

Comune di Castelnuovo di Porto (RM)





Relazione Geologica con Risposta Sismica Locale

Località: Istituto Comprensivo G.Matteotti



Progetto:

Ampliamento e Miglioramento Sismico

Committente: <i>Amm.ne Comunale di Castelnuovo di Porto</i>	<div>Timbro e firma</div> 
Redatto: <i>Dr. Geol. Vittorio Stocchi</i>	
Data: <i>07/02/22</i> n°4351 	

Geologi Associati Fantucci e Stocchi

Viterbo (VT) – Via Monte Nero n° 27

PEC: geologiassociati@epap.sicurezzapostale.it

Tel-fax: 0761 – 826034; Cell: 339/7040030---335/6495926; email:fantucci.geologiassociati@gmail.com - postageol@gmail.com

Indice

<i>1) Premessa e localizzazione</i>	<i>Pag. 3</i>
<i>2) Metodi d'indagine e normativa di riferimento</i>	<i>Pag. 8</i>
<i>3) Inquadramento fisico generale</i>	<i>Pag. 14</i>
<i>4) Geomorfologia del terreno</i>	<i>Pag. 17</i>
<i>5) Geologia del terreno, modello geologico e rilievo strutturale</i>	<i>Pag. 20</i>
<i>6) Idrografia ed idrogeologia del terreno</i>	<i>Pag. 30</i>
<i>7) Pericolosità Sismica e Risposta Sismica Locale</i>	<i>Pag. 34</i>
<i>8) Modello geotecnico</i>	<i>Pag. 75</i>
<i>9) Note conclusive</i>	<i>Pag. 79</i>
<i>18) Bibliografia</i>	<i>Pag. 81</i>
<i>Relazione di 81 pagine più allegati per un totale di 100 pag.</i>	

1) Premessa e localizzazione

L'indagine è stata svolta su incarico dell'amministrazione comunale, al fine di eseguire l'adeguamento sismico e un ampliamento del fabbricato scolastico, in relazione alle caratteristiche geologiche, sismiche, idrogeologiche, geotecniche e geomorfologiche del terreno.

Il territorio è compreso nel foglio 144 Palombara Sabina, quadrante III, tavoletta NO Castelnuovo di Porto (fig. 1), nel C.T.R. 365074 Morlupo (fig. 2); il fabbricato è distinto al catasto dal foglio n° 9 particelle 617 (fig. 3 e 4).

L'edificio risale alla seconda metà del secolo scorso ed ha subito modifiche ed ampliamenti nel tempo; ha una struttura in cemento armato, una superficie coperta di circa 700 mq ed è composto da un piano interrato e quattro piani fuori terra (foto 1).



Foto 1– lato sud

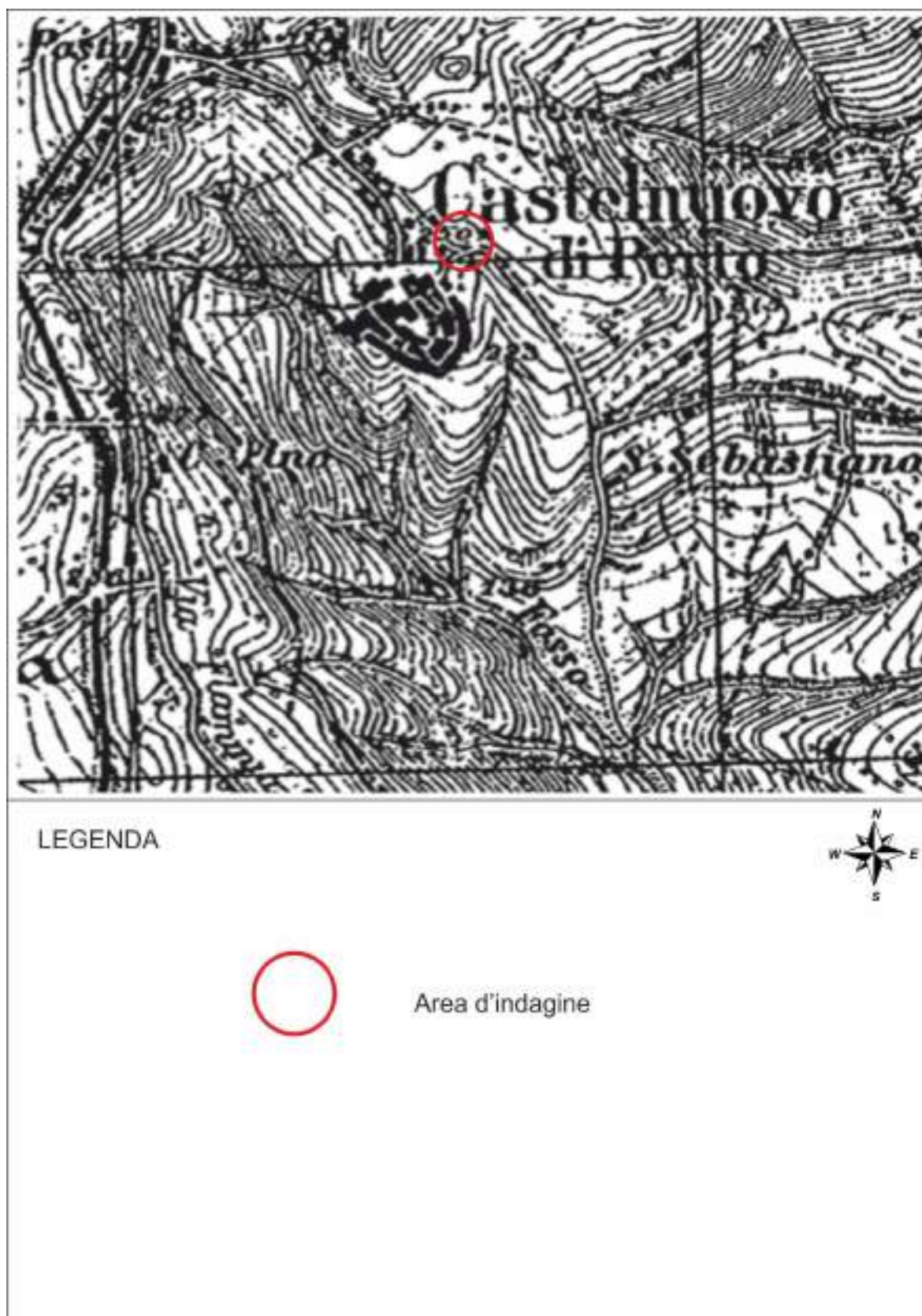


Fig. 1 – scala 1:25.000 F. 144 Palombara Sabina III NO Castelnovo di Porto

**Fig.2-** Carta C.T.R. n. 365074 Morlupo– scala 1:5.000

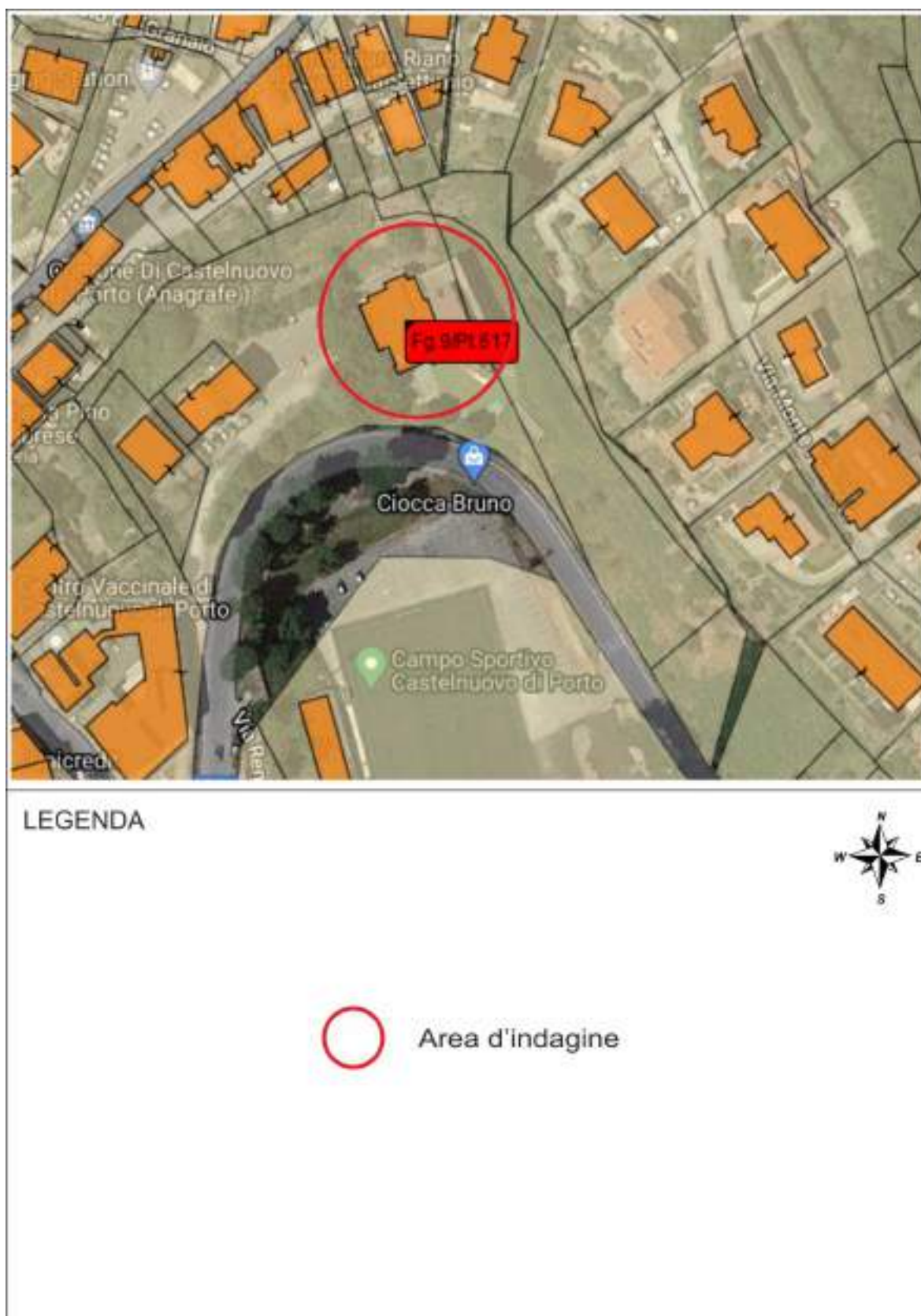


Fig. 3 -Stralcio Catastale F°9p.lla 617 f.s.



Fig.4 - Foto aerea da *Google Earth* – stralcio non in scala

2)Metodi d'indagine e normativa di riferimento

Lo studio è stato condotto secondo quanto previsto dalla normativa edilizia vigente:

Legge 02 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Coordinato con la Circolare del Ministero Lavori Pubblici, 24 settembre 1988, n. 30483 - Istruzioni per l'applicazione.

D.P.R. 328 5 giugno 2001, art. 41. Modifiche ed integrazioni della disciplina dei requisiti per l'ammissione all'esame di stato e delle relative prove per l'esercizio di talune professioni nonché della disciplina dei relativi ordinamenti (art.41 – attività professionali del geologo)

Ord.P.C.M. del 20 marzo 2003 n. 3274. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. e documenti correlati.

