13.5	19.5	812.2	29.2	961.1	66.1							5	-		
4.0	8	12.0	17.2	721.9	28.4	854.3	58.7							5	-		
4.2	3	4.5	6.2	270.7	23.2	320.4	22.0							5	-		
4.4	4	6.0	8.4	361.0	24.5	427.1	29.4							5	-		
4.6	8	12.0	17.2	721.9	28.4	854.3	58.7							5	-		
4.8	8	12.0	16.1	721.9	28.4	854.3	55.3							6	-		
5.0	8	12.0	16.1	721.9	28.4	854.3	55.3	18.5	2.00	24.9	31	2.5	1109	6	-	Marne siltose molto compatte con frazione grossolana	
5.2	12	18.0	24.4	1082.9	31.5	1281.4	83.0							6	-		
5.4	20	30.1	41.0	1804.8	35.3	2135.7	138.3							6	-		
5.6	17	25.6	34.7	1534.1	34.6	1815.3	117.6							6	-		
5.8	13	19.6	25.0	1173.1	32.1	1388.2	85.0							7	-		
6.0	25	37.6	48.5	2256.0	37.2	2669.6	163.5	46.6	2.10	-	39	-	2797	7	-		
6.2	37	55.6	72.0	3338.9	41.0	3951.0	242.0							7	-		
6.4		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.6		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.0		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.2		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.4		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.6		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.8		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.0		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.2		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.4		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.6		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							9	-		
8.8		0.0	-0.8	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.0		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.2		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.4		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.6		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							10	-		
9.8		0.0	-0.9	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		
10.0		0.0	-1.0	0.0	15.0	0.0	0.0							11	-		

Legenda

Nspt = numero colpi della prova SPT
 γ = peso di volume
 Cu = coesione non drenata
 C' = coesione drenata
 φ = angolo d'attrito
 Ed = modulo edometrico
 Mo = modulo confinato
 Rpd = resistenza dinamica alla punta (Olandesi)



ALLEGATO - 2 -

INDAGINE GEOFISICA - MASW

DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo) - cell. 339 4679008 – e mail sb.marco@libero.it
PIVA 02496130366 – CF SNTMRC72M09G393S – PEC santibortolotti@epap.sicurezzapostale.it – Cod (SDI) XL13LG4

PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
MASW 1

Committente:

Località: Ambito ANS 2.9 - Pavullo n/F. (Mo)

Data prova 04/06/2021

Attrezzatura utilizzata

- Sismografo PASI SG 24 16S-U a 24 canali
- n° 24 geofoni verticali Pasi da 4.5 Hz con clip singola
- geofono starter
- n° 1 cavo schermato su rullo, 100 m, trasmissione geofono starter-Sismografo
- n° 2 cavi sismici su rullo, 75 m, 12 tracce, intervallo 5 m, connettori e attacchi singoli
- mazza di battuta kg 8
- piattello di battuta in alluminio (20x20x5 cm)
- pc portatile
- Software Winmasw Pro 7.3

Finalità d'indagine

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche NTC 2018

Queste acquisizioni, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione del sottosuolo è stata svolta sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

h_i = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

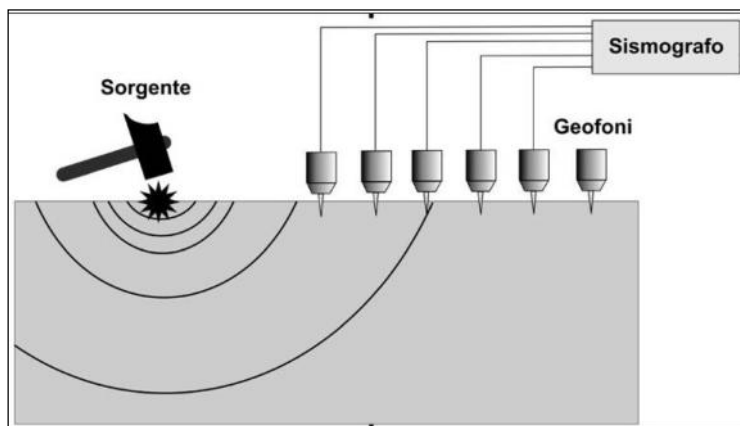
N = numero strati considerati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s

Metodologia ed elaborazione d'indagine

Lunghezza stendimento: 46 m
N° geofoni: 24
Spaziatura geofoni: 2 m
Offset energizzazione: 2-5 m

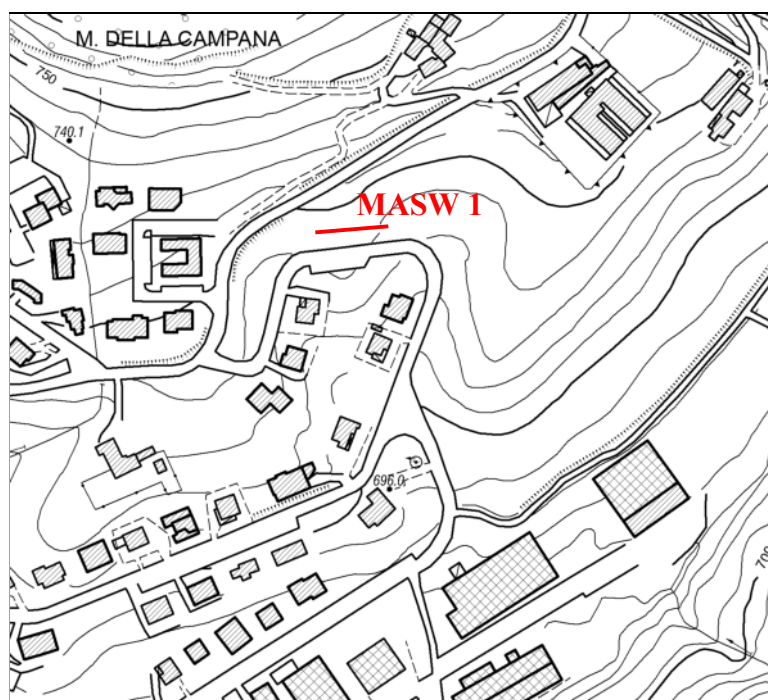
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.



DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo) - cell. 339 4679008 – e mail sb.marco@libero.it
PIVA 02496130366 – CF SNTMRC72M09G393s – PEC santibortolotti@epap.sicurezzapostale.it – Cod (SDI) XL13LG4

MASW - UBICAZIONE

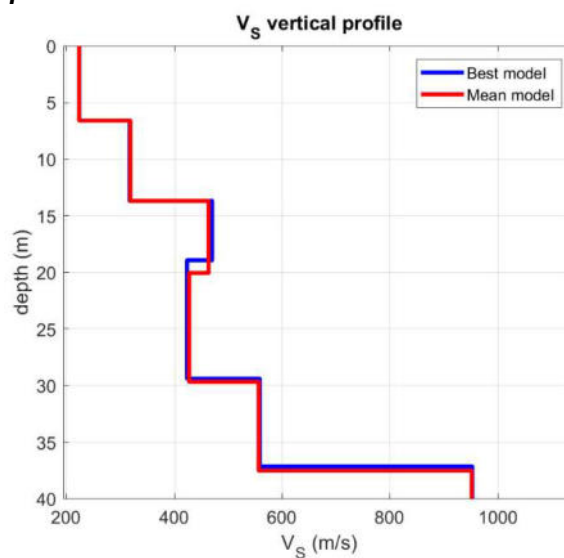
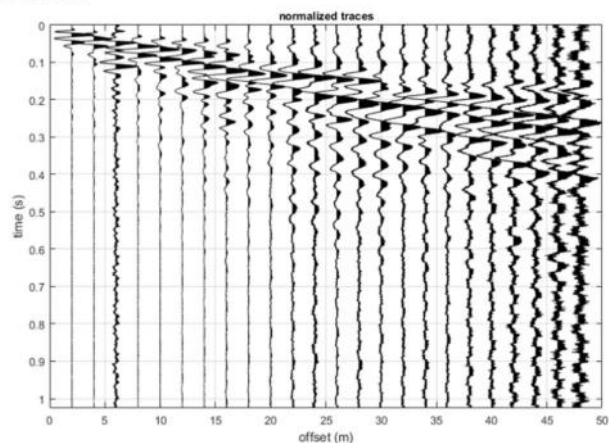


Tratta da Elemento Ctr n° 236074 a scala 1:5.000



SnapShot e modelli del profilo di velocità

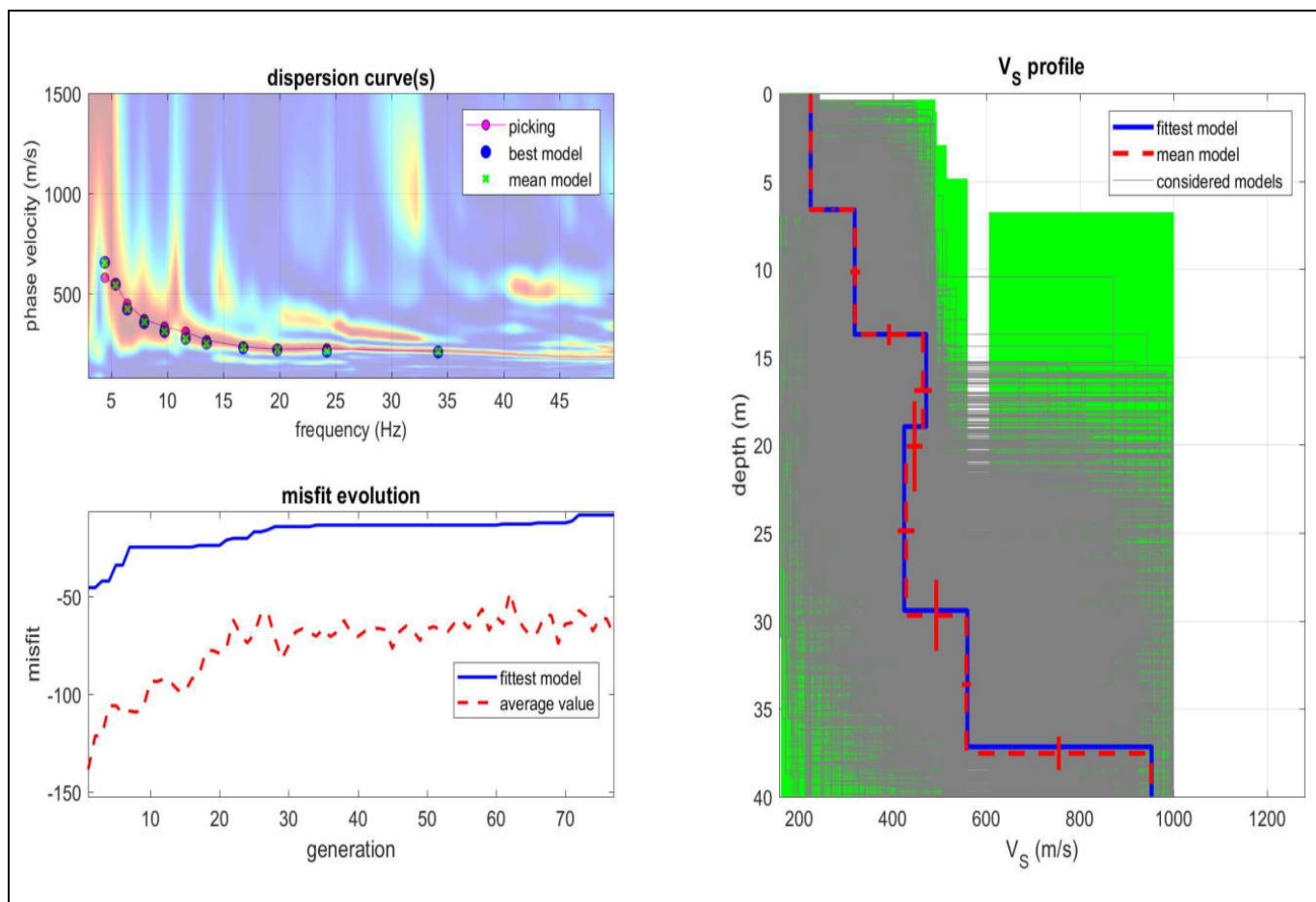
dataset: ans29-1-2m-Z0F1.DAT
sampling: 0.125 ms
minimum offset: 2 m
geophone spacing: 2 m



DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo) - cell. 339 4679008 – e mail sb.marco@libero.it
PIVA 02496130366 – CF SNTMRC72M09G393S – PEC santibortolotti@epap.sicurezzapostale.it – Cod (SDI) XL13LG4

MASW 1



MASW 1

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	6.6	6.6	224
6.6	13.7	7.1	318
13.7	18.9	5.2	471
18.9	29.4	10.5	424
29.4	37.2	7.8	559
37.2			953

CATEGORIA DI SUOLO: C (NTC18)

Terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalentemente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

$$VsEq = Vs30 = 338 \text{ m/s}$$

DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo) - cell. 339 4679008 – e mail sb.marco@libero.it
PIVA 02496130366 – CF SNTMRC72M09G393S – PEC santibortolotti@epap.sicurezzapostale.it – Cod (SDI) XL13LG4

PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
MASW 2

Committente:

Località: Ambito ANS 2.9 - Pavullo n/F. (Mo)

Data prova 04/06/2021

Attrezzatura utilizzata

- Sismografo PASI SG 24 16S-U a 24 canali
- n° 24 geofoni verticali Pasi da 4.5 Hz con clip singola
- geofono starter
- n° 1 cavo schermato su rullo, 100 m, trasmissione geofono starter-Sismografo
- n° 2 cavi sismici su rullo, 75 m, 12 tracce, intervallo 5 m, connettori e attacchi singoli
- mazza di battuta kg 8
- piattello di battuta in alluminio (20x20x5 cm)
- pc portatile
- Software Winmasw Pro 7.3

Finalità d'indagine

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche NTC 2018

Queste acquisizioni, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione del sottosuolo è stata svolta sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

h_i = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

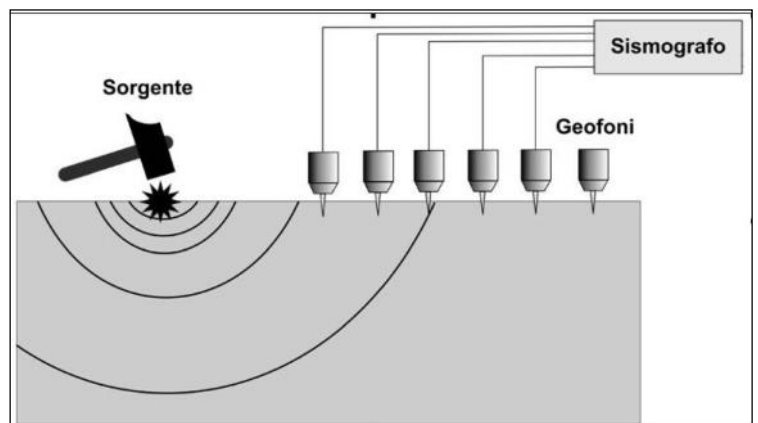
N = numero strati considerati

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s

Metodologia ed elaborazione d'indagine

Lunghezza stendimento: 46 m
N° geofoni: 24
Spaziatura geofoni: 2 m
Offset energizzazione: 2-5 m

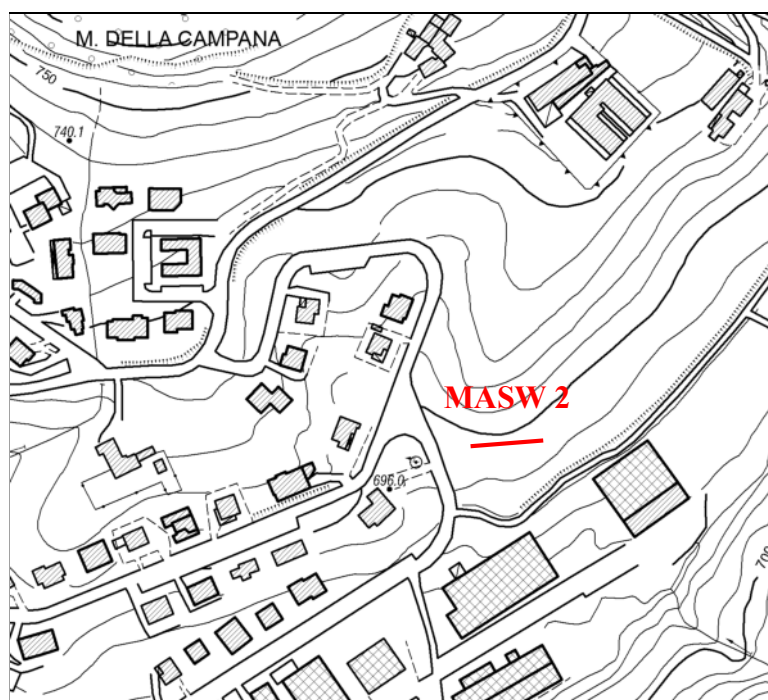
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.



DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo) - cell. 339 4679008 – e mail sb.marco@libero.it
PIVA 02496130366 – CF SNTMRC72M09G393s – PEC santibortolotti@epap.sicurezzapostale.it – Cod (SDI) XL13LG4

MASW - UBICAZIONE

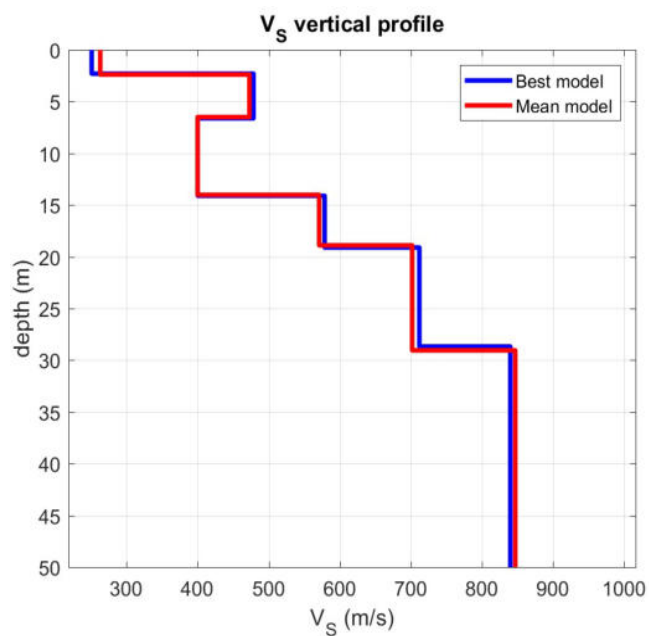
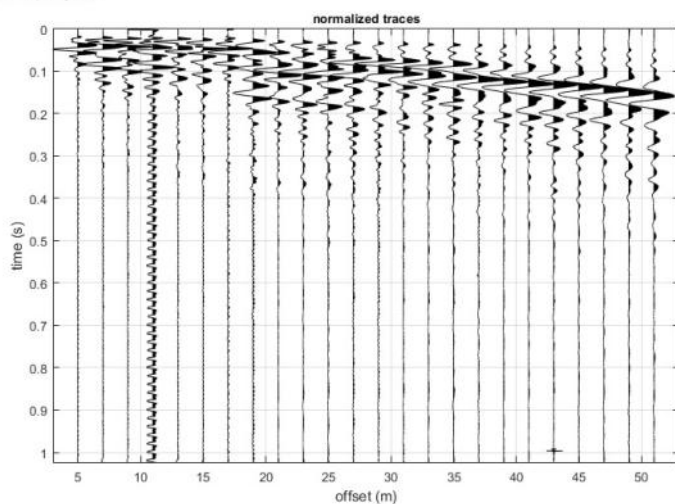


Tratta da Elemento Ctr n° 236074 a scala 1:5.000



SnapShot e modelli del profilo di velocità

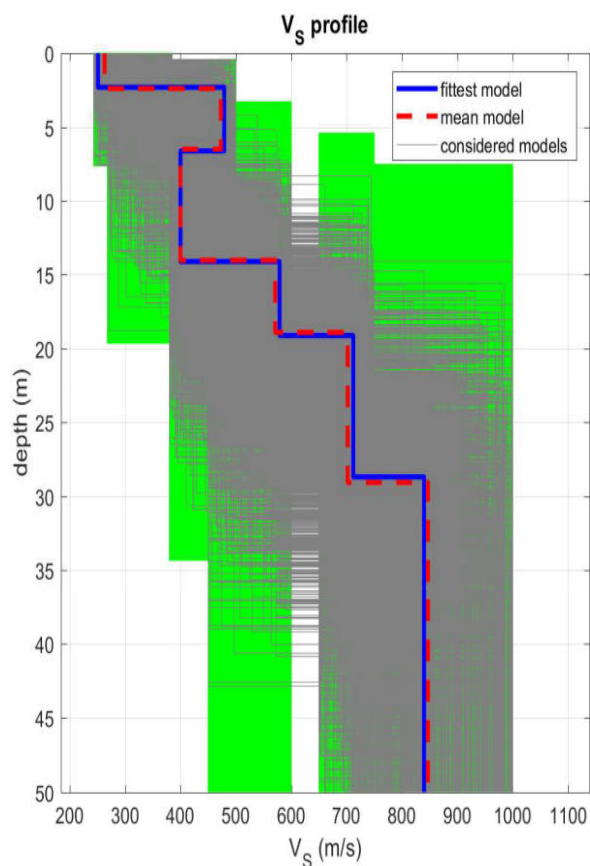
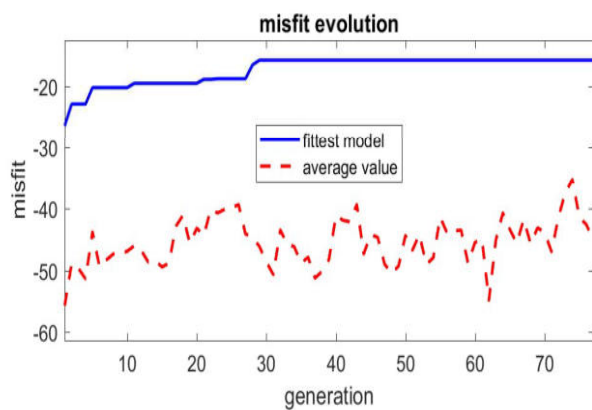
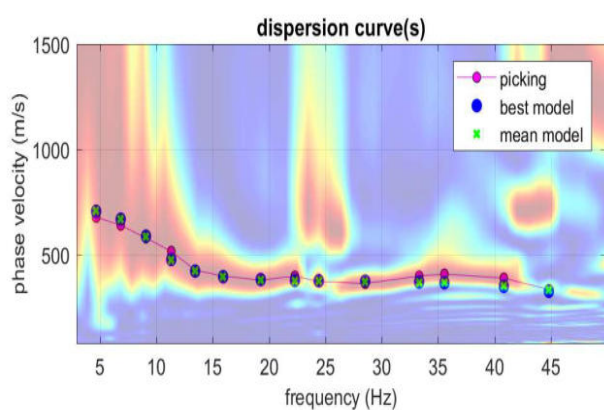
dataset: ans29-5m-a#1.DAT
sampling: 0.125 ms
minimum offset: 5 m
geophone spacing: 2 m



DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo) - cell. 339 4679008 – e mail sb.marco@libero.it
PIVA 02496130366 – CF SNTMRC72M09G393S – PEC santibortolotti@epap.sicurezza postale.it – Cod (SDI) XL13LG4

MASW – 2



MASW-2

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	2.3	2.3	251
2.3	6.6	4.3	479
6.6	14.1	7.5	400
14.1	19.1	5.0	579
19.1	28.7	9.6	712
28.7			840

CATEGORIA DI SUOLO: B (NTC18)

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalentemente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

V_{sH} = 486 m/s (H=28.7 m)

ALLEGATO - 3 -

INDAGINE GEOFISICA - HVSR

INDAGINE SISMICA – HVSR N° 1

Ambito ANS 2.9, Loc. Monte della Campana

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 04/06/21 06:23:30 End recording: 04/06/21 06:43:30

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 73% trace (manual window selection)

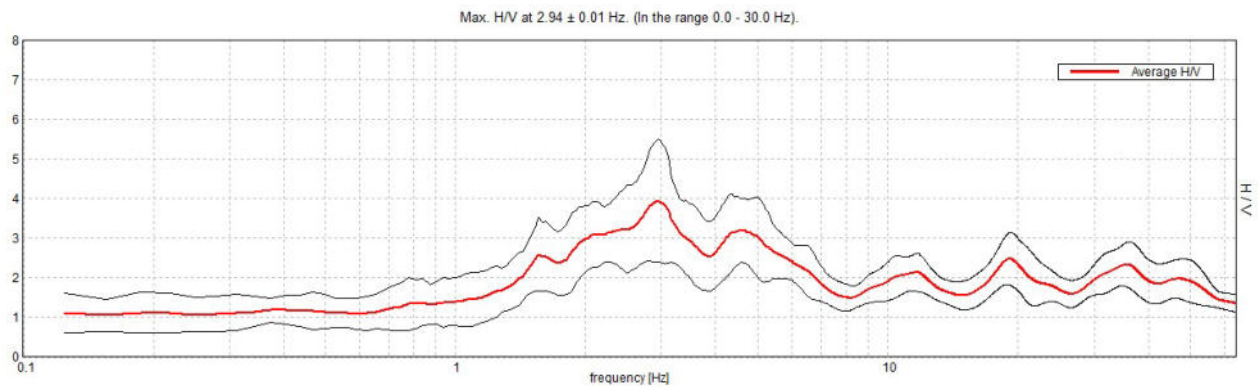
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

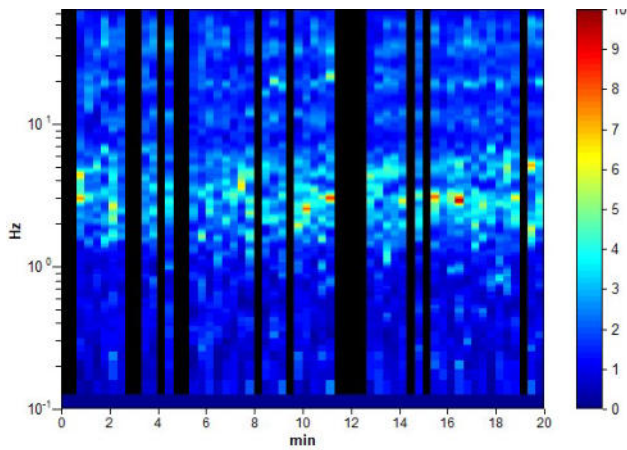
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

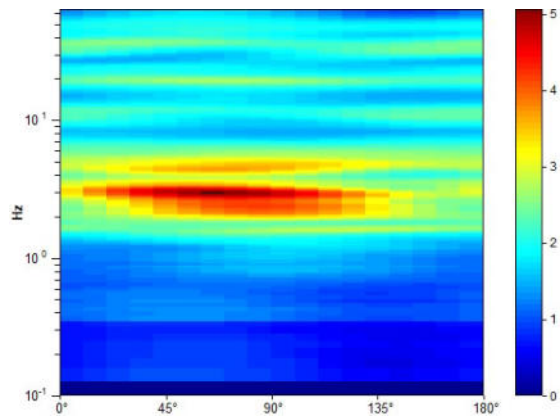
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



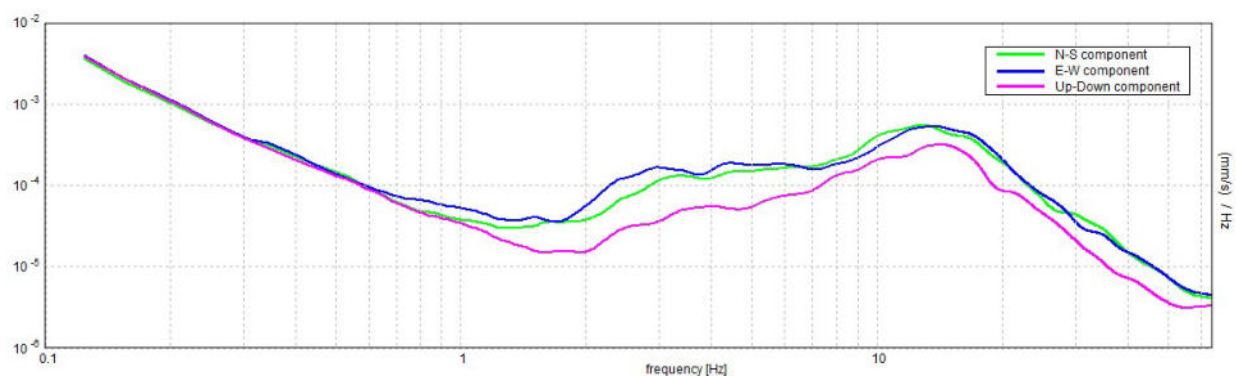
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 2.94 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2585.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 142 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.375 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.94 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00227 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00666 < 0.14688$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7604 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

INDAGINE SISMICA – HVSR N° 2 Ambito ANS 2.9, Loc. Monte della Campana

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 04/06/21 07:05:48 End recording: 04/06/21 07:25:48

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 78% trace (manual window selection)

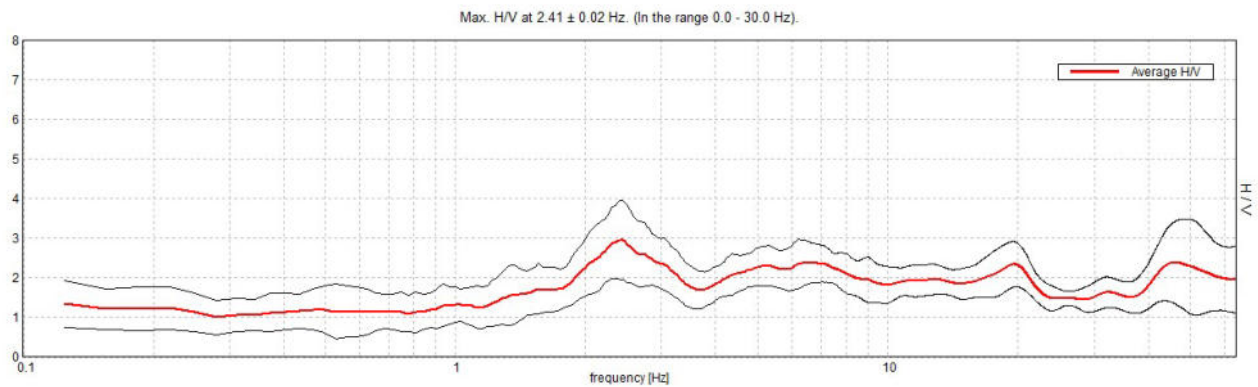
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