DPR 6 giugno 2001, n.380. Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (Testo A)

N.T.C. 2018 Ministero delle Infrastrutture e Trasporti - Norme Tecniche per le Costruzioni

Circolare 7/2019 C.S.LL.PP. criteri di attuazione delle NTC 2018

Regolamento Regione Lazio D.G.R. 26/2020 e s.m.i. D.G.R. n° 189/2021 “.....Snellimento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico

D. 3267/23, R.D. 1126/26, D.G.R. Lazio n° 6215/96, Regolamento per il vincolo idrogeologico

D.G.R. 545/2010 Linee guida Microzonazione Sismica

D.G.R. 387/09 Nuova Classificazione Sismica Regione Lazio

D.G.R. 490/11 Approvazione degli abachi Regionali per la Microzonazione...

D.G.R. 493/19 e 793/20 Classi d'Uso

In accordo con il progettista, vista la consistenza delle opere (classe III Istruzione), la classificazione sismica locale (classe 3A), l'assenza di vincolo idrogeologico, il livello di progettazione e considerate le conoscenze geologiche della zona nonché il grado di pericolosità medio, si è proceduto alle seguenti operazioni:

- a) il rilevamento geologico dell'area
- b) l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (foto 2), spinto sino a 30 metri di profondità, per conoscere la stratigrafia locale ed eseguire la prova Down Hole, con prelievo di un campione sottoposto ad analisi di laboratorio
- c) l'esecuzione di due prove geofisiche MASW (foto 3), per la classificazione sismica del suolo
- d) l'esecuzione di una prova geofisica HVSR (foto 4) per la determinazione della frequenza di risonanza del terreno
- e) l'esecuzione di una prova geofisica Down Hole all'interno del foro per la valutazione della risposta sismica locale (foto 5)
- f) l'esecuzione di una prova penetrometrica dinamica tipo DPSH per la stima dei parametri geotecnici dei terreni (foto 6)
- g) l'esecuzione di n°10 prove con sclerometro tipo martello Schmidt (foto 7), sugli affioramenti dell'ammasso roccioso a monte
- h) l'analisi in laboratorio certificato del campione prelevato nel sondaggio per la definizione dei parametri geotecnici
- i) la consultazione della bibliografia esistente e dei dati di archivio dell'autore tra i quali un altro sondaggio eseguito precedentemente nei pressi dello stesso fabbricato

PROGETTI	PERICOLOSITA'				
	Zona Sismica				
	1	2a	2b	3a	3b
classi d'uso I e II	MEDIO	MEDIO	MEDIO	BASSO	BASSO
classe d'uso III	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
classe d'uso IV	ALTO	ALTO	ALTO	MEDIO	MEDIO

Livello di Rischio Sismico	TERRENI
	<p>a) Almeno 1 Sondaggio Geognostico con Prove SPT in foro più 1 Prova Penetrometrica statica (CPT, CPTE, CPTU), dinamica (DPSH) o dilatometriche DMT, oppure, almeno 2 Prove Penetrometriche statiche (CPT, CPTE, CPTU) o dinamiche (DPSH), che consentano di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni coesivi e granulari costituenti il volume significativo fondazionale.</p> <p>b) In sostituzione delle prove di cui alla lett. a) che precede, solo per le classi III e IV: almeno 1 Sondaggio Geognostico con Prove SPT in foro più 1 Prova Penetrometrica statica (CPT, CPTE, CPTU), dinamica (DPSH) o dilatometriche DMT, che consentano di definire le caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche dei terreni coesivi e granulari costituenti il volume significativo fondazionale.</p> <p>c) Nel caso di esecuzione del Sondaggio Geognostico: prelievo di campioni quando la litologia consente un campionamento indisturbato o almeno significativo, del terreno fondazionale da sottoporre a Prove Geotecniche di laboratorio, certificate ai sensi dell'articolo 59 del DPR 380/2001, per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche e dinamiche (Prova di Taglio Diretta, Prova Edometrica, Prova Triassiale, Prova di Taglio Ciclico, Colonna Risonante, ecc.);</p> <p>d) Almeno 2 Prova Sismiche in sito attive (MASW, SASW, MFT, FTAN, ecc.) o passive (REMI, SPAC, ESAC, H-k, MAAM, ecc.), possibilmente perpendicolari tra di loro per la definizione del profilo di velocità dell'onda S.</p> <p>e) Almeno 1 Acquisizione di Microtremore Sismico a stazione singola (HVSIR), per la definizione della frequenza di risonanza del terreno;</p> <p>f) Almeno una prova sismica diretta in foro (DH, CH, SDMT) eseguita fino alla profondità pari al raggiungimento del bedrock sismico o comunque fino alla profondità di almeno 30 metri, in tutti i casi in cui dovrà essere eseguito uno studio di Risposta Sismica Locale (RSL) per le classi d'uso III e IV.</p> <p>g) Analisi della Risposta Sismica Locale, per tutte le classi d'uso III e IV come previsto dalla DGR 493/19 ed in tutti i casi in cui (es. Inversioni di velocità, bruschi passaggi di rigidità, ecc.) il sottosuolo non è classificabile nelle categorie di cui alla Tabella 3.2.ii delle NTC'18, eseguita tramite:</p> <ul style="list-style-type: none"> • codice di calcolo 1D unicamente per sottosuoli costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica piana; • codice di calcolo 2D da eseguire per sottosuoli non costituiti da strati orizzontali continui e superficie topografica non pianeggiante.



Foto 2 -sondaggio



Foto 3—provaMASW



Foto 4 - prova HVSR



Foto 5 – prova Down Hole



Foto 6 – prova DPSH



Foto 7 – prova martello Schmidt

3) Inquadramento fisico generale

Dal punto di vista geologico l'area è compresa nel dominio vulcanico sabatino e quindi gran parte delle litologie rilevate in zona appartengono ai depositi eruttati da questo complesso o provengono dal disfacimento dei prodotti vulcanici stessi (fig. 5 e 6).

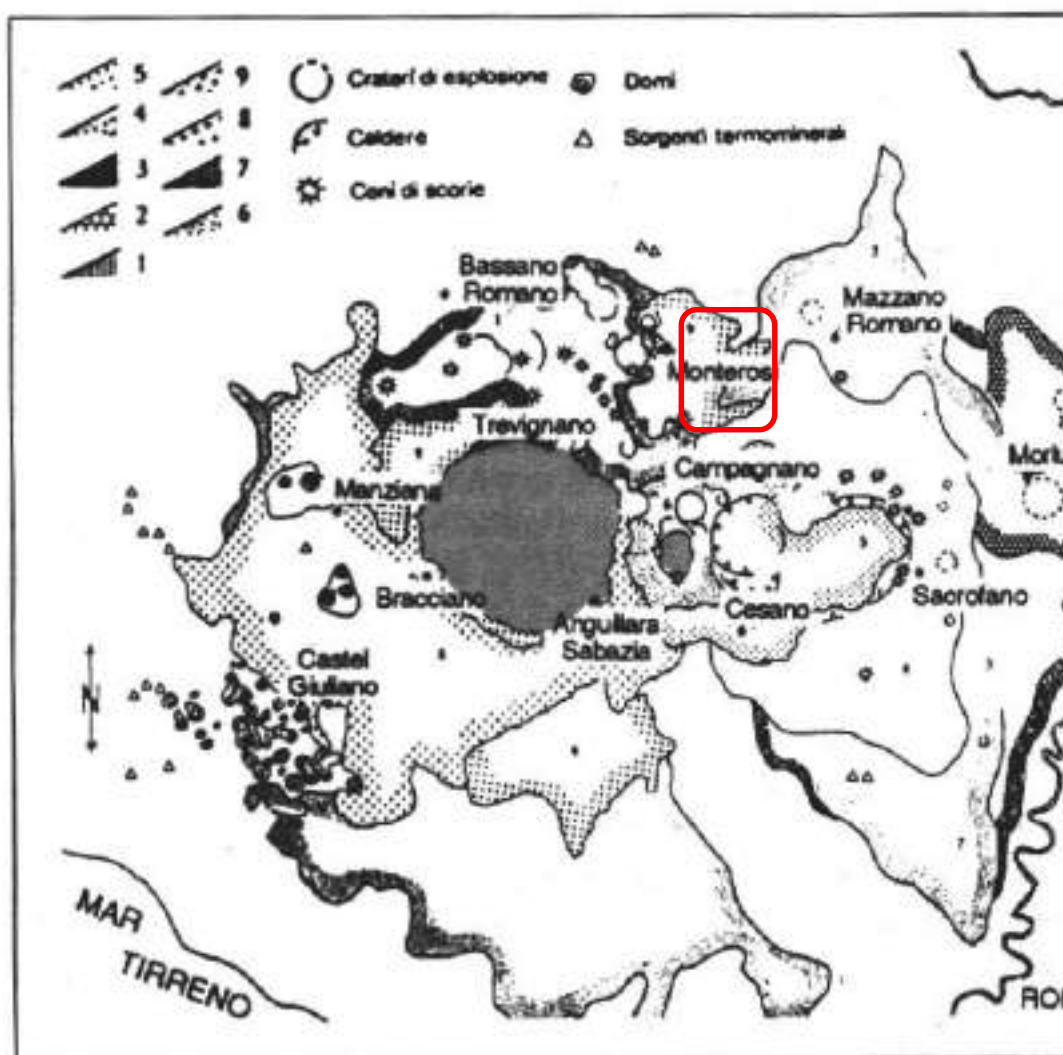


fig. 36 - Schema geologico del Distretto vulcanico sabatino (da De Rita et al., 1980).
 dell'attività esplosiva del settore settentrionale: 2: limite dei prodotti vulcanici

Fig. 5 - Schema geologico dei Sabatini

L'attività vulcanica comincia con fenomeni di tipo esplosivo, concentrati nella zona orientale del distretto, con la messa in posto del cratere detto di Castelnuovo di Porto - Morlupo, oggi in gran parte obliterato dalle successive eruzioni.

Segue, a breve, l'edificio di Sacrofano, il quale è forse il centro più importante di tutto il distretto, avendo avuto un periodo di attività compreso tra i 600.000 ed i 370.000 anni, con un volume di materiale eruttato molto elevato, che ha ricoperto terreni distanti anche 40 chilometri dal centro di emissione.

La fase parossistica del vulcano, concentrata intorno ai 400.000 anni fa e l'attività successiva hanno comportato lo svuotamento delle camere magmatiche ed il conseguente collasso della caldera di Bracciano e di alcune aree limitrofe.

Gli ultimi episodi eruttivi si concentrano nelle aree di Monte Razzano, Baccano e nei centri minori di Martignano, Stracciacappe, Le Cese ecc., con la messa in posto di prodotti a prevalente carattere idromagmatico, che risalgono ad alcune decine di migliaia di anni fa.

L'intensa attività vulcanica dei centri eruttivi ha contribuito alla formazione di una zona a morfologia sub collinare, da mediamente a poco accentuata, che si affaccia sulla valle del Tevere, posta poco più ad est, attraversata da una rete idrografica di tipo dendritico – sub parallelo, ben inciso lungo i versanti.

Lungo il fondovalle, oltre ai terreni alluvionali e detritici affiora, a tratti, anche il substrato sedimentario più antico, plio pleistocenico, composto di sedimenti prevalentemente di natura marina, inizialmente grossolani poi prettamente argillosi.