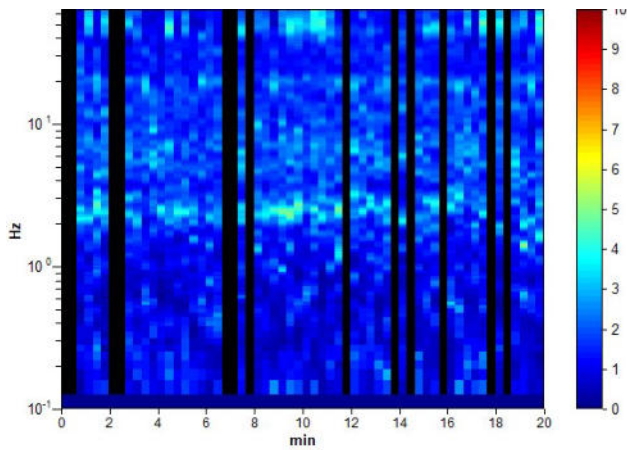
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

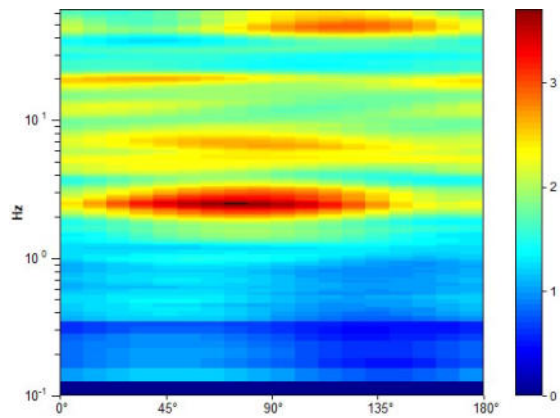
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



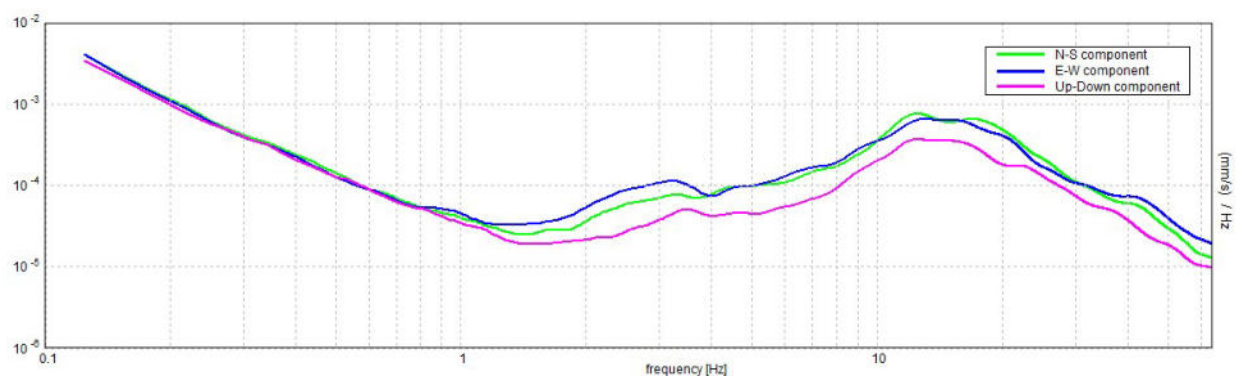
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 2.41 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.41 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2261.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 116 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.281 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.95 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00433 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01041 < 0.12031$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4861 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

INDAGINE SISMICA – HVSR N° 3 Ambito ANS 2.9, Loc. Monte della Campana

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 04/06/21 11:09:28 End recording: 04/06/21 11:29:28

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 78% trace (manual window selection)

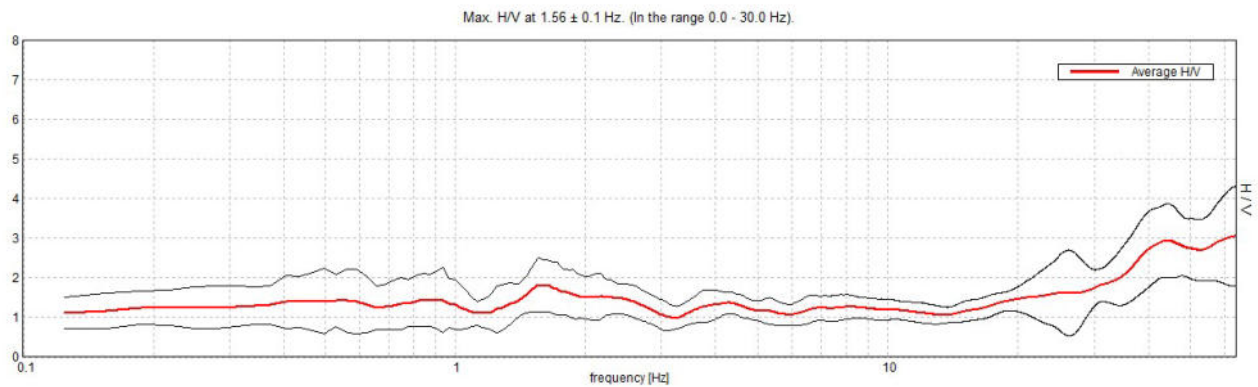
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

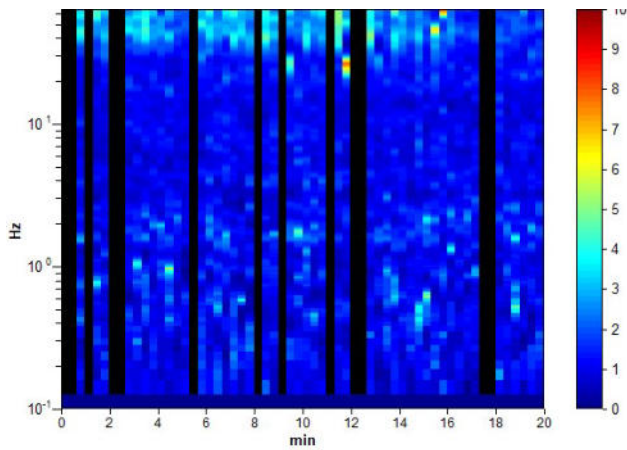
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

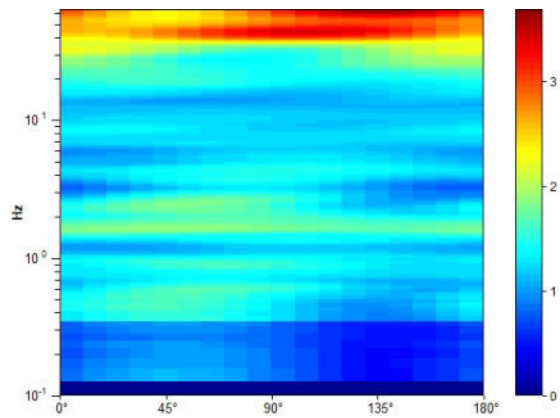
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



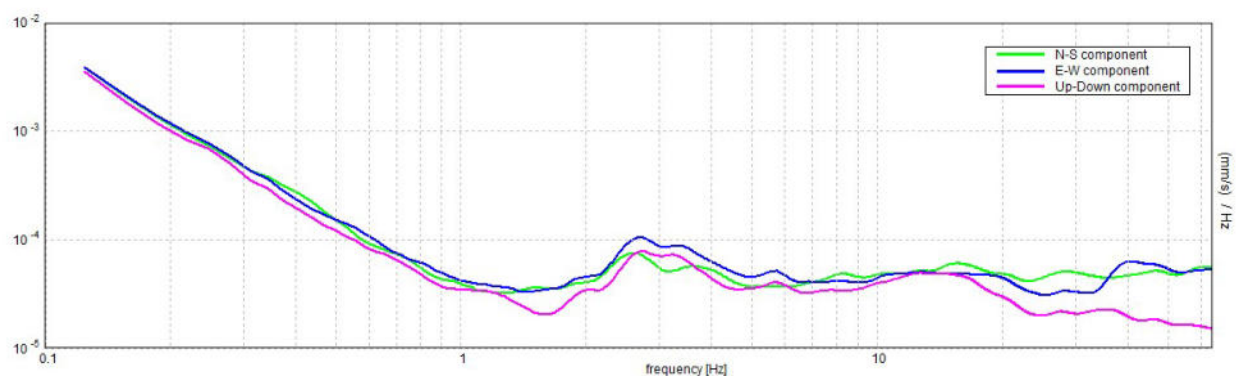
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 1.56 ± 0.1 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.56 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1468.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 76 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.83 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03131 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.04892 < 0.15625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3329 < 1.78$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

ALLEGATO - 4 -
VERIFICHE DI STABILITA'

Relazione di calcolo

Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

1. .

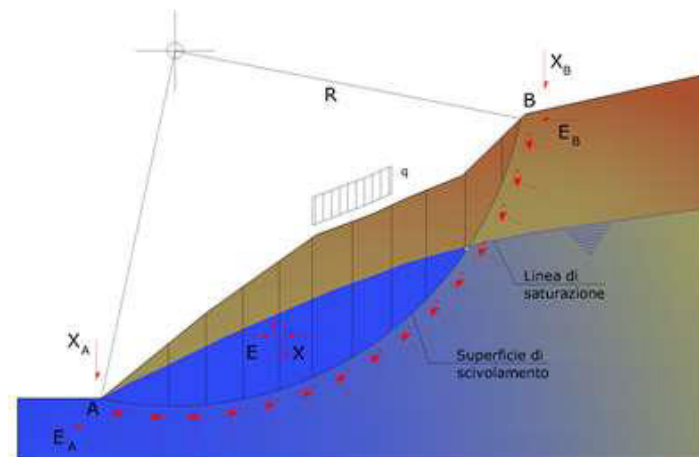
Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i ;
- $(n-1)$ forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$ forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i ;
- $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n ;
- equazioni relative al criterio di rottura n .

Totale numero di equazioni $4n$.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

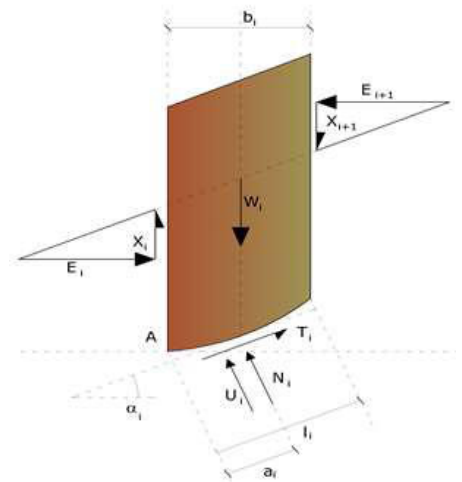
.

Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$



I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

$$F_{sm} = F_{sf}$$

• .

Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

CONDIZIONI DINAMICHE - STATO DI FATTO

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.33015/10.847213
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	-6.46 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	14.24 m
Ascissa vertice destro superiore xs	96.51 m
Ordinata vertice destro superiore ys	103.73 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	15.0
Numero di celle lungo y	15.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.55	2.5	0.25
S.L.D.	50.0	0.69	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.56	2.52	0.29
S.L.C.	975.0	1.96	2.53	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.825	0.2	0.0168	0.0084
S.L.D.	1.035	0.2	0.0211	0.0106
S.L.V.	2.2768	0.24	0.0557	0.0279
S.L.C.	2.7373	0.24	0.067	0.0335

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.056
Coefficiente azione sismica verticale	0.028

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)	
1		0.0	-20.0
2		0.0	0.0
3	30.0		5.0
4	60.0		10.0
5	95.0		13.0
6	101.0		13.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)	
1		0.0	-74.01
2		0.0	-54.01
3	30.0		-49.01
4	60.0		-44.01
5	95.0		-41.01
6	101.0		-41.01

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)	
1		0.0	-14.0
2		0.0	-6.0
3	30.0		-1.0
4	60.0		4.0
5	95.0		7.0
6	101.0		7.0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.07	0	23	1800	2000	Terreni di copertura
2	0.10		27	2000	2200	Substrato marnoso

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
--------	-------------	------------	-----------	-----	-----------

1	0	0	0	1	0
2					

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	0.73
Ascissa centro superficie	-6.46 m
Ordinata centro superficie	14.24 m
Raggio superficie	31.48 m

xc = 31.296 yc = 64.95 Rc = 64.593 Fs=2.071

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	5.12	-12.4	5.24	9624.31	538.96	269.48	0.07	23.0	0.010575.5		3282.8
2	5.12	-7.8	5.17	25885.56	1449.59	724.8	0.07	23.0	0.026953.4		6059.3
3	4.88	-3.3	4.89	36248.59	2029.92	1014.96	0.07	23.0	0.036753.1		7653.9
4	5.36	1.2	5.36	48984.95	2743.16	1371.58	0.07	23.0	0.048785.0		9843.3
5	5.12	5.9	5.15	51821.46	2902.0	1451.0	0.07	23.0	0.051047.3		10168.9
6	5.12	10.5	5.21	52901.69	2962.5	1481.25	0.07	23.0	0.051888.4		10329.4
7	5.12	15.1	5.35	50041.63	2802.33	1401.17	0.07	23.0	0.049165.1		9891.7
8	5.12	19.9	5.45	43014.88	2408.83	1204.42	0.07	23.0	0.042561.5		8803.6
9	4.16	24.4	4.57	26621.38	1490.8	745.4	0.07	23.0	0.026584.4		5827.1
10	6.08	29.5	6.98	17140.53	959.87	479.93	0.07	23.0	0.016942.1		4860.9

CONDIZIONI DINAMICHE - STATO DI PROGETTO

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.33015/10.847213
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	31.14 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	8.02 m
Ascissa vertice destro superiore xs	96.14 m
Ordinata vertice destro superiore ys	42.01 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.55	2.5	0.25
S.L.D.	50.0	0.69	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.56	2.52	0.29
S.L.C.	975.0	1.96	2.53	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.825	0.2	0.0168	0.0084
S.L.D.	1.035	0.2	0.0211	0.0106
S.L.V.	2.2768	0.24	0.0557	0.0279
S.L.C.	2.7373	0.24	0.067	0.0335

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.056
Coefficiente azione sismica verticale	0.028

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)	
1		0.0	-20.0
2		0.0	0.0
3		30.0	5.0
4		40.0	6.0
5		50.0	6.0
6		60.0	10.0
7		70.0	11.0
8		80.0	11.0
9		95.0	13.0
10		101.0	13.0

Falda

Nr.	X (m)	y (m)	
1		0.0	-24.01
2		0.0	-4.01
3		30.0	0.99
4		60.0	5.99
5		95.0	8.99
6		101.0	8.99

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)	
1		0.0	-14.0
2		0.0	-6.0
3		30.0	-1.0
4		60.0	4.0
5		95.0	7.0
6		101.0	7.0

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.07	0	23	1800	2000	Terreni di copertura
2	0.10		27	2000	2200	Substrato marnoso



G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2					

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm²)
1	40	5	50	5	1
2	70	10	80	10	1