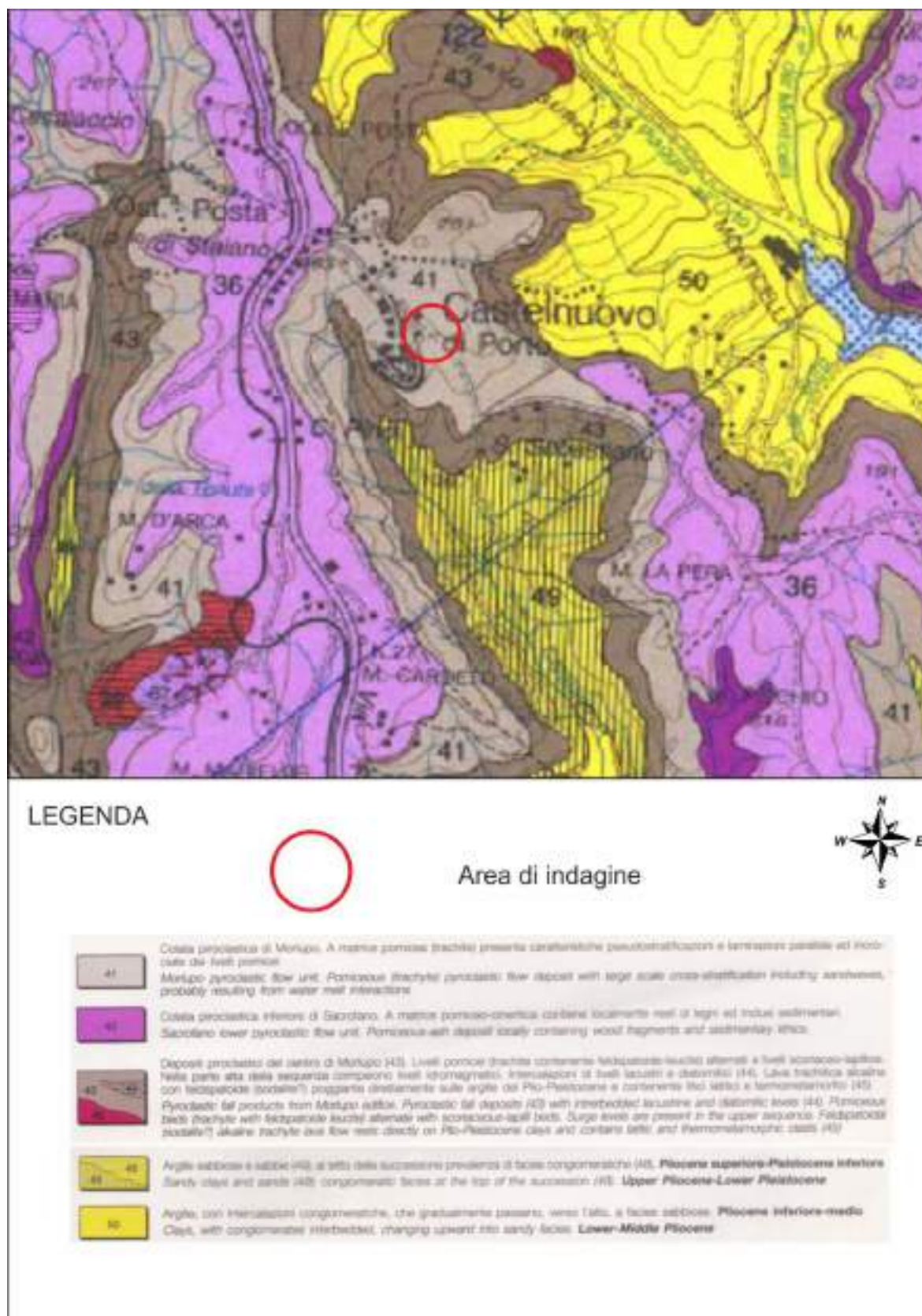


Fig. 6– Estratto dalla carta geologica dei Sabatini - scala 1: 25.000

4) Geomorfologia del terreno

L'area in esame si trova poco fuori dal centro storico del paese e la costruzione è posta sulla parte alta della valle incisa da un ramo minore del fosso Chiarano, dotata di pendenza naturale piuttosto elevata ed in gran parte modificata dalle diverse sistemazioni subite.

Il versante originario, in questo tratto, aveva una pendenza naturale del 50 % (circa 27°) che è stata modificata arretrando il pendio per guadagnare spazio, rendendo la scarpata a monte del fabbricato sub verticale, con tratti verticali (foto 8).

Alle spalle della scuola, infatti, sono visibili muri di contenimento di dimensioni notevoli, soprattutto laddove vi sono i confini con le proprietà sovrastanti.

L'area dove è posto il fabbricato è stata resa pianeggiante ed oggi il piano terra della scuola è posto ad una quota di circa 242 metri sul livello del mare, 3 metri in meno di quella di Piazza Di Vittorio, laddove si trova l'accesso principale dell'istituto, che è a circa 245 m.

Verso la strada e è presente una scarpata non particolarmente acclive e di altezza limitata che si raccorda con la sede stradale della provinciale per Capena.

Il pendio a monte, nonostante l'acclività notevole, non mostra particolari segni di instabilità morfologica se si eccettuano alcuni fenomeni di degrado superficiale di porzioni terreno particolarmente alterato.

In generale, nella zona circostante, non sono stati rilevati fenomeni di stress tensionali, in atto o potenziali, che indichino la presenza di dissesto idrogeologico particolarmente attivo, se si eccettuano porzioni di pareti tufacee molto acclivi e poco consistenti.

Le acque di scorrimento superficiale tendono a defluire velocemente verso il fondovalle, cioè verso sud, con parziale raccolta delle acque superficiali da parte del sistema fognario.



Foto 8 – scarpata lato est

Il fabbricato è adiacente ad un'area a rischio geomorfologico individuata dal P.A.I. (fig. 7), redatto dall'autorità di bacino competente, come orlo di scarpata di frana presunta.

Date la consistenza delle litologie affioranti, l'assenza di fratturazione diffusa, la mancanza di tracce di crolli ed altri fenomeni di carattere franoso, si ritiene improbabile tale eventualità; è stata comunque eseguita una verifica speditiva di stabilità della suddetta scarpata, basata sulle misure geologiche strutturali eseguite in parete e sui dati geotecnici disponibili.

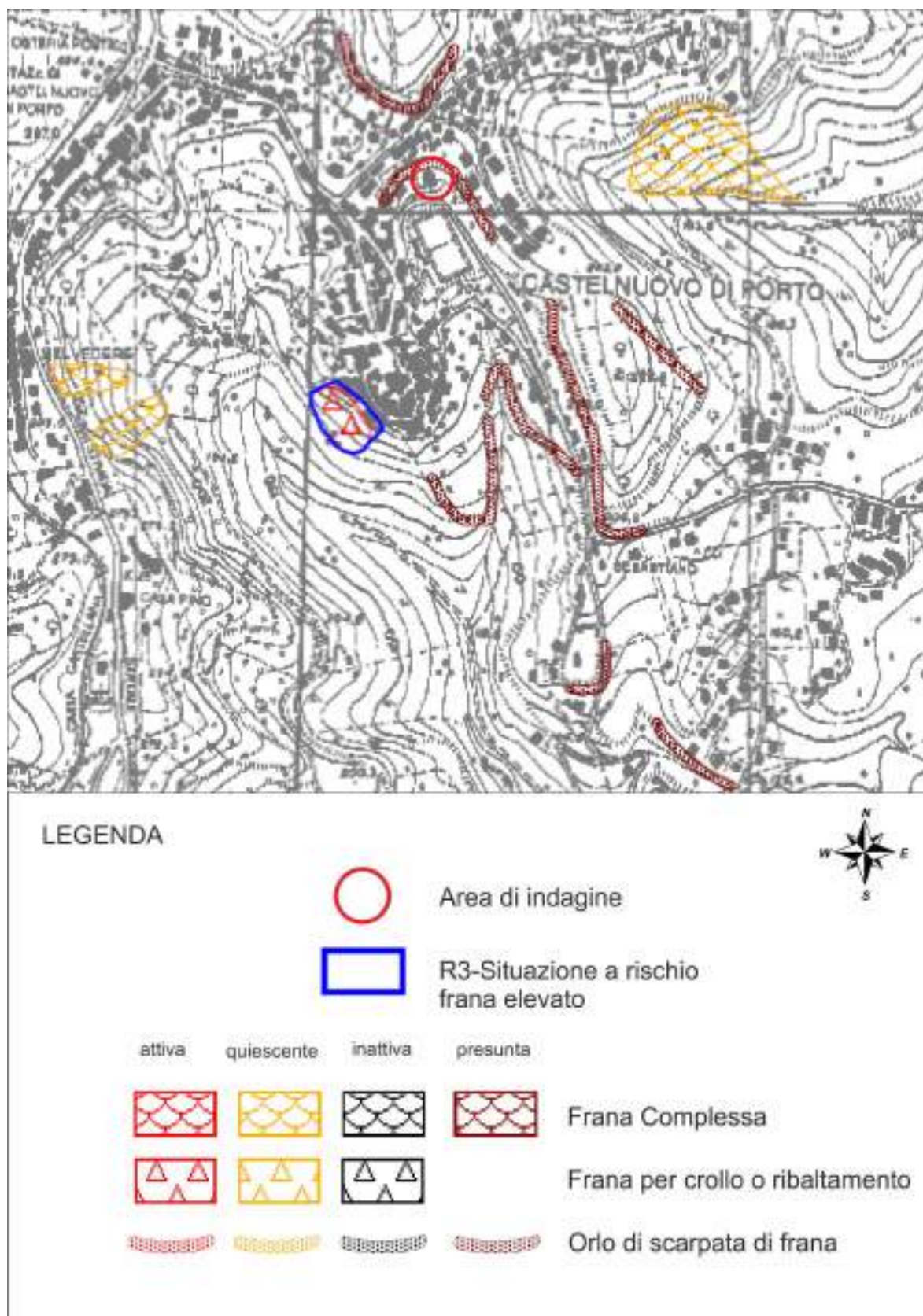


Fig. 7– Estratto dalla carta PAI Bacino del Tevere tavola 61 – scala 1:10.000

5) Geologia del terreno, modello geologico e rilievo strutturale

Il rilevamento geologico eseguito anche in aree limitrofe, associato ai sondaggi riportati in allegato, ha permesso di ricostruire la successione stratigrafica nell'area.

In generale, il terreno nella zona di scarpata è costituito da un tufo abbastanza consistente, quasi per nulla fratturato, con giacitura sub orizzontale, riconosciuto come colata piroclastica di Morlupo, a chimismo trachitico, a matrice cineritica e con pseudo stratificazioni di livelli pomicei.

Lo spessore di questo tufo in zona è elevato, cioè superiore alla ventina di metri e localmente sfuma su depositi piroclastici dello stesso apparato, costituiti da livelli pomicei, lapillari e scoriacei.

Le vulcaniti in sito poggiano su materiali sedimentari che affiorano più a valle, costituiti essenzialmente da sabbie argillose e materiali grossolani nella porzione superiore del deposito, mentre in profondità diventa prevalente la matrice argillosa.

Il tufo, come già accennato, presenta una modesta fatturazione, prevalentemente sub orizzontale legata alle piccole variazioni litologiche quali intercalazioni pomicee e scoriacee nell'ammasso tufaceo.