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.23
Ascissa centro superficie	58.76 m
Ordinata centro superficie	30.11 m
Raggio superficie	25.65 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

xc = 58.765 yc = 30.112 Rc = 25.65 Fs=1.233

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	2.59	-16.9	2.7	4414.9	247.23	123.62	0.07	23.0	0.0	5484.2	2853.2
2	2.59	-11.0	2.63	12241.13	685.5	342.75	0.07	23.0	112.1	13339.1	5074.6
3	2.59	-5.1	2.61	9168.99	1073.46	536.73	0.07	23.0	2167.0	17635.0	6289.6
4	2.23	0.3	2.23	21059.94	1179.36	589.68	0.07	23.0	3004.0	18027.2	6229.9
5	2.94	6.1	2.96	30207.51	1691.62	845.81	0.07	23.0	4426.6	25014.7	8577.5
6	2.59	12.3	2.65	25674.89	1437.79	718.9	0.07	23.0	3355.9	21240.0	7348.0
7	2.59	18.3	2.72	23334.86	1306.75	653.38	0.07	23.0	2111.2	20027.0	7036.5
8	1.89	23.7	2.06	14626.54	819.09	409.54	0.07	23.0	281.8	13532.5	4858.9
9	3.28	30.2	3.85	1000.82	2856.05	1428.02	0.07	23.0	0.0	49672.9	16053.7
10	2.59	38.2	3.29	29904.03	1674.63	837.31	0.07	23.0	0.0	30034.7	10175.5

ALLEGATO - 5 -

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

INTRODUZIONE

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l' N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato

si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho \omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa delle variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

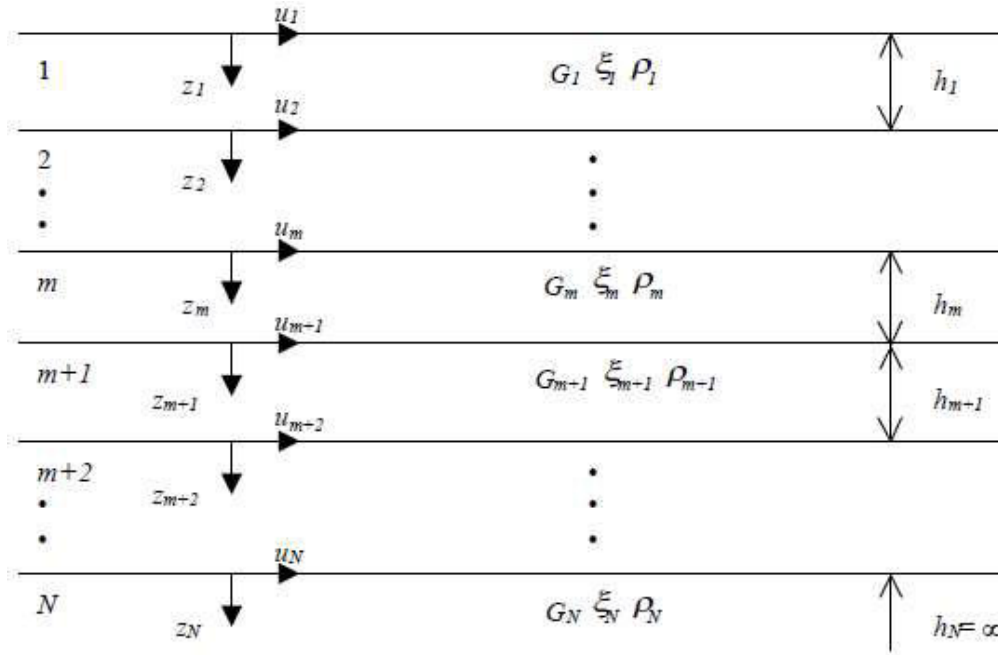


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* [Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell' m -esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}{k_m^* G_m^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

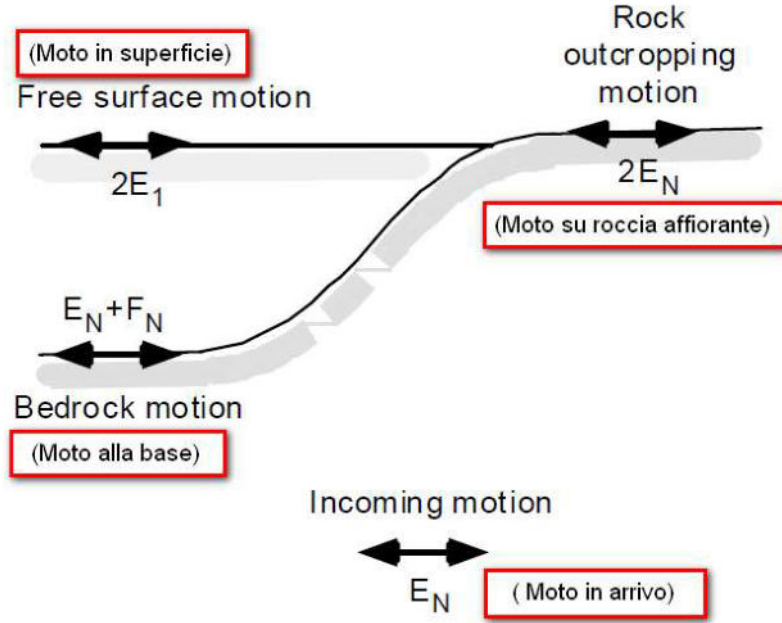


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

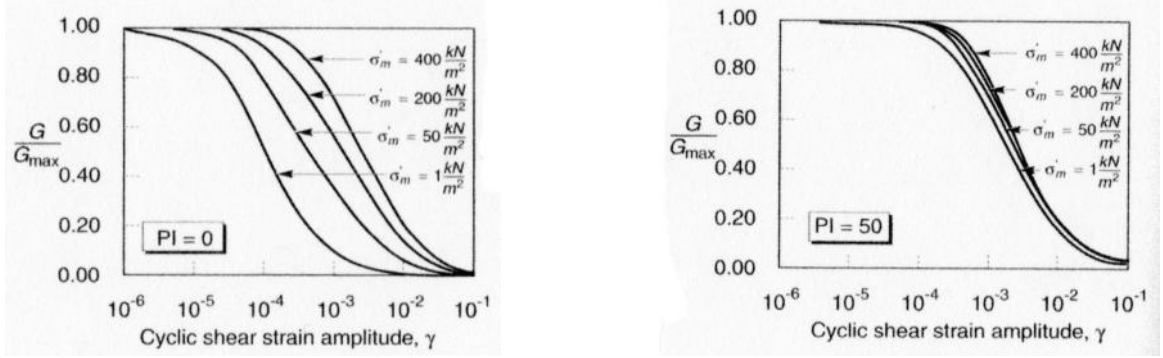


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{2.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

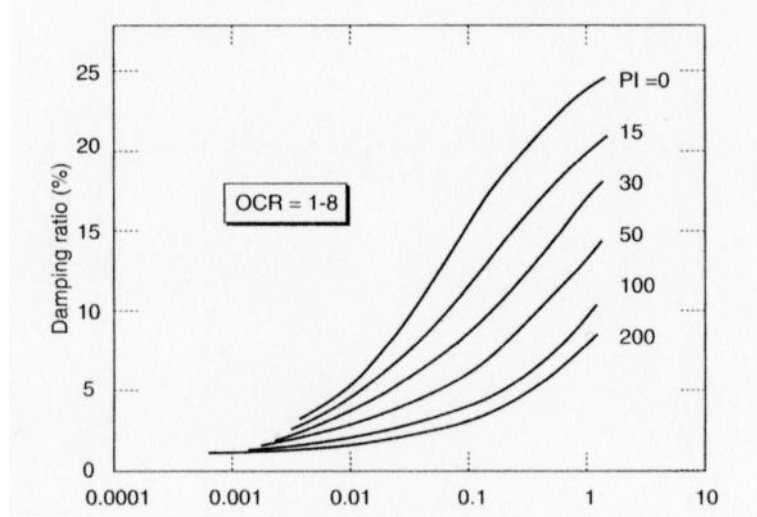


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

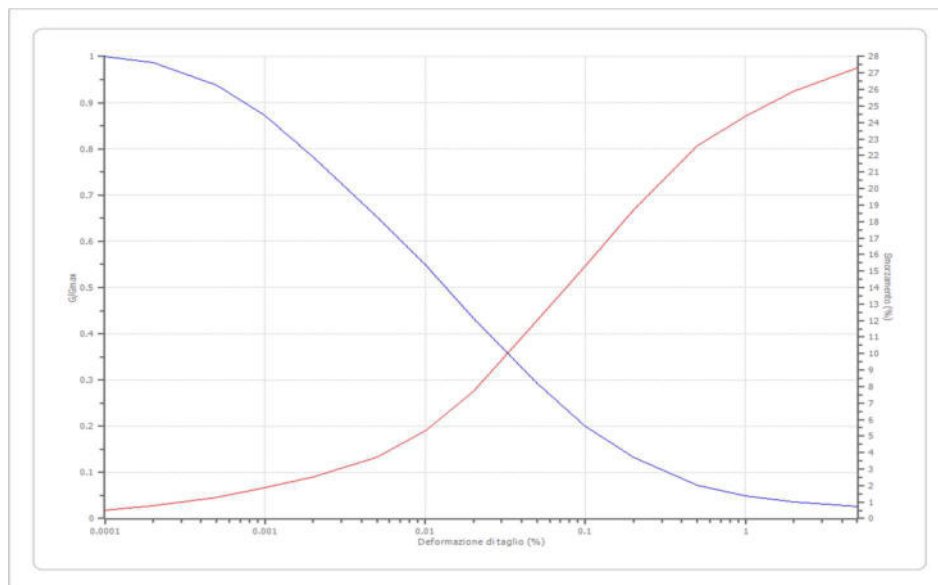
MASW 1 - Dati generali

Descrizione	RSL
Cantiere	Ambito ANS2.9 - Pavullo
Data della prova	20/12/2021
Via	Loc. Monte della Campana
Latitudine	44.33015[°]
Longitudine	10.8472128[°]

Terreni

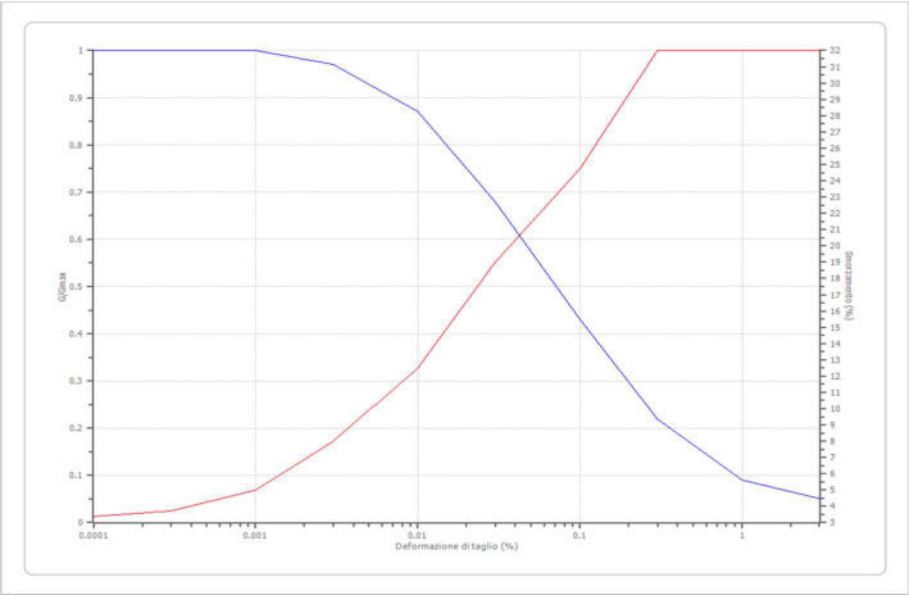
Seed et al. (1986) Gravel

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.0002	0.987	0.0002	0.800
0.0005	0.937	0.0005	1.300
0.001	0.872	0.001	1.900
0.002	0.783	0.002	2.500
0.005	0.653	0.005	3.700
0.010	0.550	0.010	5.300
0.020	0.434	0.020	7.700
0.050	0.293	0.050	12.000
0.100	0.200	0.100	15.300
0.200	0.132	0.200	18.700
0.500	0.072	0.500	22.600
1.000	0.049	1.000	24.400
2.000	0.036	2.000	25.900
5.000	0.027	5.000	27.300



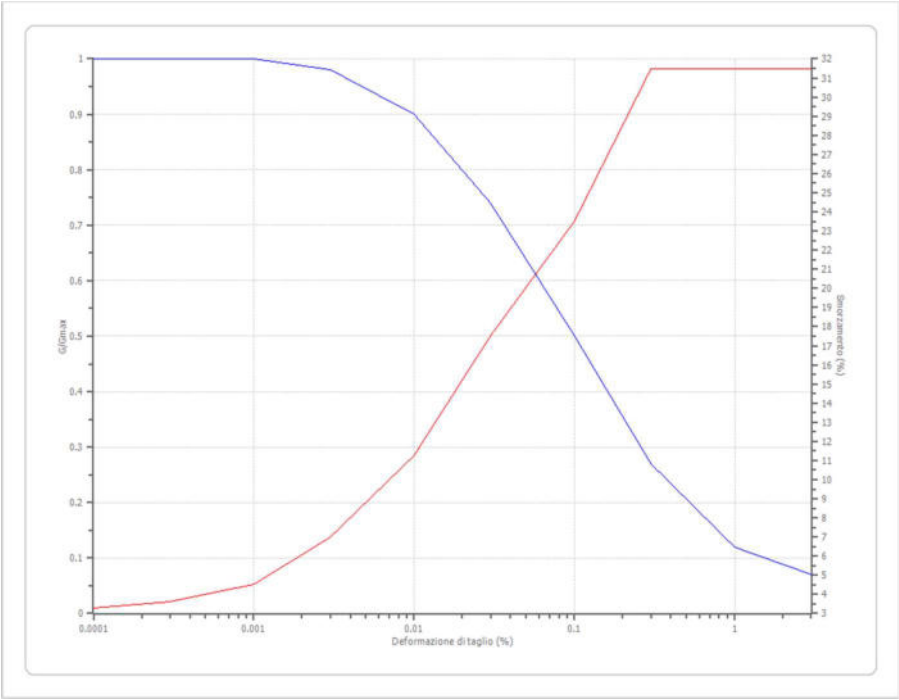
EPRI Rock (1993) 15,54-36,57 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	3.360
0.0003	1.000	0.0003	3.730
0.001	1.000	0.001	5.000
0.003	0.970	0.003	8.000
0.010	0.870	0.010	12.500
0.030	0.680	0.030	19.000
0.100	0.430	0.100	24.750
0.300	0.220	0.300	32.000
1.000	0.090	1.000	32.000
3.000	0.050	3.000	32.000



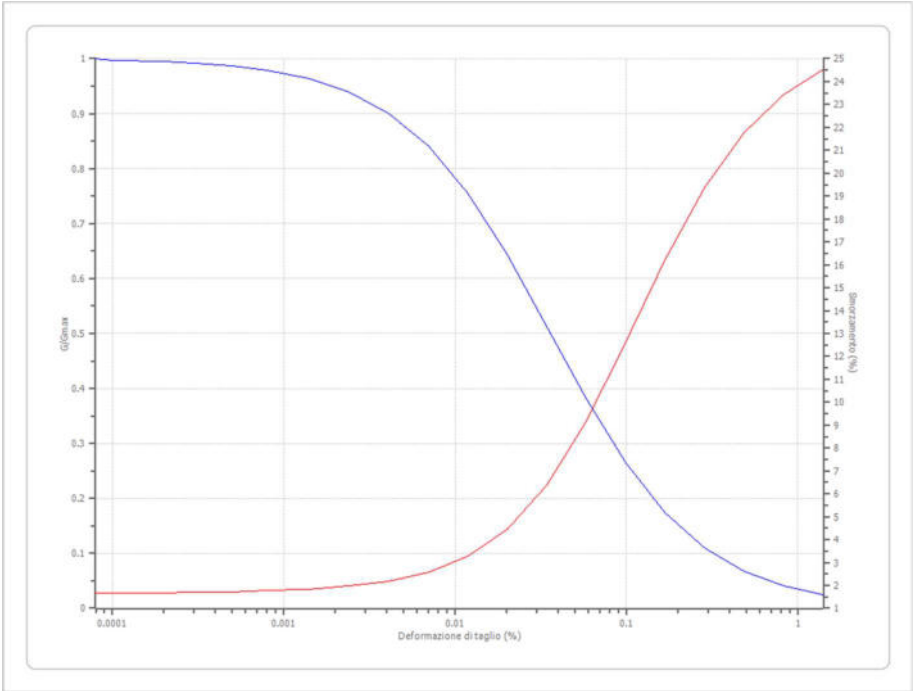
EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	3.290
0.0003	1.000	0.0003	3.595
0.001	1.000	0.001	4.500
0.003	0.980	0.003	7.000
0.010	0.900	0.010	11.250
0.030	0.740	0.030	17.500
0.100	0.500	0.100	23.500
0.300	0.270	0.300	31.500
1.000	0.120	1.000	31.500
3.000	0.070	3.000	31.500