Il tufo rilevato lungo la scarpata è sabbio limoso di colore prevalentemente avana e grigiastro, con pomici, nella porzione superiore; nel sondaggio eseguito la stratigrafia continua con un deposito abbastanza omogeneo di tufi avana a matrice sabbio limosa, di colore avana, con rari paleosuoli marroni, più fini e livelli sabbio ghiaiosi, a lapilli verso la base, intorno ai 30 metri dal p.c.

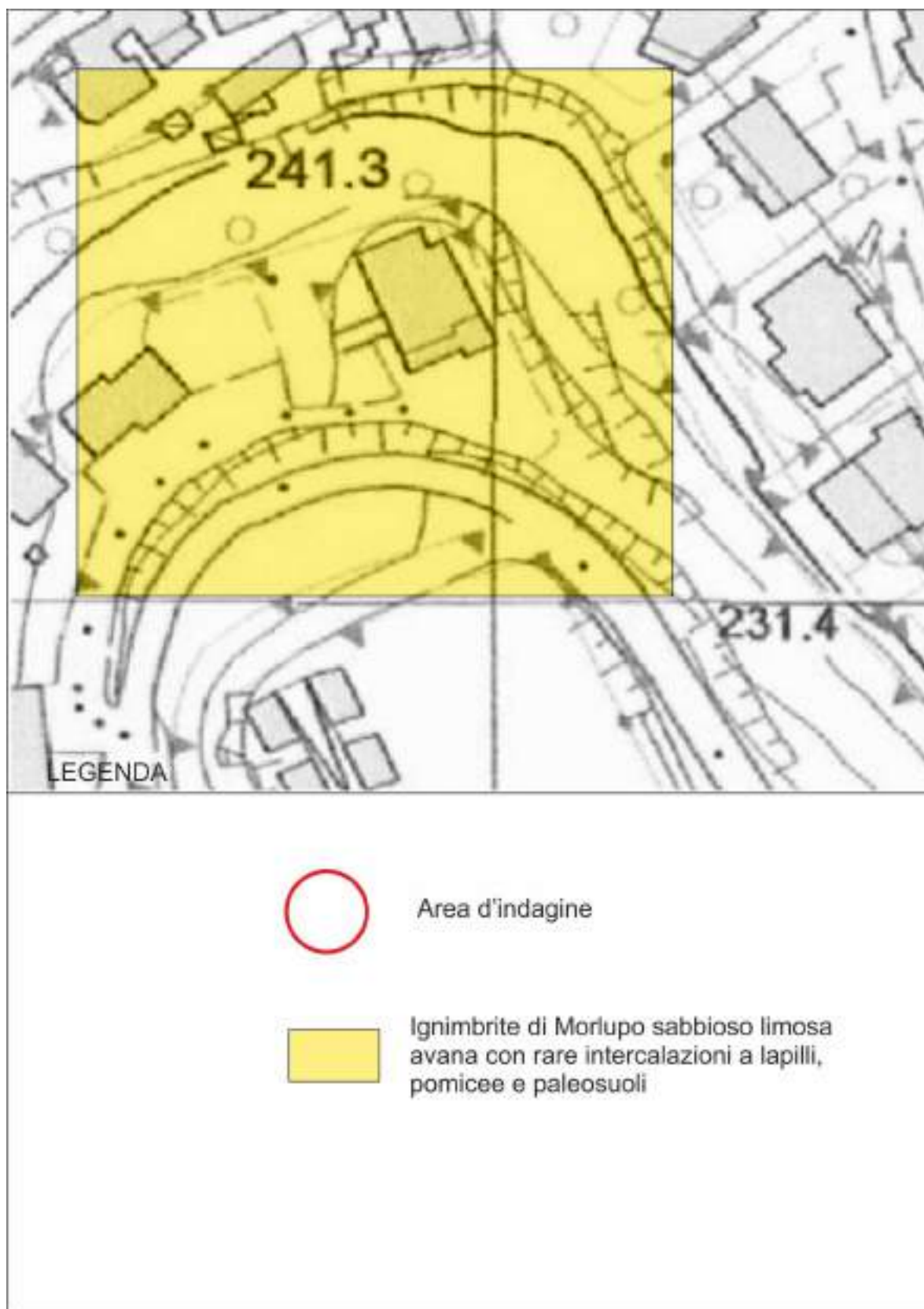
Dal rilievo geologico di dettaglio questa formazione affiora anche in prossimità del campo sportivo a valle ed in direzione sud, lungo via Montefiore; lo spessore complessivo della formazione di Morlupo sembra essere quindi di almeno 30 metri (fig. 8).

Nel piazzale antistante alla scuola e sul lato a valle, sono possibili modeste coperture di terreno di riporto.

Il modello geologico è, quindi, il seguente:

Orizzonte A: Ignimbrite di Morlupo di colore avana chiaro e grigio, a matrice sabbioso limosa con rare intercalazioni a lapilli e pomici, della potenza di almeno 30 metri con una debole copertura di riporto locale (inferiore al metro).

Nella sezione geologica A-A' è riportata schematicamente la successione litostratigrafica di dettaglio, desunta dalle indagini geognostiche eseguite negli anni 2022 e 2001 (fig. 9).

**Fig. 8** – Carta Geologica scala 1:1.000

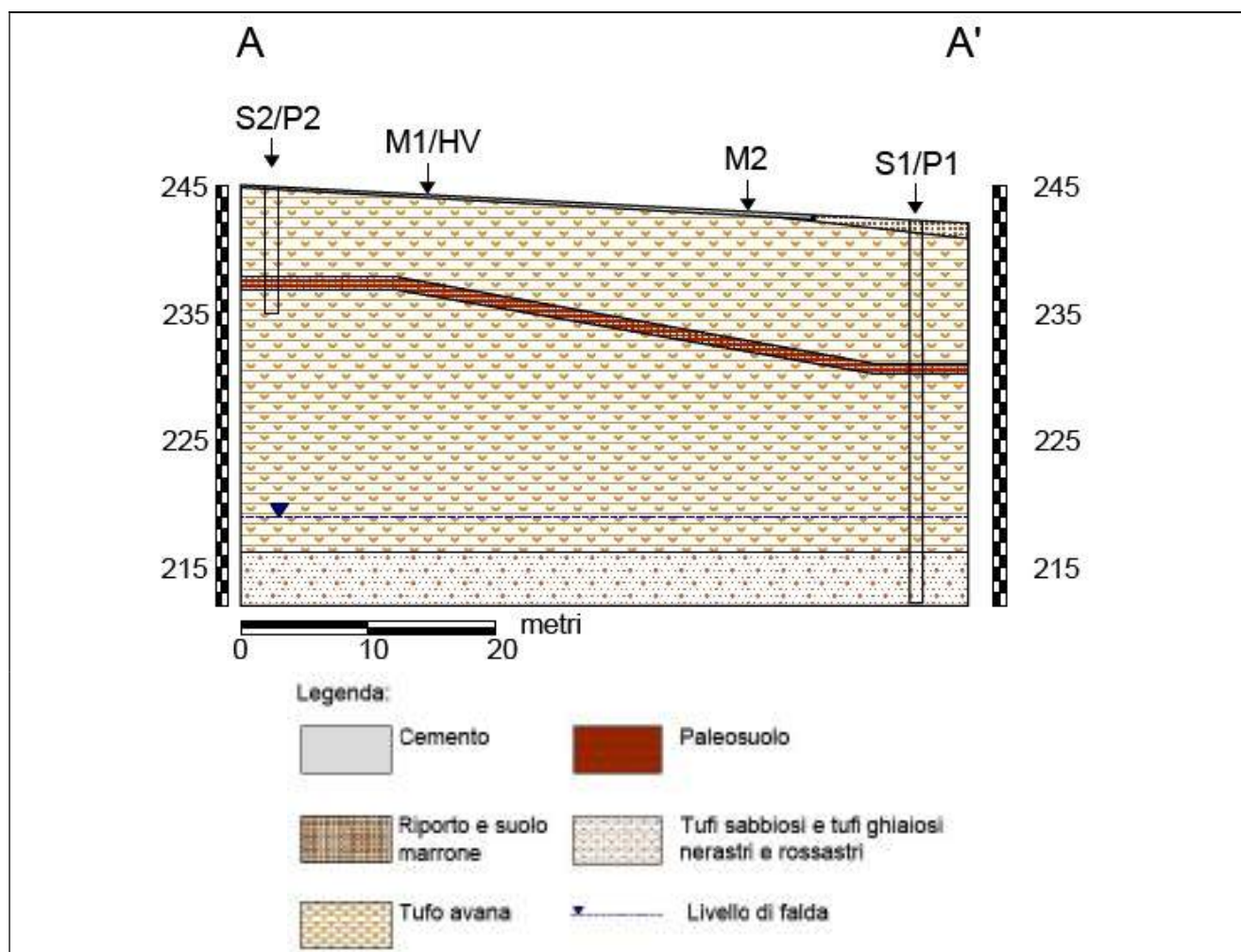


Fig. 9– Sezione geologica A-A'

Per la caratterizzazione delle proprietà del tufo in affioramento (Ignimbrite di Morlupo), si è proceduto all'esecuzione di prove in sito con sclerometro per roccia (Martello di Schmidt) applicato perpendicolarmente alle superfici della parete rocciosa (foto 7).

Le prove sono condotte sulla base di almeno 10 letture di cui si scartano le 5 più basse, con calcolo della media delle 5 più alte (in grassetto nella tabella successiva).

I test in sito hanno mostrato un valore medio di rimbalzo pari a 15 cui corrisponde una resistenza a compressione semplice σ_{ci} di circa 2 MPa (fig.10).

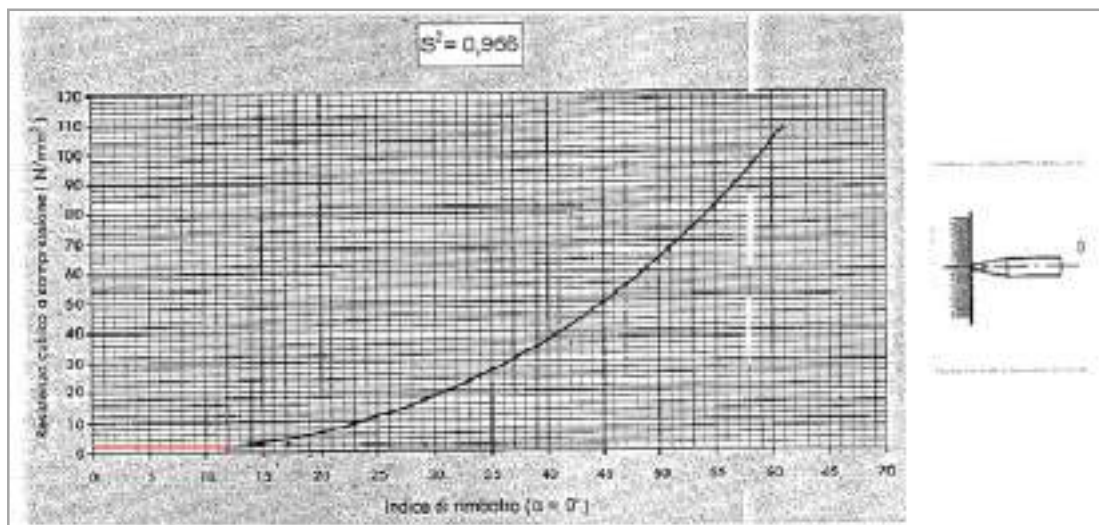


Fig. 10 – Dati test martello Schmidt

Si è quindi proceduto ad una analisi geologico-strutturale condotta mediante la valutazione della qualità dell'ammasso roccioso (**Bieniawski, 1989**), che ha fornito un valore di **RMR = 50** (rock mass rating) corrispondente ad una classe discreta, con un valore di angolo di attrito $\phi = 32^\circ$ ed una coesione **c = 275 kPa** (fig. 11).