Lombardia - Limi argillosi

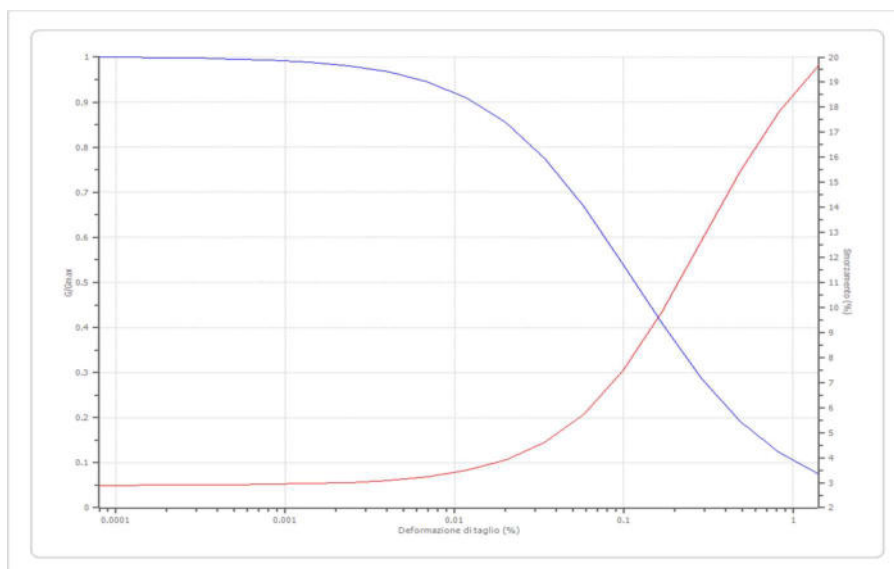
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.665475
0.0001	0.9974	0.0001	1.67745
0.0002	0.995575	0.0002	1.685925
0.0003	0.992475	0.0003	1.700375
0.0005	0.9872	0.0005	1.725175
0.0008	0.978325	0.0008	1.767775
0.0014	0.963575	0.0014	1.841375
0.0024	0.939225	0.0024	1.96895
0.0041	0.900325	0.0041	2.191675
0.007	0.8407	0.007	2.583075
0.0119	0.755075	0.0119	3.270475
0.0202	0.64305	0.0202	4.454025
0.0343	0.512875	0.0343	6.375775
0.0583	0.381	0.0583	9.167875
0.099	0.2647	0.099	12.63128
0.1684	0.173975	0.1684	16.22277
0.2862	0.109725	0.2862	19.36967
0.4866	0.0673	0.4866	21.77518
0.8272	0.040525	0.8272	23.44093
1.4063	0.024175	1.4063	24.52093



Lombardia - Argille limose

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326
0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552

0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	6.6	Lombardia - Argille limose	0	92.07	--	18.0	224.0	59.4
2		6.6	7.1	Lombardia - Limi argillosi	0	195.86	--	19.0	318.0	186.3
3		13.7	5.2	Seed et al. (1986) Gravel	0	452.28	--	20.0	471.0	305.7
4		18.9	10.5	EPRI Rock (1993) 15,54-36,57 metri	0	384.84	--	21.0	424.0	468.0
5		29.4	7.8	EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri	0	700.77	--	22.0	559.0	664.0
6		oo	--	Smorzamento costante	0	2036.76	--	22.0	953.0	749.8

Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante

Elaborazione

Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 4.43 E-05

Fattori di amplificazione ICMS 2018

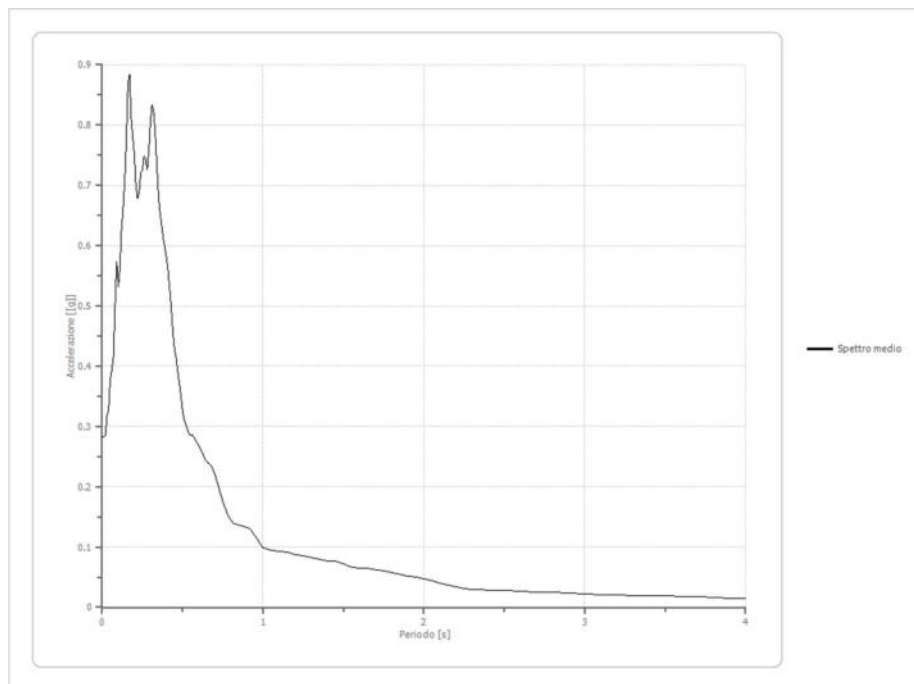
Tai 0.170 [s]
 Tvi 0.700 [s]
 Tao 0.170 [s]
 Tvo 0.320 [s]
 Sami 3.748 [m/s²]
 Svmi 0.170 [m/s]
 Samo 6.946 [m/s²]
 Svmo 0.360 [m/s]
Fa 1.853 [-]
Fv 2.123 [-]
 TB 0.109 [s]
 TC 0.326 [s]
 TD 2.556 [s]
 SA(0) 0.239 [g]
 SA(TB) 0.708 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
-----------------------	------------------------	---------------------------	----------------------------	-------------------------------------	----

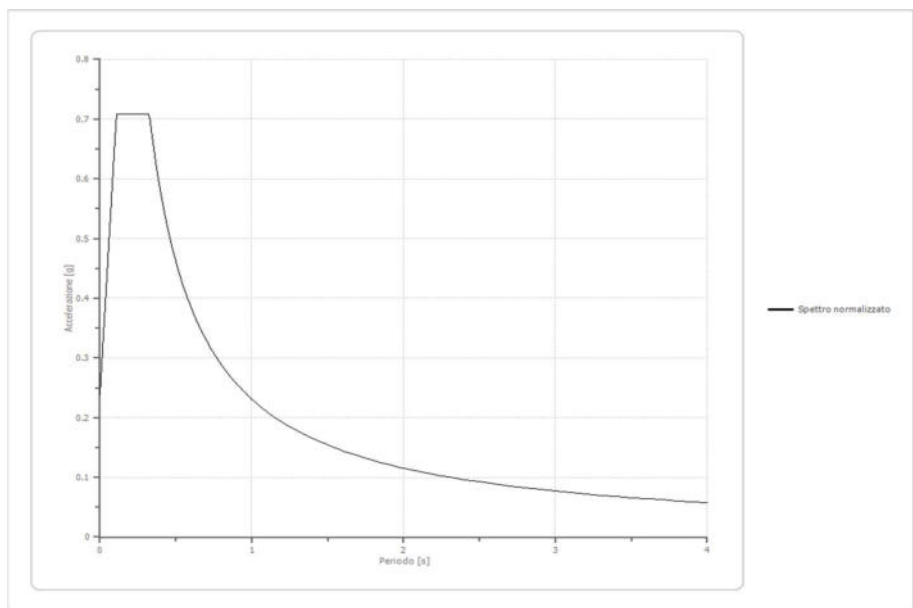
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazio ne [g]	Periodo [s]	Accelerazio ne [g]	Periodo [s]	Accelerazio ne [g]	Periodo [s]	Accelerazio ne [g]	Periodo [s]	Accelerazio ne [g]
0.00	0.2821	0.26	0.7482	0.52	0.3041	0.98	0.1060	2.25	0.0311
0.01	0.2821	0.27	0.7436	0.53	0.2957	1.00	0.0987	2.30	0.0300
0.02	0.2851	0.28	0.7259	0.54	0.2868	1.05	0.0936	2.35	0.0289
0.03	0.3186	0.29	0.7578	0.55	0.2862	1.10	0.0932	2.40	0.0285
0.04	0.3250	0.30	0.8057	0.56	0.2857	1.15	0.0908	2.50	0.0276
0.05	0.3782	0.31	0.8339	0.57	0.2826	1.20	0.0869	2.60	0.0267
0.06	0.3936	0.32	0.8216	0.58	0.2765	1.25	0.0857	2.70	0.0257
0.07	0.4165	0.33	0.7873	0.60	0.2680	1.30	0.0831	2.80	0.0247
0.08	0.4997	0.34	0.7324	0.62	0.2580	1.35	0.0789	2.90	0.0234
0.09	0.5730	0.35	0.6801	0.64	0.2444	1.40	0.0770	3.00	0.0225
0.10	0.5317	0.36	0.6537	0.66	0.2390	1.45	0.0759	3.10	0.0213
0.11	0.5592	0.37	0.6327	0.68	0.2348	1.50	0.0719	3.20	0.0202
0.12	0.6281	0.38	0.6119	0.70	0.2216	1.55	0.0668	3.30	0.0198
0.13	0.6618	0.39	0.5965	0.72	0.2030	1.60	0.0653	3.40	0.0193
0.14	0.7072	0.40	0.5785	0.74	0.1837	1.65	0.0643	3.50	0.0187
0.15	0.7728	0.41	0.5561	0.76	0.1675	1.70	0.0626	3.60	0.0179
0.16	0.8679	0.42	0.5253	0.78	0.1531	1.75	0.0601	3.70	0.0171
0.17	0.8839	0.43	0.4946	0.80	0.1438	1.80	0.0569	3.80	0.0162
0.18	0.8135	0.44	0.4557	0.82	0.1390	1.85	0.0540	3.90	0.0153
0.19	0.7806	0.45	0.4278	0.84	0.1368	1.90	0.0520	4.00	0.0145
0.20	0.7496	0.46	0.4142	0.86	0.1348	1.95	0.0497		
0.21	0.6987	0.47	0.3911	0.88	0.1346	2.00	0.0469		
0.22	0.6792	0.48	0.3712	0.90	0.1327	2.05	0.0438		
0.23	0.6886	0.49	0.3489	0.92	0.1293	2.10	0.0403		
0.24	0.7220	0.50	0.3259	0.94	0.1229	2.15	0.0368		
0.25	0.7243	0.51	0.3112	0.96	0.1148	2.20	0.0336		



Spettro normalizzato di risposta elastico

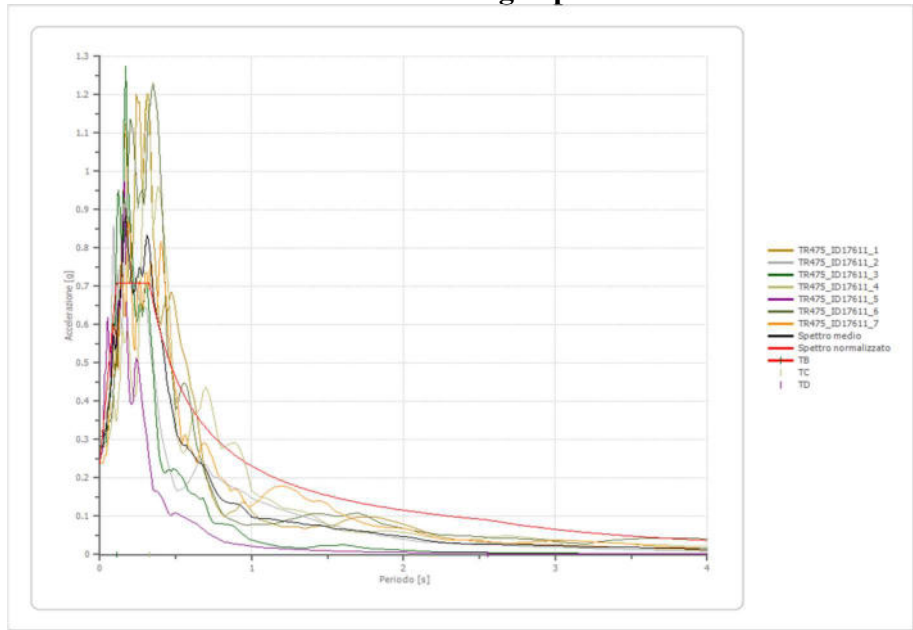
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2389	0.26	0.7080	0.52	0.4438	0.98	0.2355	2.25	0.1026
0.01	0.2821	0.27	0.7080	0.53	0.4354	1.00	0.2308	2.30	0.1003
0.02	0.3253	0.28	0.7080	0.54	0.4274	1.05	0.2198	2.35	0.0982
0.03	0.3684	0.29	0.7080	0.55	0.4196	1.10	0.2098	2.40	0.0962
0.04	0.4116	0.30	0.7080	0.56	0.4121	1.15	0.2007	2.50	0.0923
0.05	0.4548	0.31	0.7080	0.57	0.4049	1.20	0.1923	2.60	0.0888
0.06	0.4980	0.32	0.7080	0.58	0.3979	1.25	0.1846	2.70	0.0855
0.07	0.5411	0.33	0.6993	0.60	0.3846	1.30	0.1775	2.80	0.0824
0.08	0.5843	0.34	0.6788	0.62	0.3722	1.35	0.1710	2.90	0.0796
0.09	0.6275	0.35	0.6594	0.64	0.3606	1.40	0.1648	3.00	0.0769
0.10	0.6706	0.36	0.6411	0.66	0.3497	1.45	0.1592	3.10	0.0744
0.11	0.7080	0.37	0.6237	0.68	0.3394	1.50	0.1539	3.20	0.0721
0.12	0.7080	0.38	0.6073	0.70	0.3297	1.55	0.1489	3.30	0.0699
0.13	0.7080	0.39	0.5918	0.72	0.3205	1.60	0.1442	3.40	0.0679
0.14	0.7080	0.40	0.5770	0.74	0.3119	1.65	0.1399	3.50	0.0659
0.15	0.7080	0.41	0.5629	0.76	0.3037	1.70	0.1358	3.60	0.0641
0.16	0.7080	0.42	0.5495	0.78	0.2959	1.75	0.1319	3.70	0.0624
0.17	0.7080	0.43	0.5367	0.80	0.2885	1.80	0.1282	3.80	0.0607
0.18	0.7080	0.44	0.5245	0.82	0.2814	1.85	0.1247	3.90	0.0592
0.19	0.7080	0.45	0.5129	0.84	0.2747	1.90	0.1215	4.00	0.0577
0.20	0.7080	0.46	0.5017	0.86	0.2684	1.95	0.1184		
0.21	0.7080	0.47	0.4910	0.88	0.2623	2.00	0.1154		
0.22	0.7080	0.48	0.4808	0.90	0.2564	2.05	0.1126		
0.23	0.7080	0.49	0.4710	0.92	0.2509	2.10	0.1099		
0.24	0.7080	0.50	0.4616	0.94	0.2455	2.15	0.1073		
0.25	0.7080	0.51	0.4525	0.96	0.2404	2.20	0.1049		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.239	2.963511	--	0.109	0.326	2.556	0.239	0.708	1.503

Confronto tra gli spettri

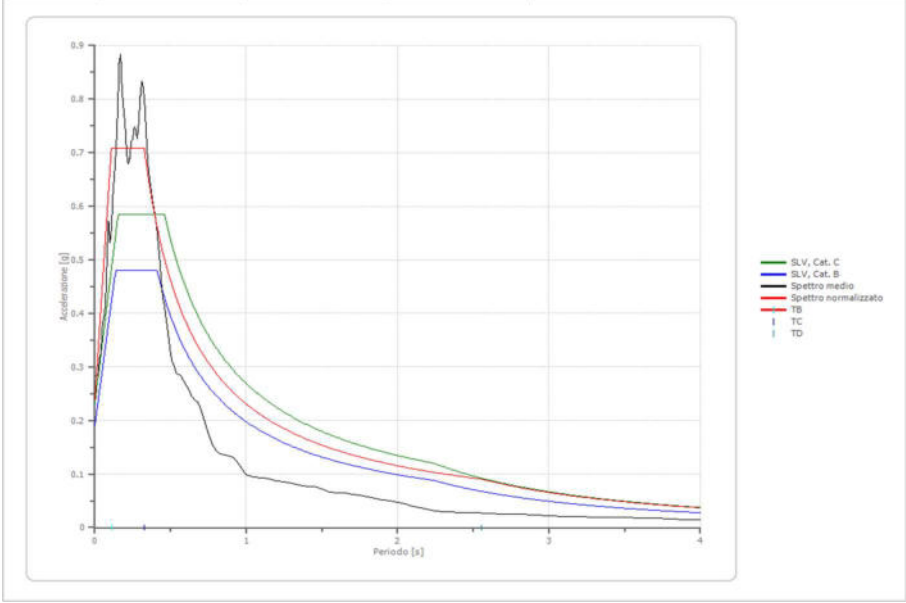


Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

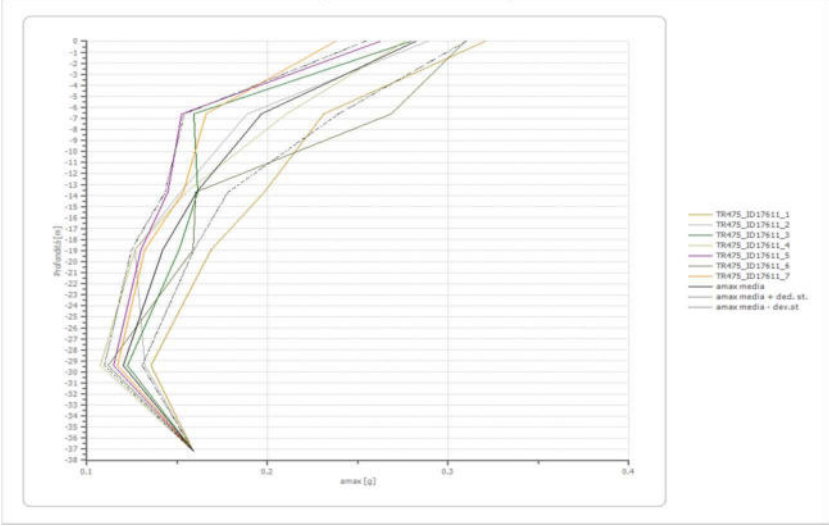
	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.056	0.070	0.159	0.200	0.056	0.070	0.159	0.200
Fo	2.499	2.491	2.52	2.529	2.499	2.491	2.52	2.529
Tc* [s]	0.252	0.265	0.292	0.302	0.252	0.265	0.292	0.302
Ss	1.50	1.50	1.46	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.65	1.63	1.58	1.56	1.45	1.43	1.41	1.40

TB [s]	0.139	0.144	0.153	0.157	0.122	0.127	0.137	0.141
TC [s]	0.417	0.431	0.460	0.471	0.365	0.380	0.411	0.422
TD [s]	1.824	1.880	2.236	2.400	1.824	1.880	2.236	2.400
Se(0) [g]	0.084	0.105	0.232	0.279	0.067	0.084	0.191	0.240
Se(TB) [g]	0.210	0.262	0.585	0.706	0.168	0.209	0.481	0.606



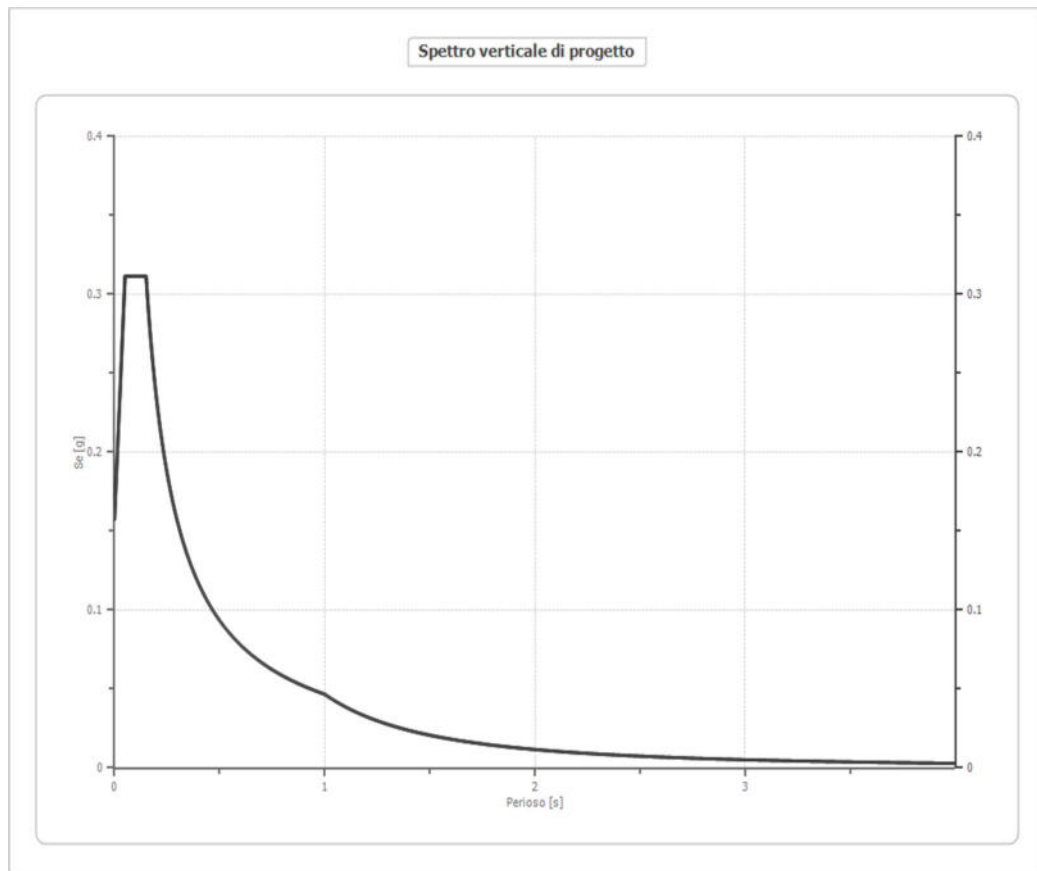
Profilo a max

	0.0 [m]	6.6 [m]	13.7 [m]	18.9 [m]	29.4 [m]	37.2 [m]
TR475_ID17611 1 [g]	0.321	0.231	0.198	0.169	0.135	0.159
TR475_ID17611 2 [g]	0.289	0.189	0.152	0.127	0.132	0.159
TR475_ID17611 3 [g]	0.279	0.159	0.161	0.151	0.122	0.159
TR475_ID17611 4 [g]	0.276	0.210	0.155	0.127	0.107	0.159
TR475_ID17611 5 [g]	0.262	0.152	0.145	0.130	0.115	0.159
TR475_ID17611 6 [g]	0.309	0.268	0.160	0.159	0.112	0.159
TR475_ID17611 7 [g]	0.238	0.166	0.153	0.132	0.117	0.159
media [g]	0.282	0.197	0.161	0.142	0.120	0.159
Dev. St. [g]	0.028	0.043	0.017	0.017	0.010	0.000



Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.239	2.964	0.150	1.955	1.5	0.050	0.150	1.000	0.158	0.311



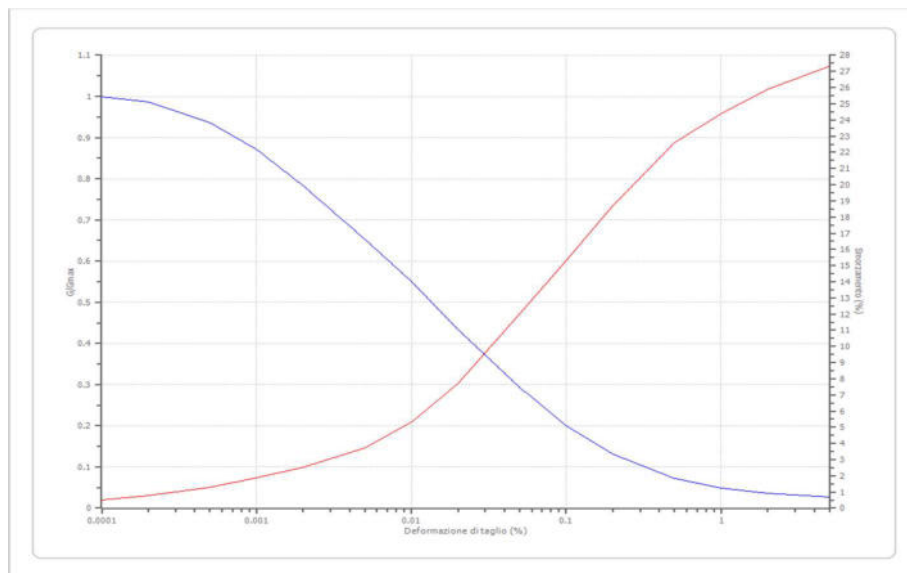
MASW 2 - Dati generali

Descrizione	RSL
Cantiere	Ambito ANS2.9 - Pavullo
Data della prova	20/12/2021
Via	Loc. Monte della Campana
Latitudine	44.33015[°]
Longitudine	10.8472128[°]

Terreni

Seed et al. (1986) Gravel

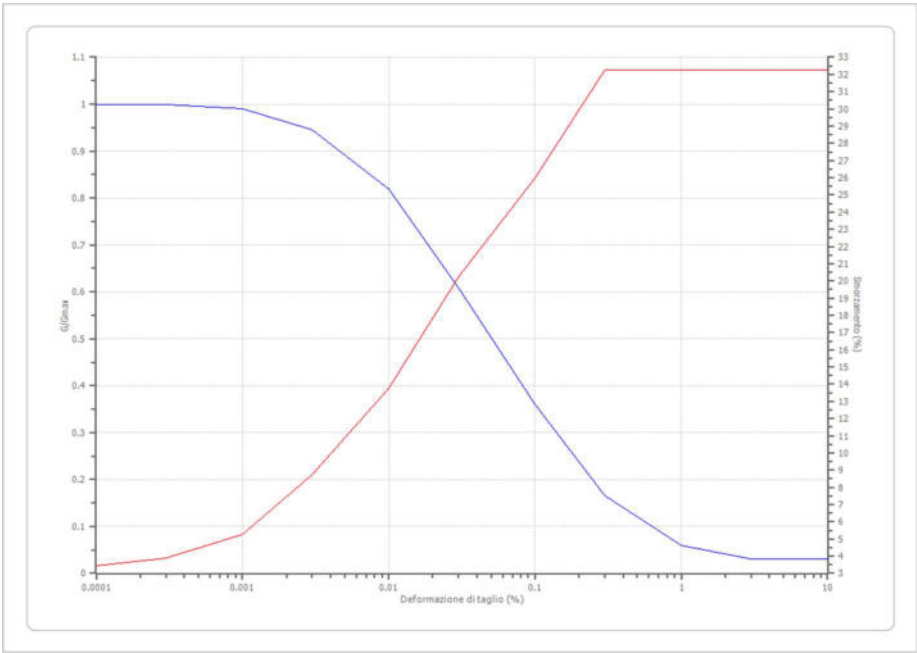
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.0002	0.987	0.0002	0.800
0.0005	0.937	0.0005	1.300
0.001	0.872	0.001	1.900
0.002	0.783	0.002	2.500
0.005	0.653	0.005	3.700
0.010	0.550	0.010	5.300
0.020	0.434	0.020	7.700
0.050	0.293	0.050	12.000
0.100	0.200	0.100	15.300
0.200	0.132	0.200	18.700
0.500	0.072	0.500	22.600
1.000	0.049	1.000	24.400
2.000	0.036	2.000	25.900
5.000	0.027	5.000	27.300



EPRI Rock (1993) 6,4-15,24 metri

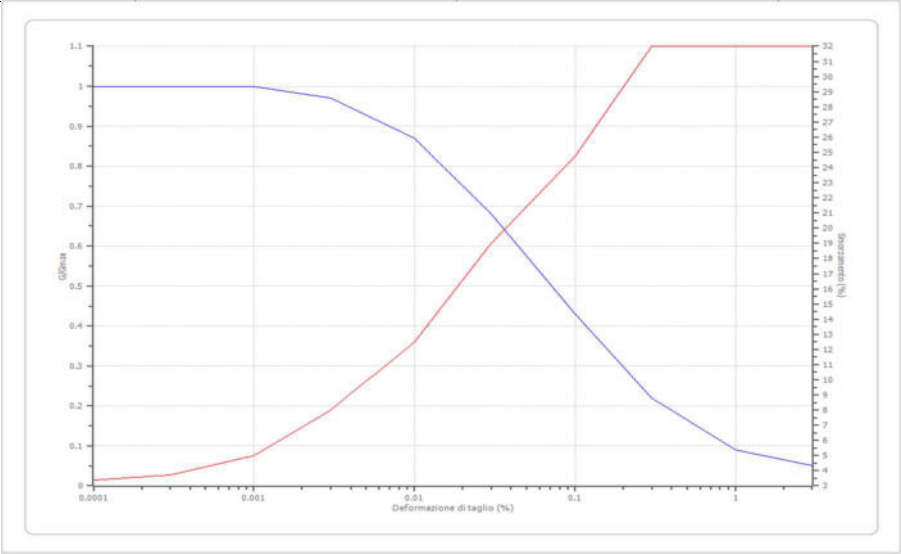
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	3.430
0.0003	1.000	0.0003	3.865
0.001	0.990	0.001	5.250
0.003	0.946	0.003	8.750
0.010	0.820	0.010	13.750
0.030	0.608	0.030	20.250
0.100	0.360	0.100	26.000
0.300	0.165	0.300	32.250
1.000	0.060	1.000	32.250