CLASSIFICAZIONE BIENIAWSKI (1989)

RMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITA'	Molto scadente	Scadente	Discreta	Buona	Ottima

Nell'ambito della classificazione sono stati rilevati i parametri più significativi, secondo quanto definito dalle raccomandazioni dell'ISRM ed in particolare:

- giacitura – definisce la posizione della frattura nello spazio attraverso il rilevamento della direzione di immersione (azimut) e dell'inclinazione della linea di massima pendenza del piano di discontinuità
- spaziatura – distanza tra discontinuità adiacenti, misurata in direzione perpendicolare alle fratture stesse
- persistenza intesa come continuità, definisce la lunghezza della frattura così come è rilevabile nell'affioramento
- rugosità o scabrezza delle superfici di una discontinuità
- apertura – rappresenta la distanza tra i lembi di una discontinuità in cui non è presente riempimento di alcun tipo
- riempimento – materiale presente tra i lembi di una discontinuità (ad esempio sabbia, milonite o vene di calcite)
- presenza di acqua intesa come flusso vero e proprio di acqua dalla frattura o semplice presenza di umidità

Committente: Comune Castelnuovo di Porto					
Località: scuola G. Matteotti			Descrizione: Tufo avana sabbio limoso compatto		
Note:			Sigla:		
Classificazione C.S.I.R.- Rock Mass Rating 1989 (Bieniawski)					
CLASSE	BRMR (stimato)	RMR (stimato)	Qualità dell'ammasso roccioso	Coesione (kPa)	Angolo d'attrito(°)
III	55	50	Discreta	275	32
A1 - Resistenza roccia integra					
Resistenza alla compressione monoassiale (MPa)= 2,0				A1 = 1	
A2 - Rock Quality Designation					
Rock Quality Designation (R.Q.D.) % = 80				A2 = 16	
A3 - Spaziatura dei giunti					
Spaziatura media dei giunti (cm) = 500,00				A3 = 14	
A4 - Condizione dei giunti					
Lunghezza media dei giunti (m):				Indice parziale = 2	
Apertura media dei giunti (mm):				Indice parziale = 0	
Rugosità media dei giunti:				Indice parziale = 3	
Riempimento medio dei giunti (mm):				Indice parziale = 6	
Condizione di alterazione dei giunti:				Indice parziale = 3	
				A4 = 14	
A5 - Condizioni idrauliche					
A5 = 10					
A6 - Orientamento dei giunti					
A6 = -5					
BRMR (Basic RMR) = A1 + A2 + A3 + A4 + A5					
RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6					
GSI (Geological Strength Index)= A1 + A2 + A3 +A4 +10 = 55					

Fig.11- Classificazione Bieniawski (1989)

La parete a nord dell'edificio scolastico è poco fratturata e sono stati rilevate solo due fessure di cui una legata ad un contatto litologico, sub orizzontale ed una seconda perpendicolare al fronte (foto 12).

Questo tratto di parete rocciosa ha un fronte orientato in direzione N 70, immersione N 160, inclinazione sub verticale 88° con due sistemi di fessurazione sulla parete esterna (F1-F2) riportati nella seguente tabella:

Numero frattura	Direzione frattura	Immersione	Inclinazione (°)
F1	N 70	N 160	3°
F2	N 150	N 330	78°



Foto 12 – Parete nord

Le principali giaciture delle discontinuità rinvenute sono state riportate sul **diagramma polare di Schmidt**, che mostra il loro orientamento nello spazio ed i rapporti fra piano e piano rispetto alla direzione del fronte (fig. 12).

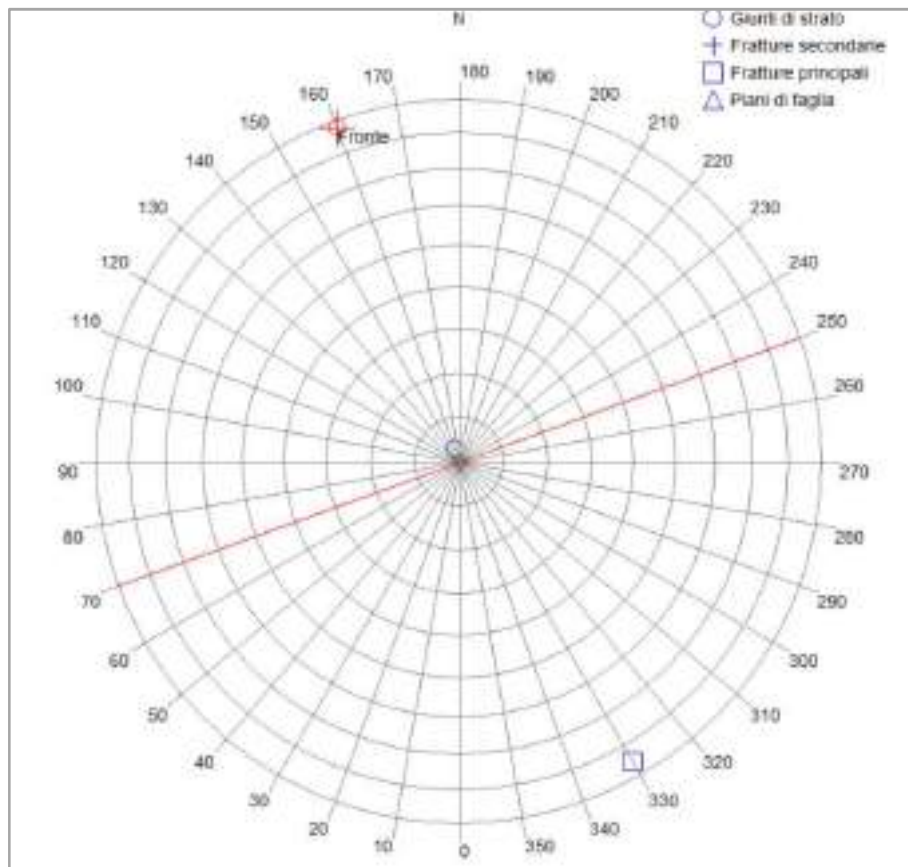


Fig. 12 – Diagramma polare sistemi di fessurazione e direzione fronte

Si è quindi proceduto alla valutazione della stabilità con la **trattazione di Markland** che dà indicazioni sulla presenza di cunei instabili, la quale conferma la stabilità generale del tratto di fronte esaminato dove non sembrano formarsi cunei instabili all'intersezione tra i piani di fessurazione (fig. 13).

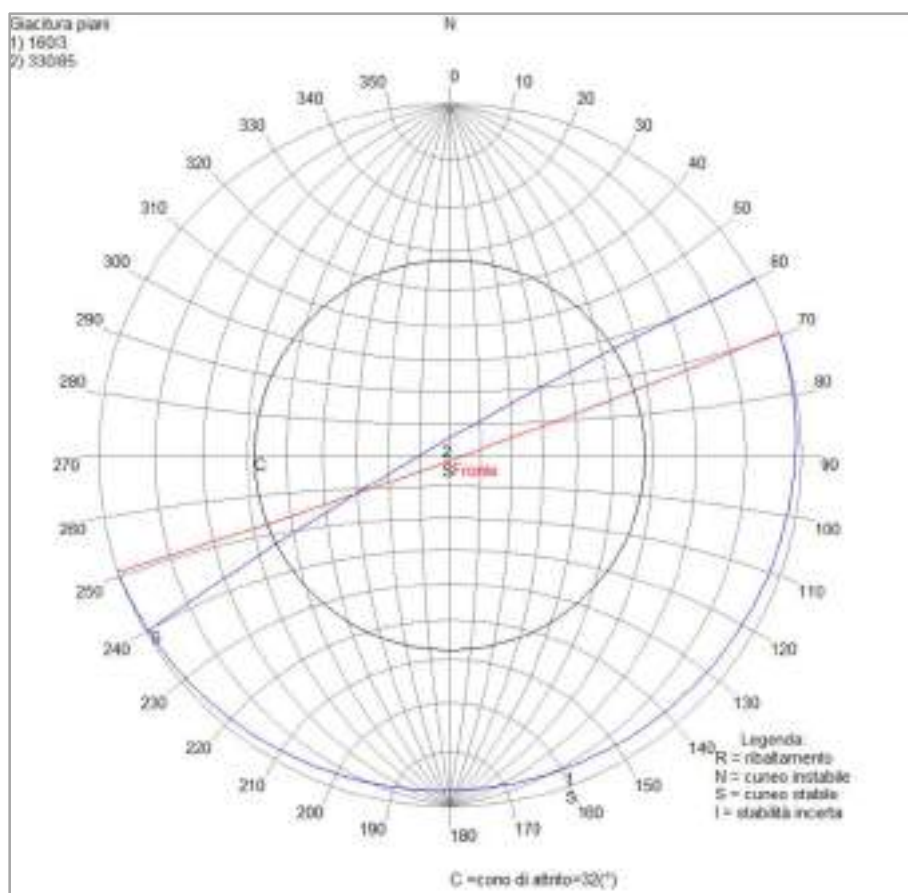


Fig. 13 – Test Markland per identificazione cunei instabili

6) Idrografia ed idrogeologia del terreno

La permeabilità dei terreni affioranti varia da modesta a media ed al passaggio tra i tufi saldati, poco fratturati ed i tufi fini, sottostanti, è stata rilevata una piccola falda acquifera che fuoriesce proprio a monte del fabbricato, in diversi punti, la quale viene raccolta da un vecchio cunicolo drenante ancora in uso (Foto 9, 10 e 11).

Il sondaggio ha intercettato un'ulteriore falda acquifera a circa 23 metri di profondità, pari ad una quota intorno ai 219 m s.l.m.; questa falda risulta sospesa tra facies a permeabilità diversa, come quella rinvenuta a monte dell'edificio.

La falda acquifera basale delle vulcaniti, invece, è segnalata in quest'area alla profondità di oltre 70 metri dal piano campagna, con fenomeni di risalita della stessa molto ridotti e direzione di flusso idrico orientata verso sud, ad una quota assoluta di circa 170 metri s.l.m. (fig.14).

Dal punto di vista idrologico è necessario tenere conto delle modificazioni morfologiche subite dalla zona in esame, le quali hanno sicuramente interessato anche l'equilibrio idraulico del terreno in esame.

E' stata, infatti modificata la morfologia naturale della valle, con la realizzazione di rilevati e scavi lungo l'impluvio che attraversava l'area oggi occupata dal campo sportivo e dalla piazza G. Di Vittorio.

Le acque superficiali provenienti da monte tendono a scorrere velocemente verso il piazzale intorno alla palazzina esistente, dotato di rete fognaria.

Il ramo del fosso Chiarano che incide la valle, data la distanza notevole, le sue caratteristiche idrauliche e la differenza di quota, non coinvolge in alcun modo l'area in esame.

La piovosità media annua della zona si attesta intorno ai 1.000 mm/annui, con un'infiltrazione efficace del 30%.



Foto 9 e 10 - venute d'acqua lungo il pendio a monte dell'edificio



foto 11– antico fontanile con cunicolo drenante a nord dell’edificio

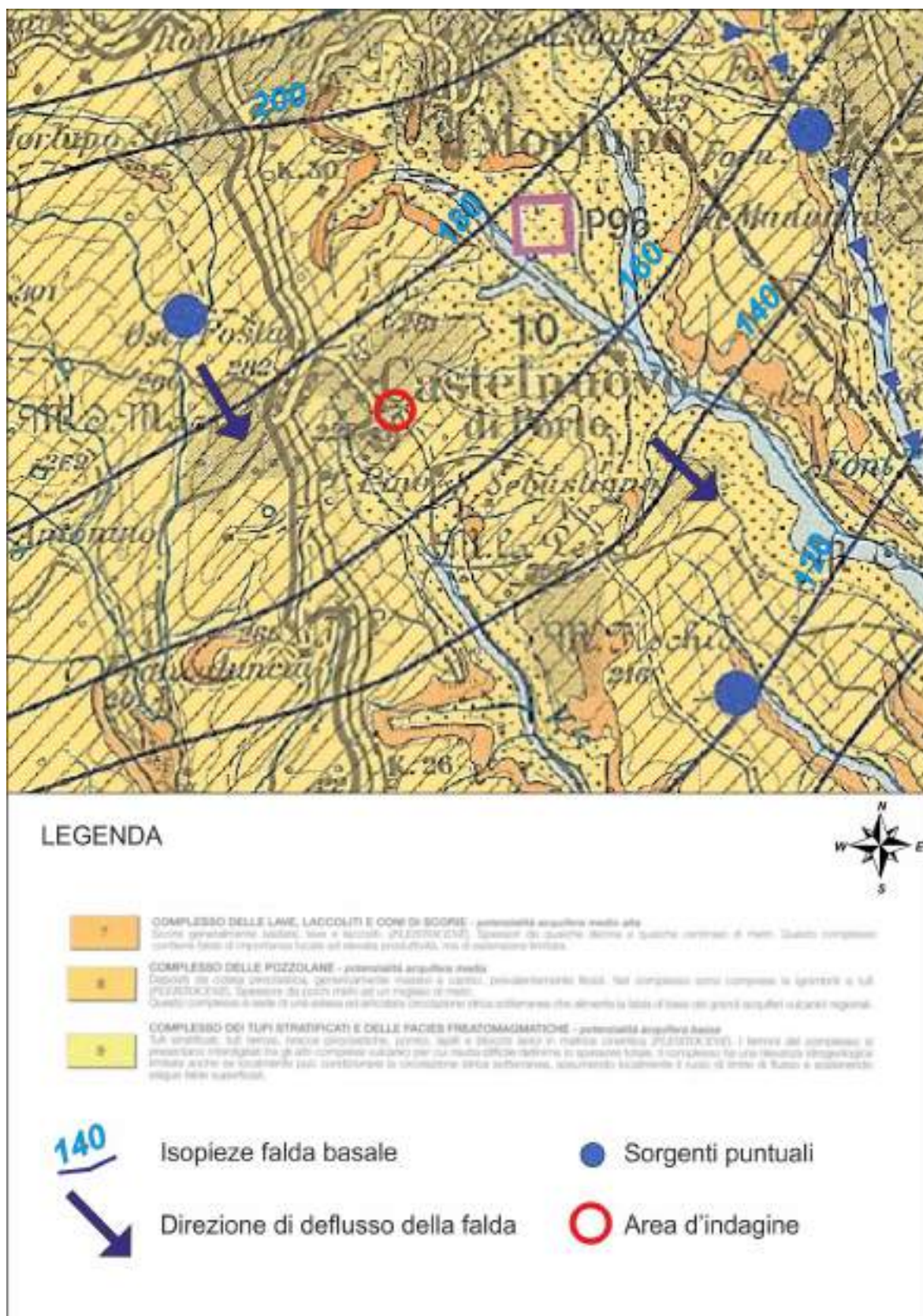


Fig.14 - Carta Idrogeologica Regione Lazio scala 1:50.000

7) Pericolosità sismica e Risposta Sismica Locale

7.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

Dal punto di vista sismico, l'INGV ha suddiviso il territorio nazionale in zone sismogenetiche; il territorio comunale di Castelnuovo di Porto, che ricade nella zona ZS 42, orientata in direzione nord ovest - sud est, è stato interessato da diversi terremoti, con epicentri localizzati prevalentemente lungo la fascia appenninica.

In base all'O.P.C.M. n°3274 ed alla sua parziale modifica da parte della Regione Lazio (D.G.R. n. 387 del 22/05/2009) il comune è stato classificato in zona 3A.

Al fine di evidenziare gli eventi sismici che hanno raggiunto il sito, sono stati estratti i terremoti dal Catalogo INGV – DBMI 15, dove si riportano le intensità sismiche I_s che hanno raggiunto il comune di Castelnuovo di Porto di tutti i principali eventi catalogati, per i quali vengono indicati l'anno, l'area epicentrale e le intensità sismiche all'epicentro I_0 .

Il terremoto che ha raggiunto la zona con maggiore intensità ($I_s 7^\circ$ MCS) fu quello con epicentro nella Marsica del 1915 (fig. 15).

Il comune di Castelnuovo di Porto è dotato di uno studio validato di Microzonazione Sismica di 1° Livello (MS1) e risulta in zona stabile suscettibile di amplificazione sismica, in zona 4, contraddistinta da una serie di tufi stratificati e litoidi fino a 30 metri (fig. 16).

Il comune di Castelnuovo di Porto non si trova in prossimità di faglie sismogenetiche, come indicato nella cartografia ISPA – INGV (fig. 17), da cui si evince che la faglia attiva più vicina è localizzata ad oltre 20 km a nord nord est.