3.000	0.030	3.000	32.250
10.000	0.030	10.000	32.250



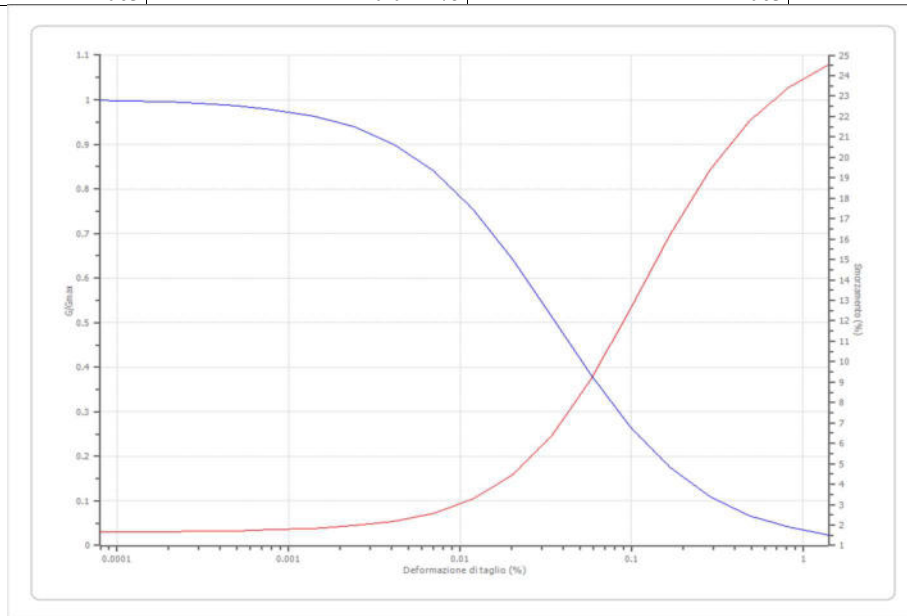
EPRI Rock (1993) 15,54-36,57 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	3.360
0.0003	1.000	0.0003	3.730
0.001	1.000	0.001	5.000
0.003	0.970	0.003	8.000
0.010	0.870	0.010	12.500
0.030	0.680	0.030	19.000
0.100	0.430	0.100	24.750
0.300	0.220	0.300	32.000
1.000	0.090	1.000	32.000
3.000	0.050	3.000	32.000



Lombardia - Limi argillosi

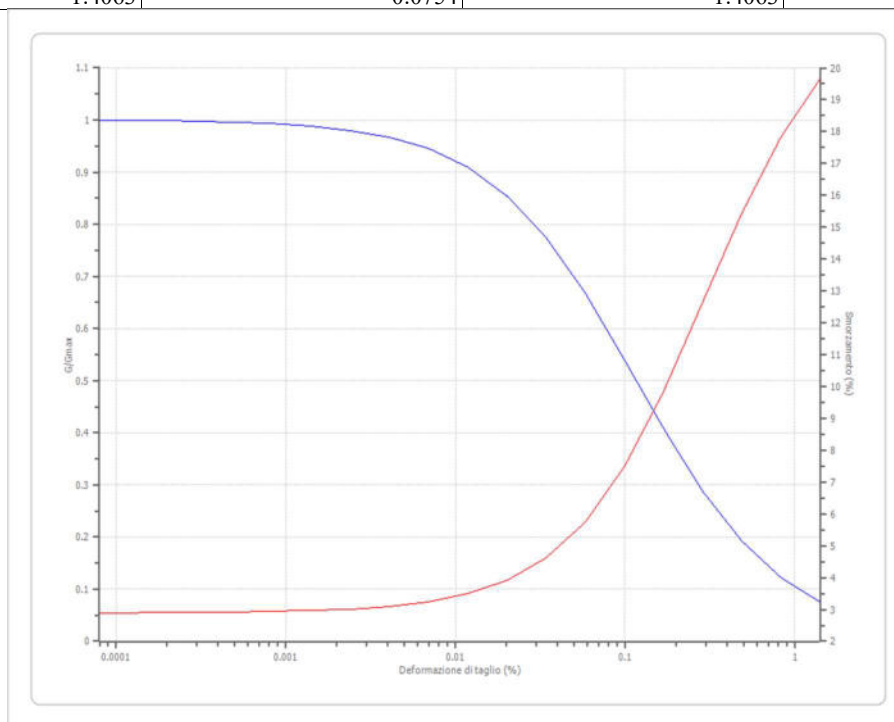
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.665475
0.0001	0.9974	0.0001	1.67745
0.0002	0.995575	0.0002	1.685925
0.0003	0.992475	0.0003	1.700375
0.0005	0.9872	0.0005	1.725175
0.0008	0.978325	0.0008	1.767775
0.0014	0.963575	0.0014	1.841375
0.0024	0.939225	0.0024	1.96895
0.0041	0.900325	0.0041	2.191675
0.007	0.8407	0.007	2.583075
0.0119	0.755075	0.0119	3.270475
0.0202	0.64305	0.0202	4.454025
0.0343	0.512875	0.0343	6.375775
0.0583	0.381	0.0583	9.167875
0.099	0.2647	0.099	12.63128
0.1684	0.173975	0.1684	16.22277
0.2862	0.109725	0.2862	19.36967
0.4866	0.0673	0.4866	21.77518
0.8272	0.040525	0.8272	23.44093
1.4063	0.024175	1.4063	24.52093



Lombardia - Argille limose

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	2.891
0.0001	0.9992	0.0001	2.8959
0.0002	0.9986	0.0002	2.8994
0.0003	0.9976	0.0003	2.9053
0.0005	0.9959	0.0005	2.9154
0.0008	0.9931	0.0008	2.9326
0.0014	0.9883	0.0014	2.962
0.0024	0.9802	0.0024	3.012
0.0041	0.9667	0.0041	3.0975
0.007	0.9445	0.007	3.2433
0.0119	0.9089	0.0119	3.4917
0.0202	0.854	0.0202	3.9125
0.0343	0.7742	0.0343	4.616
0.0583	0.6677	0.0583	5.7552
0.099	0.5408	0.099	7.4855
0.1684	0.4084	0.1684	9.848
0.2862	0.2881	0.2862	12.6362
0.4866	0.1918	0.4866	15.4287

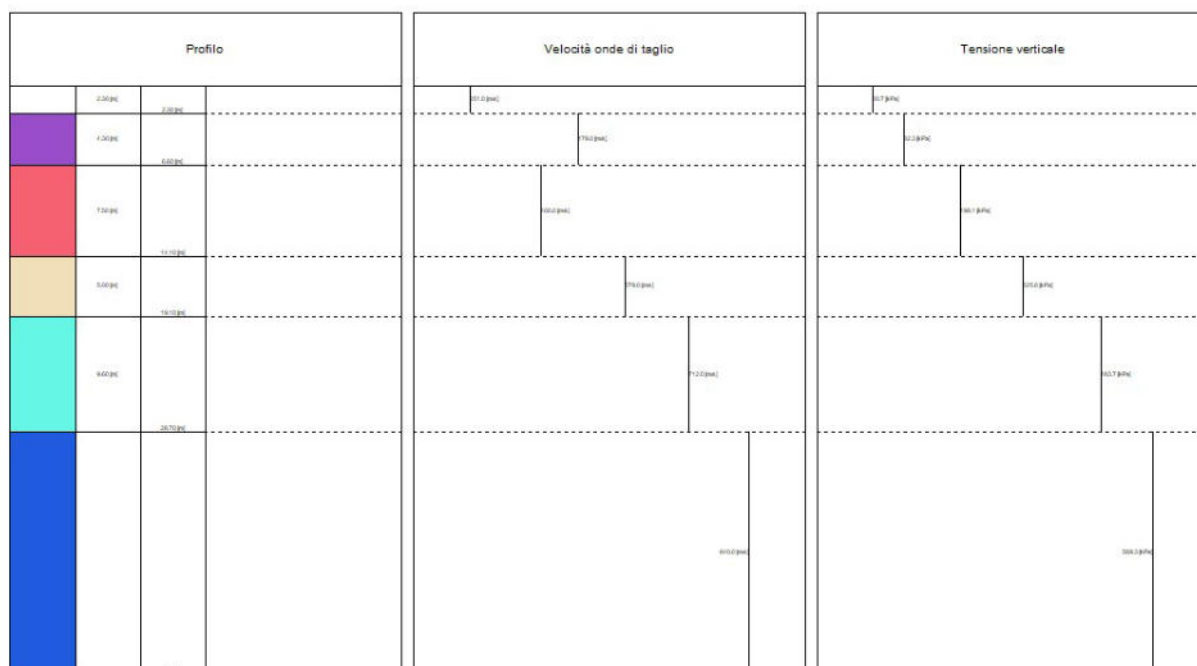
0.8272	0.1221	0.8272	17.8243
1.4063	0.0754	1.4063	19.6357



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	2.3	Lombardia - Argille limose	0	115.60	--	18.0	251.0	20.7
2		2.3	4.3	Lombardia - Limi argillosi	0	444.38	--	19.0	479.0	82.3
3		6.6	7.5	Seed et al. (1986) Gravel	0	326.20	--	20.0	400.0	198.1
4		14.1	5.0	EPRI Rock (1993) 6,4-15,24 metri	0	717.64	--	21.0	579.0	325.6
5		19.1	9.6	EPRI Rock (1993) 15,54-36,57 metri	0	1136.88	--	22.0	712.0	483.7
6		oo	--	Smorzamento costante	0	1582.39	--	22.0	840.0	589.3

Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante



Elaborazione

Numero di iterazioni 50
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza --

Fattori di amplificazione ICMS 2018

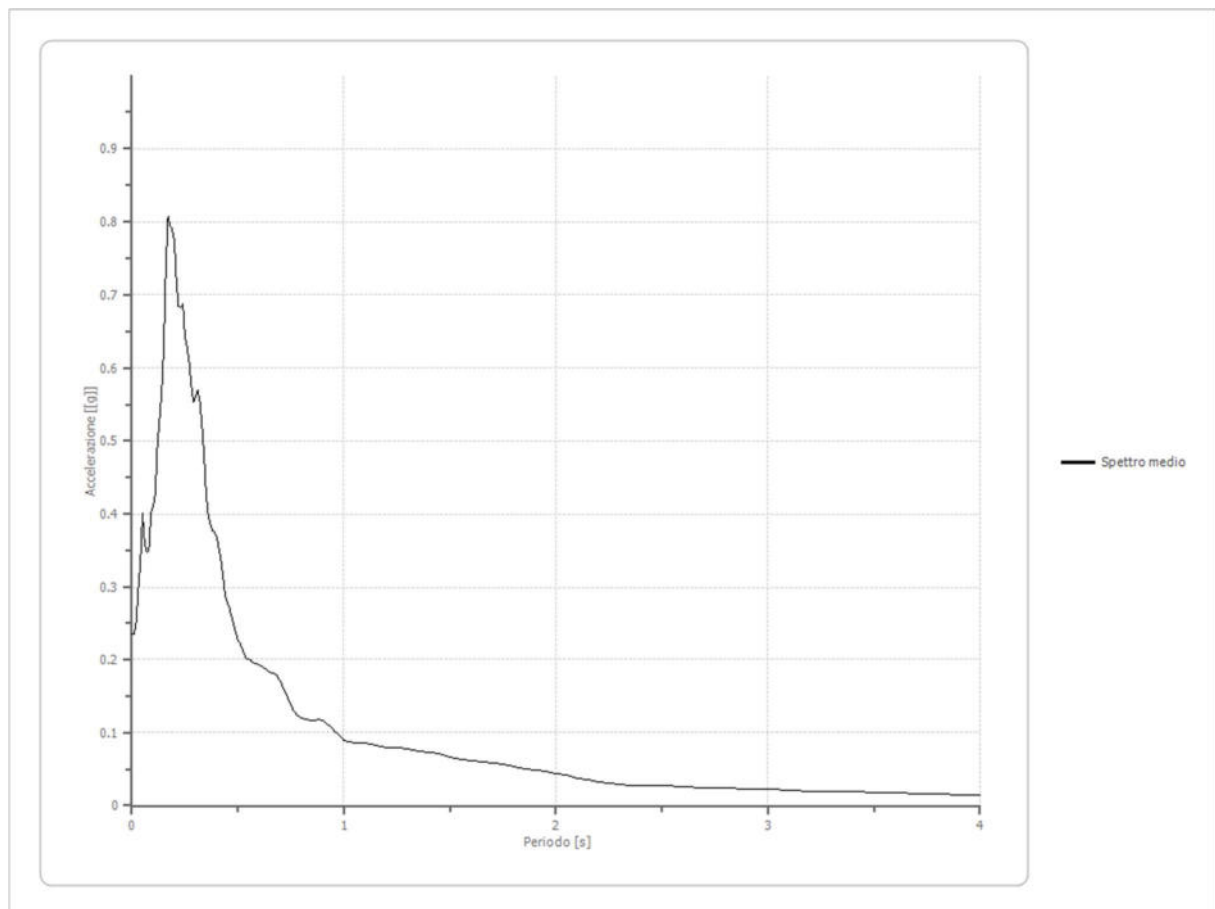
Tai	0.170 [s]
Tvi	0.700 [s]
Tao	0.170 [s]
Tvo	0.320 [s]
Sami	3.748 [m/s ²]
Svmi	0.170 [m/s]
Samo	6.214 [m/s ²]
Svmo	0.257 [m/s]
Fa	1.658 [-]
Fv	1.512 [-]
TB	0.086 [s]
TC	0.259 [s]
TD	2.333 [s]
SA(0)	0.183 [g]
SA(TB)	0.633 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
-----------------------	------------------------	---------------------------	----------------------------	-------------------------------------	----