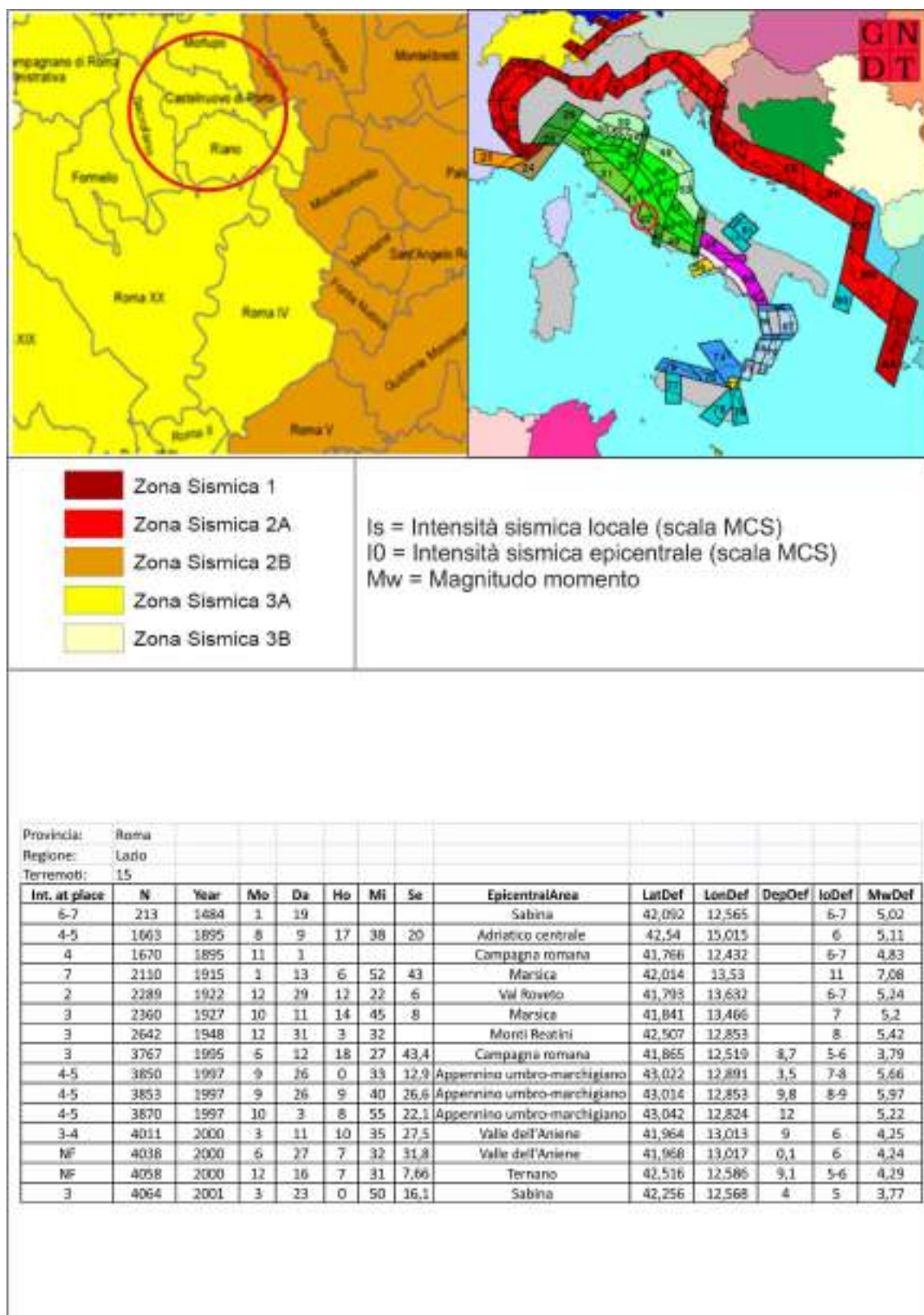


Fig. 15 -Sismicità del comune di Castelnuovo di Porto

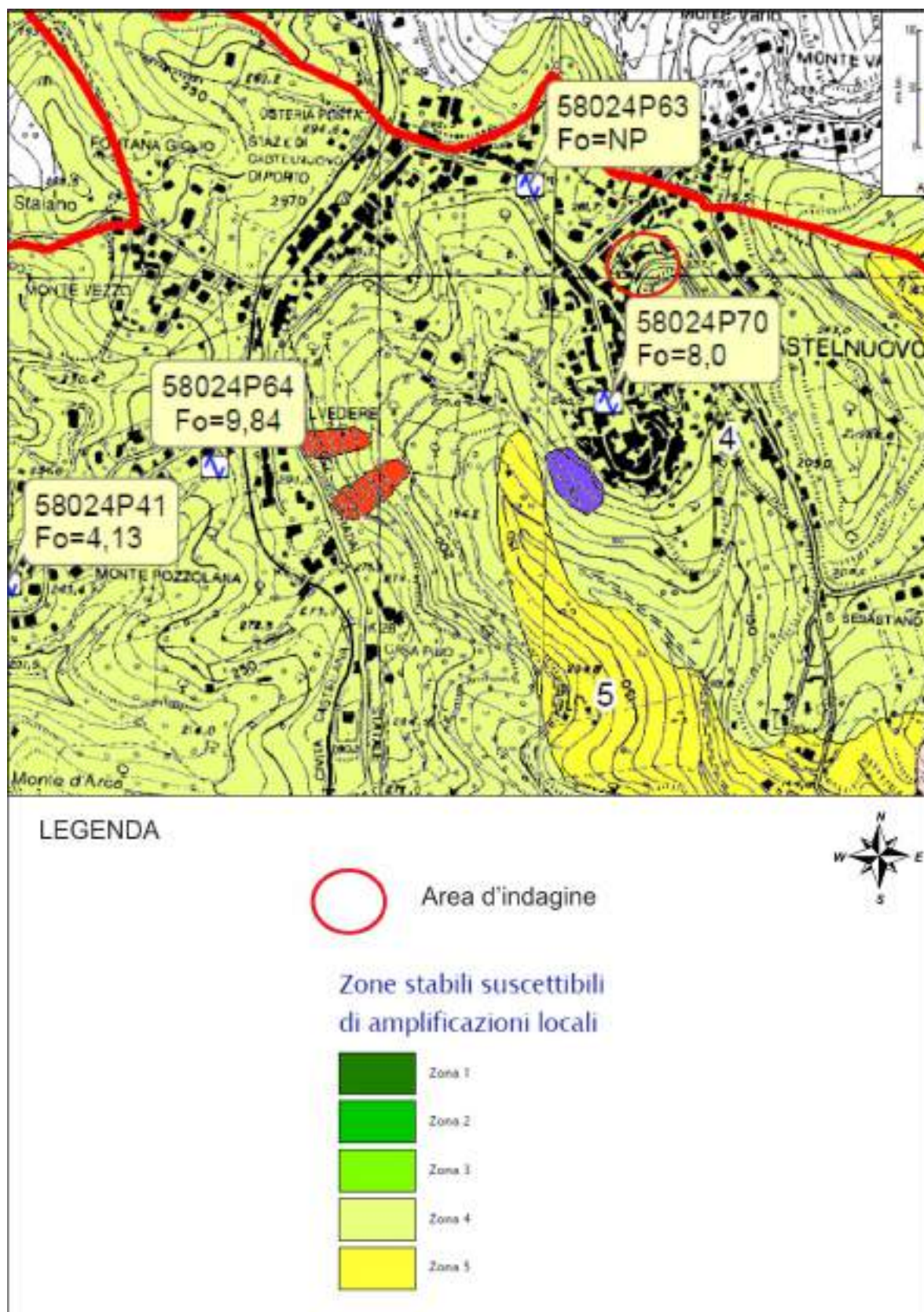


Fig. 16– Carta MOPS Castelnuovo di Porto – scala 1:10.000

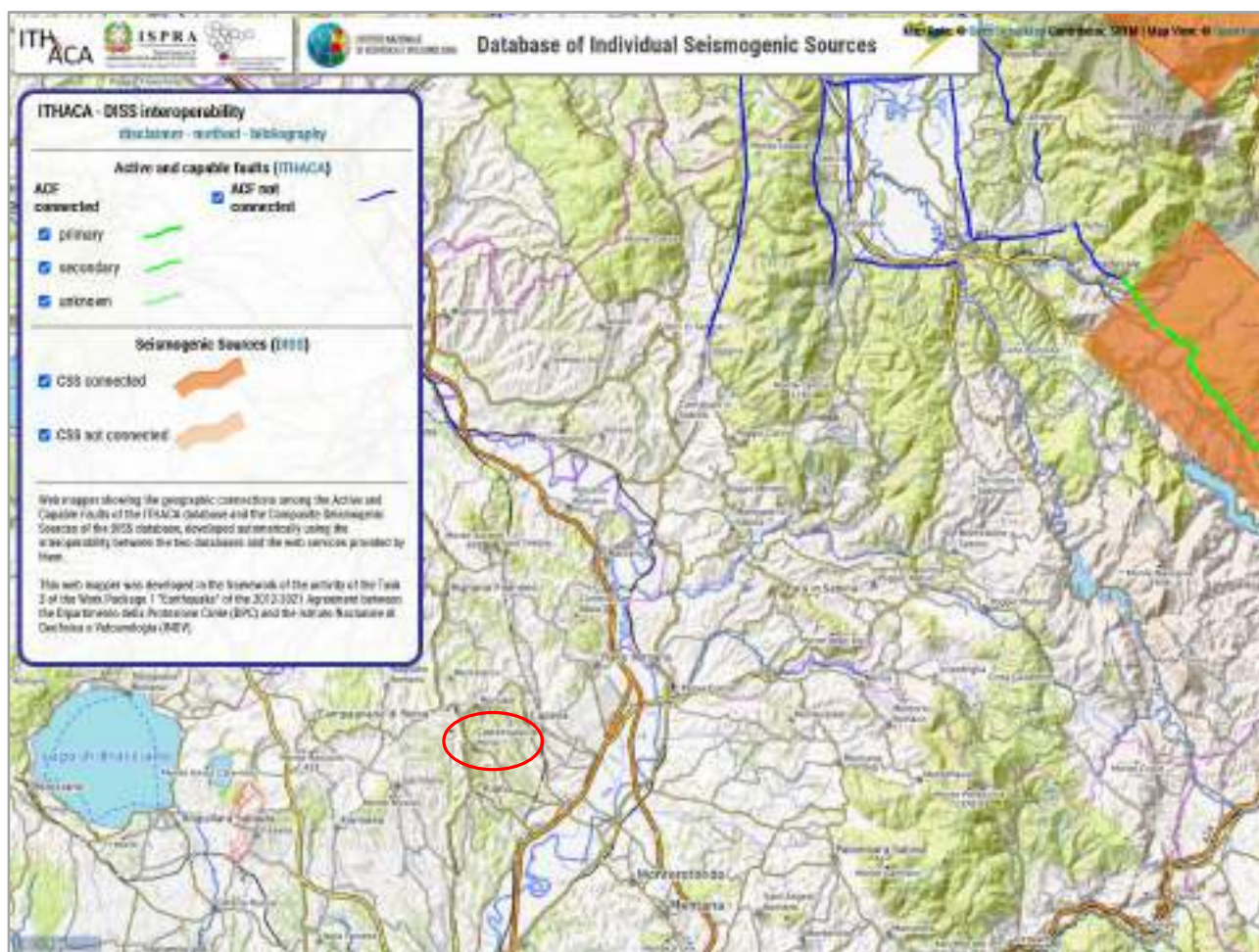


Fig. 17 – Carta faglie sismogenetiche ISPRA

Al fine di classificare correttamente il sito, secondo quanto previsto dalla normativa vigente (NTC 2008 e OPCM n. 3274), sono state eseguite due indagini sismiche tipo Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves) ed una prova Down Hole.

Le MASW (fig.18-19) hanno mostrato un valore di $V_{s,eq} = 380$ e 377 m/s mentre il DH ha evidenziato una $V_{s,eq} = 371$ (fig. 10a-b) pertanto il sito ha un valore medio di $V_{s,eq} = 373$ m/s e può essere inserito nella categoria di **suolo B**.

Dal punto di vista topografico la scuola ricade in un'incisione fluviale notevolmente

modificata nel tempo lungo un pendio dotato di una pendenza media intorno al 33 % (circa 18°), che ricade in categoria topografica T2.

Categoria topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera	S_t
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$.	-	1,00
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$.	Sommità del pendio	1,20
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,20
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$.	Cresta del rilievo	1,40

CLASSIFICAZIONE SISMICA SUOLI – OPCM N.3274

Classe	Descrizione	S_s
B	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 fra 360 m/s e 800 m/s.	$1,00 \leq 1,40 - 40 F_0 a_{\text{bedrock}} \leq 1,20$