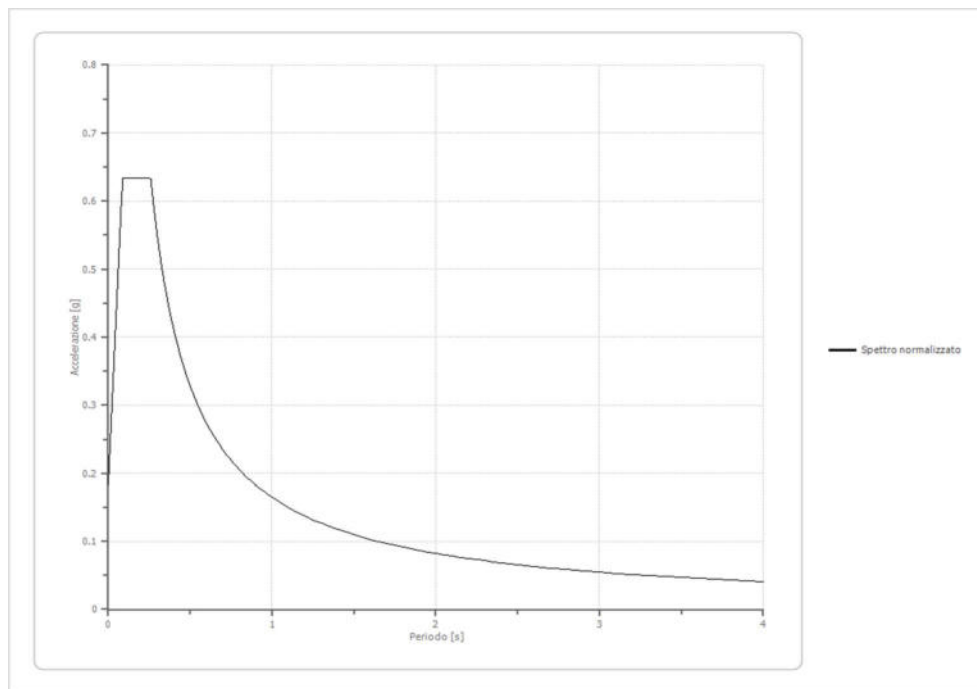
Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2352	0.26	0.6278	0.52	0.2151	0.98	0.0947	2.25	0.0302
0.01	0.2352	0.27	0.6089	0.53	0.2073	1.00	0.0890	2.30	0.0292
0.02	0.2513	0.28	0.5762	0.54	0.2011	1.05	0.0863	2.35	0.0281
0.03	0.2999	0.29	0.5527	0.55	0.2000	1.10	0.0853	2.40	0.0276
0.04	0.3337	0.30	0.5603	0.56	0.1984	1.15	0.0826	2.50	0.0267
0.05	0.4008	0.31	0.5699	0.57	0.1951	1.20	0.0788	2.60	0.0256
0.06	0.3586	0.32	0.5547	0.58	0.1947	1.25	0.0786	2.70	0.0249
0.07	0.3485	0.33	0.5221	0.60	0.1931	1.30	0.0770	2.80	0.0241
0.08	0.3509	0.34	0.4802	0.62	0.1890	1.35	0.0737	2.90	0.0229
0.09	0.4031	0.35	0.4280	0.64	0.1838	1.40	0.0723	3.00	0.0221
0.10	0.4110	0.36	0.3974	0.66	0.1820	1.45	0.0705	3.10	0.0208
0.11	0.4275	0.37	0.3860	0.68	0.1791	1.50	0.0666	3.20	0.0196
0.12	0.4928	0.38	0.3774	0.70	0.1699	1.55	0.0629	3.30	0.0192
0.13	0.5291	0.39	0.3760	0.72	0.1575	1.60	0.0609	3.40	0.0188
0.14	0.5671	0.40	0.3688	0.74	0.1436	1.65	0.0601	3.50	0.0182
0.15	0.6270	0.41	0.3532	0.76	0.1303	1.70	0.0587	3.60	0.0174
0.16	0.7379	0.42	0.3363	0.78	0.1222	1.75	0.0562	3.70	0.0166
0.17	0.8079	0.43	0.3139	0.80	0.1193	1.80	0.0536	3.80	0.0157
0.18	0.7946	0.44	0.2878	0.82	0.1174	1.85	0.0508	3.90	0.0150
0.19	0.7902	0.45	0.2779	0.84	0.1157	1.90	0.0488	4.00	0.0143
0.20	0.7729	0.46	0.2722	0.86	0.1161	1.95	0.0468		
0.21	0.7175	0.47	0.2588	0.88	0.1175	2.00	0.0444		
0.22	0.6848	0.48	0.2481	0.90	0.1161	2.05	0.0413		
0.23	0.6830	0.49	0.2357	0.92	0.1125	2.10	0.0379		
0.24	0.6870	0.50	0.2265	0.94	0.1073	2.15	0.0348		
0.25	0.6433	0.51	0.2220	0.96	0.1007	2.20	0.0319		



Spettro normalizzato di risposta elastico

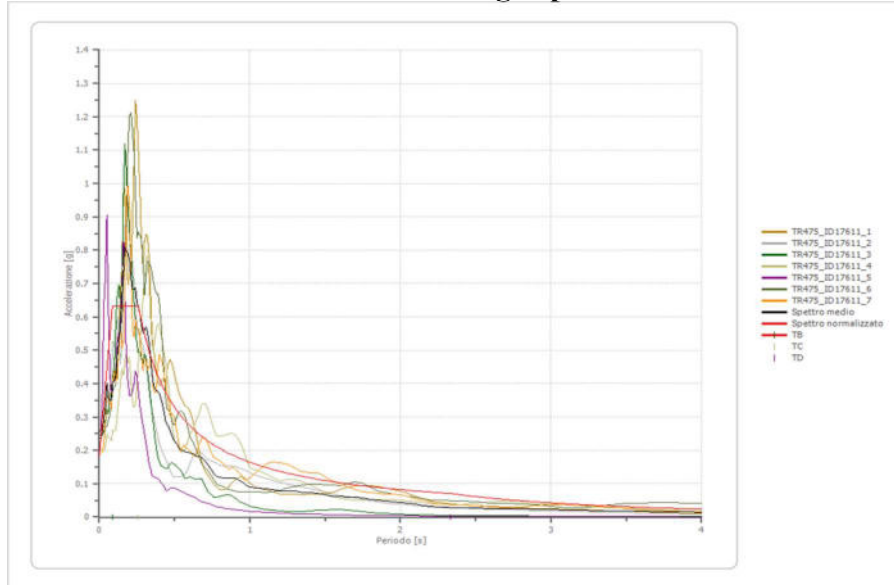
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1832	0.26	0.6321	0.52	0.3160	0.98	0.1677	2.25	0.0730
0.01	0.2352	0.27	0.6087	0.53	0.3101	1.00	0.1643	2.30	0.0715
0.02	0.2873	0.28	0.5869	0.54	0.3043	1.05	0.1565	2.35	0.0699
0.03	0.3394	0.29	0.5667	0.55	0.2988	1.10	0.1494	2.40	0.0685
0.04	0.3914	0.30	0.5478	0.56	0.2935	1.15	0.1429	2.50	0.0657
0.05	0.4435	0.31	0.5301	0.57	0.2883	1.20	0.1370	2.60	0.0632
0.06	0.4955	0.32	0.5136	0.58	0.2834	1.25	0.1315	2.70	0.0609
0.07	0.5476	0.33	0.4980	0.60	0.2739	1.30	0.1264	2.80	0.0587
0.08	0.5997	0.34	0.4834	0.62	0.2651	1.35	0.1217	2.90	0.0567
0.09	0.6334	0.35	0.4696	0.64	0.2568	1.40	0.1174	3.00	0.0548
0.10	0.6334	0.36	0.4565	0.66	0.2490	1.45	0.1133	3.10	0.0530
0.11	0.6334	0.37	0.4442	0.68	0.2417	1.50	0.1096	3.20	0.0514
0.12	0.6334	0.38	0.4325	0.70	0.2348	1.55	0.1060	3.30	0.0498
0.13	0.6334	0.39	0.4214	0.72	0.2283	1.60	0.1027	3.40	0.0483
0.14	0.6334	0.40	0.4109	0.74	0.2221	1.65	0.0996	3.50	0.0470
0.15	0.6334	0.41	0.4008	0.76	0.2162	1.70	0.0967	3.60	0.0457
0.16	0.6334	0.42	0.3913	0.78	0.2107	1.75	0.0939	3.70	0.0444
0.17	0.6334	0.43	0.3822	0.80	0.2054	1.80	0.0913	3.80	0.0432
0.18	0.6334	0.44	0.3735	0.82	0.2004	1.85	0.0888	3.90	0.0421
0.19	0.6334	0.45	0.3652	0.84	0.1956	1.90	0.0865	4.00	0.0411
0.20	0.6334	0.46	0.3573	0.86	0.1911	1.95	0.0843		
0.21	0.6334	0.47	0.3497	0.88	0.1868	2.00	0.0822		
0.22	0.6334	0.48	0.3424	0.90	0.1826	2.05	0.0802		
0.23	0.6334	0.49	0.3354	0.92	0.1786	2.10	0.0783		
0.24	0.6334	0.50	0.3287	0.94	0.1748	2.15	0.0764		
0.25	0.6334	0.51	0.3222	0.96	0.1712	2.20	0.0747		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sc(0) [g]	Sc(TB) [g]	S
0.183	3.458235	--	0.086	0.259	2.333	0.183	0.633	1.152

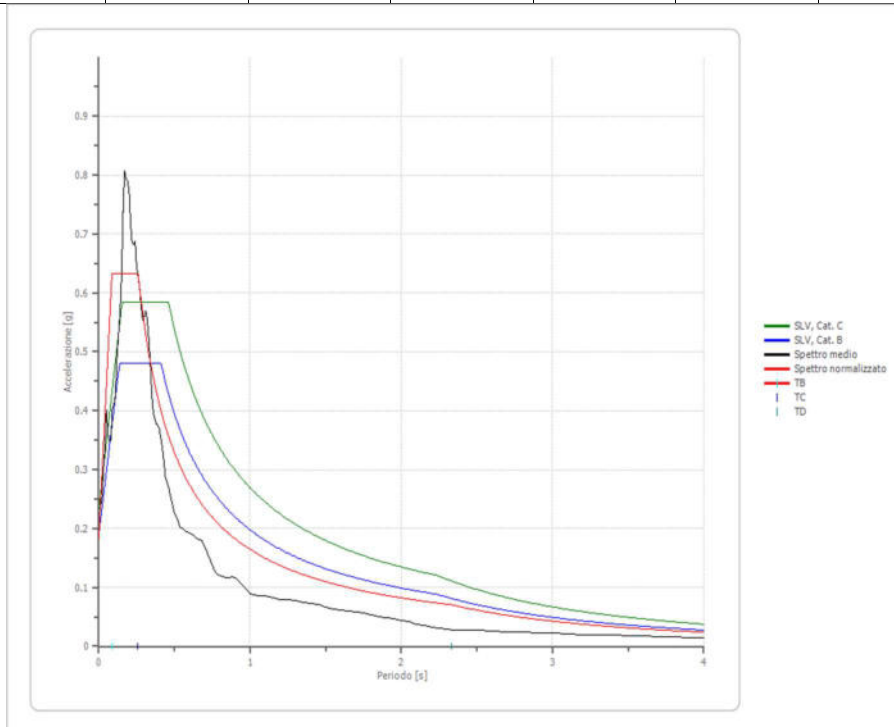
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

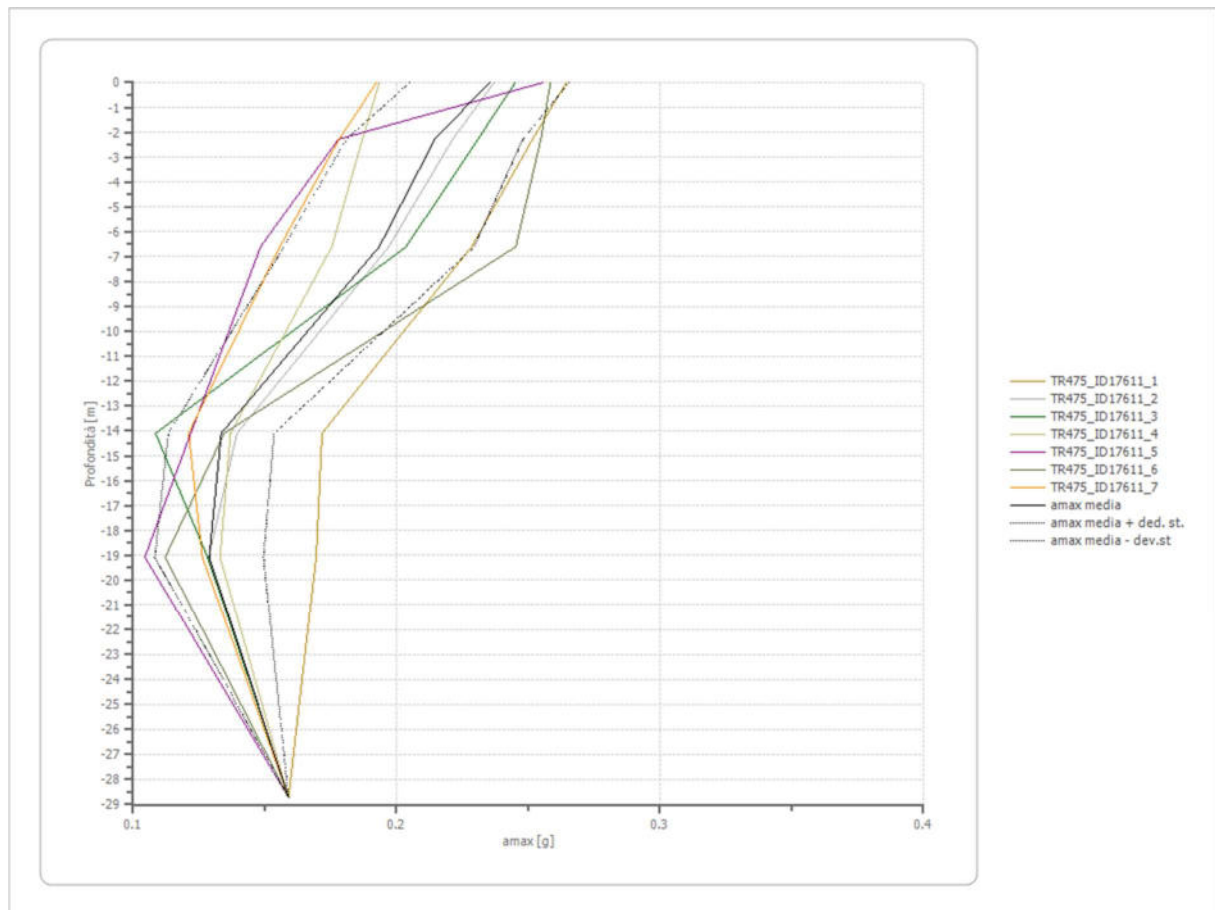
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [g]	0.056	0.070	0.159	0.200	0.056	0.070	0.159	0.200
Fo	2.499	2.491	2.52	2.529	2.499	2.491	2.52	2.529
Tc* [s]	0.252	0.265	0.292	0.302	0.252	0.265	0.292	0.302
Ss	1.50	1.50	1.46	1.40	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.65	1.63	1.58	1.56	1.45	1.43	1.41	1.40
TB [s]	0.139	0.144	0.153	0.157	0.122	0.127	0.137	0.141
TC [s]	0.417	0.431	0.460	0.471	0.365	0.380	0.411	0.422
TD [s]	1.824	1.880	2.236	2.400	1.824	1.880	2.236	2.400
Se(0) [g]	0.084	0.105	0.232	0.279	0.067	0.084	0.191	0.240
Se(TB) [g]	0.210	0.262	0.585	0.706	0.168	0.209	0.481	0.606



Profilo a max

	0.0 [m]	2.3 [m]	6.6 [m]	14.1 [m]	19.1 [m]	28.7 [m]
TR475_ID17611_1 [g]	0.264	0.252	0.229	0.172	0.169	0.159
TR475_ID17611_2 [g]	0.237	0.221	0.197	0.139	0.129	0.159
TR475_ID17611_3 [g]	0.245	0.231	0.204	0.109	0.128	0.159
TR475_ID17611_4 [g]	0.193	0.187	0.175	0.137	0.133	0.159
TR475_ID17611_5 [g]	0.256	0.178	0.148	0.122	0.104	0.159
TR475_ID17611_6 [g]	0.258	0.255	0.245	0.135	0.112	0.159
TR475_ID17611_7 [g]	0.192	0.178	0.156	0.121	0.126	0.159
media [g]	0.235	0.215	0.193	0.133	0.129	0.159
Dev. St. [g]	0.030	0.033	0.036	0.020	0.021	0.000



Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.183	3.458	0.150	1.998	1.5	0.050	0.150	1.000	0.106	0.244