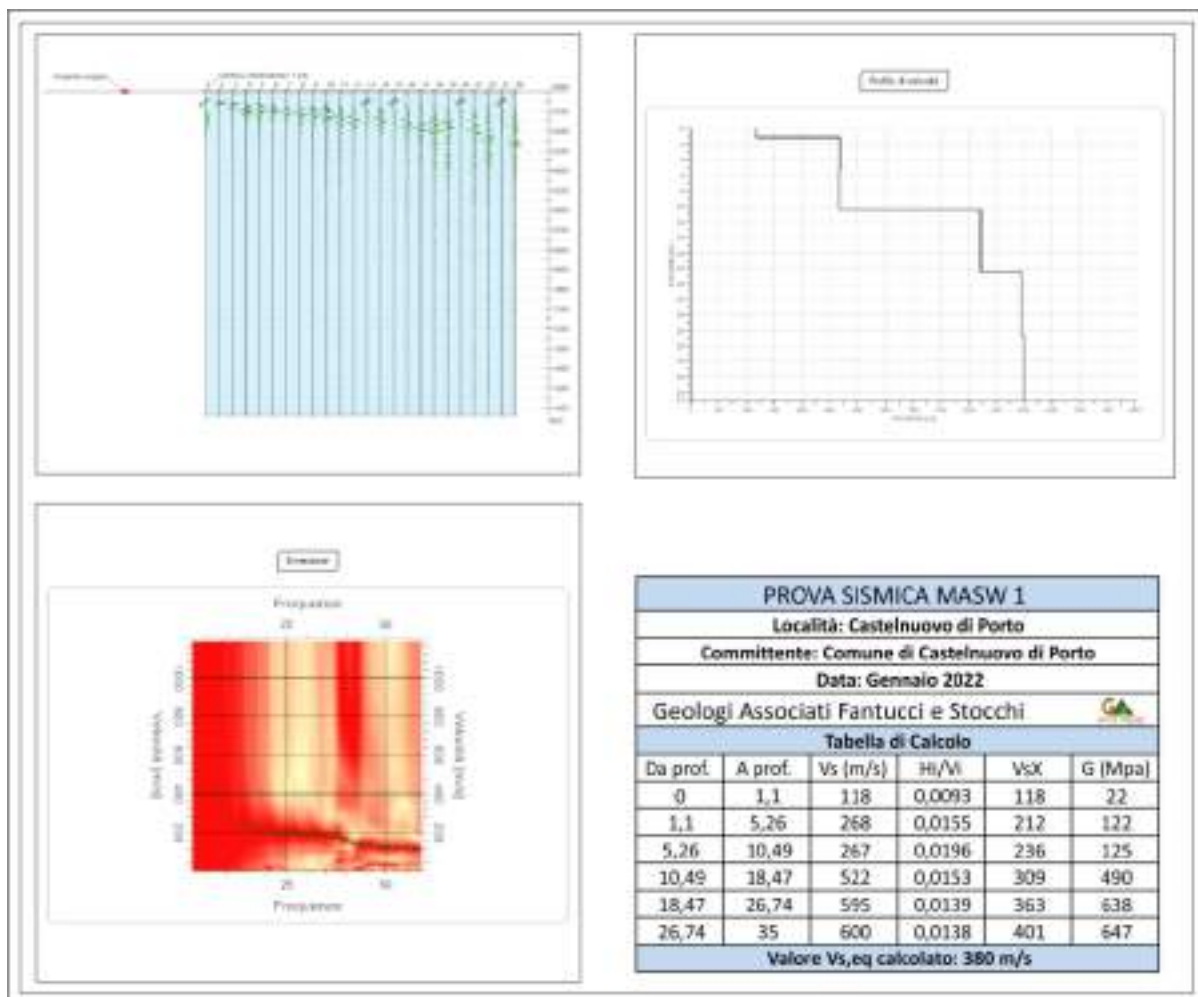


Fig. 18 - Masw 1

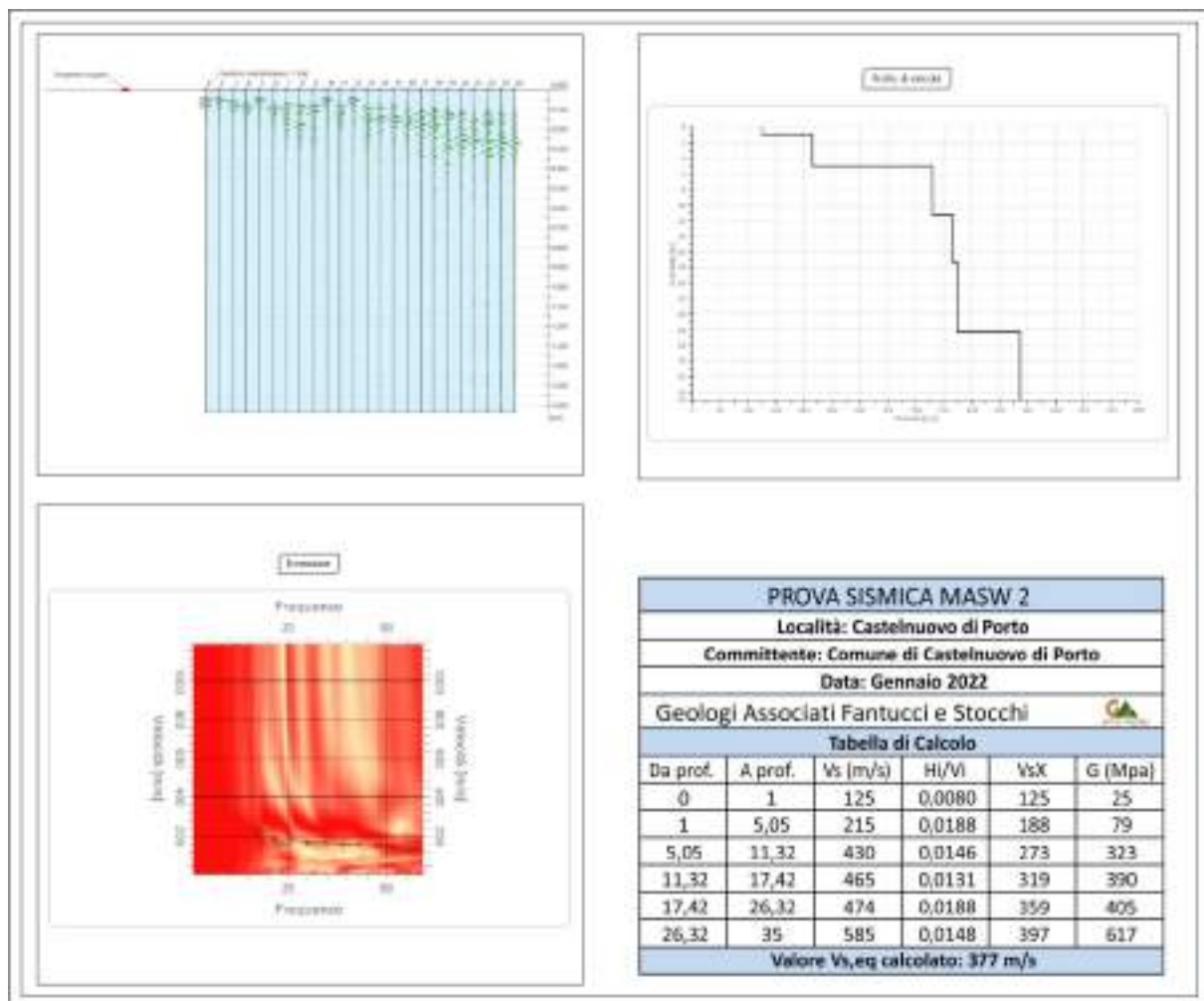
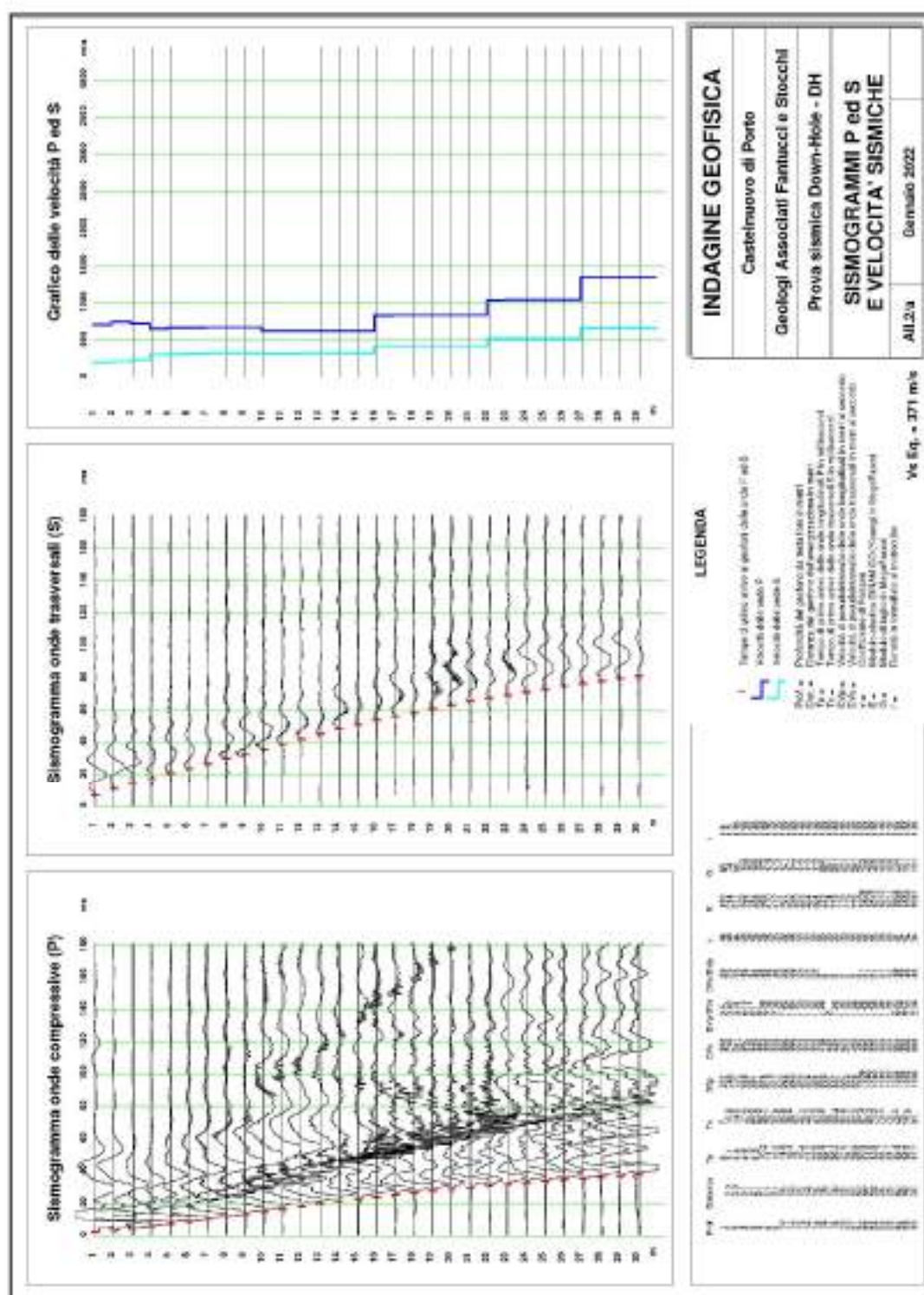


Fig. 19 - Masw 2



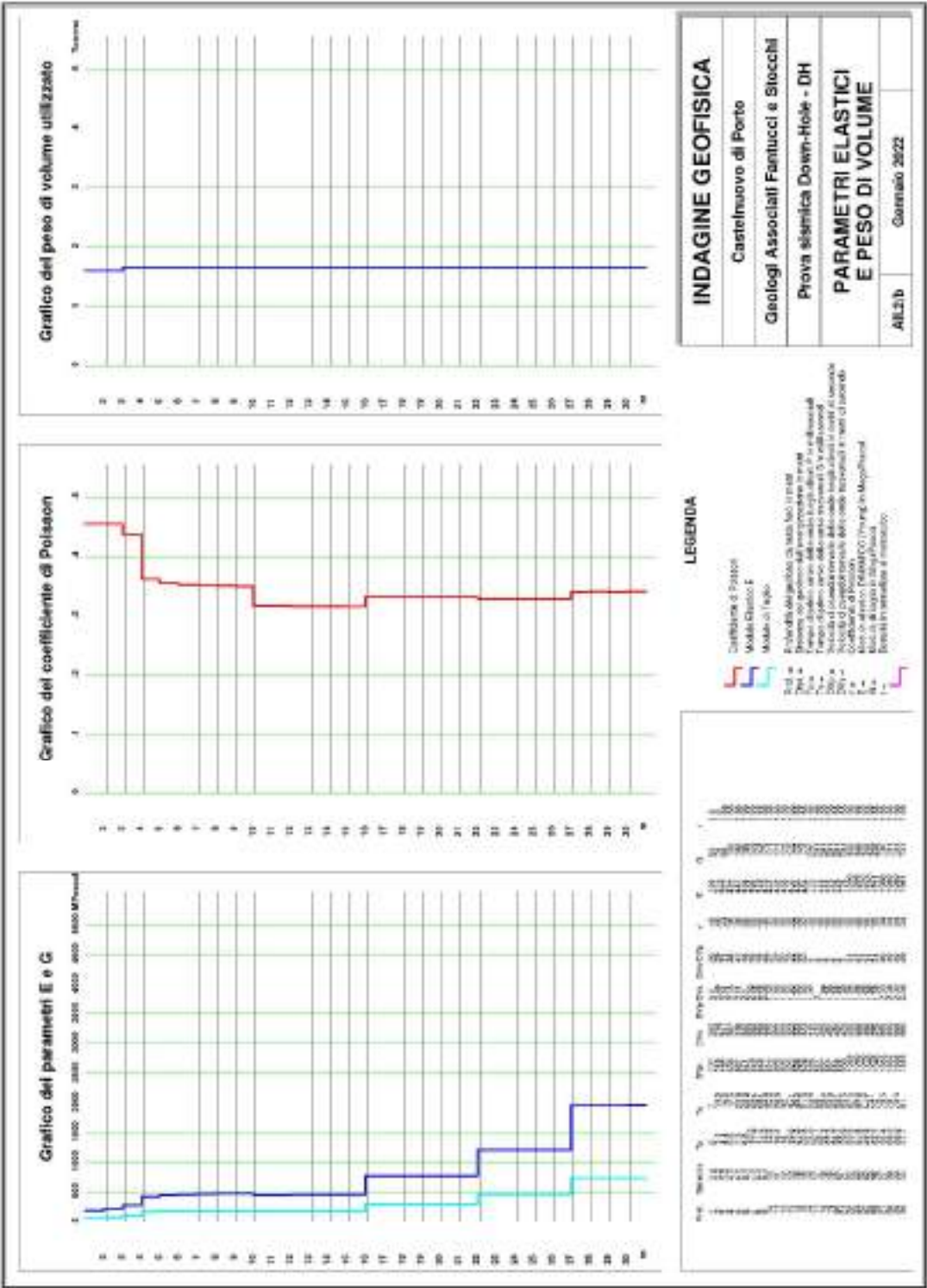


Fig. 20 a-b –Down Hole

E' stata inoltre eseguita una prospezione sismica passiva con il metodo HVSr (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) che misura il rumore sismico ambientale.

I risultati, visibili in allegato (fig. 21), ottenuti mediante l'impiego di un geofono triassiale SARA ed elaborati con software dedicato, hanno evidenziato un picco a circa 8,4 Hz.

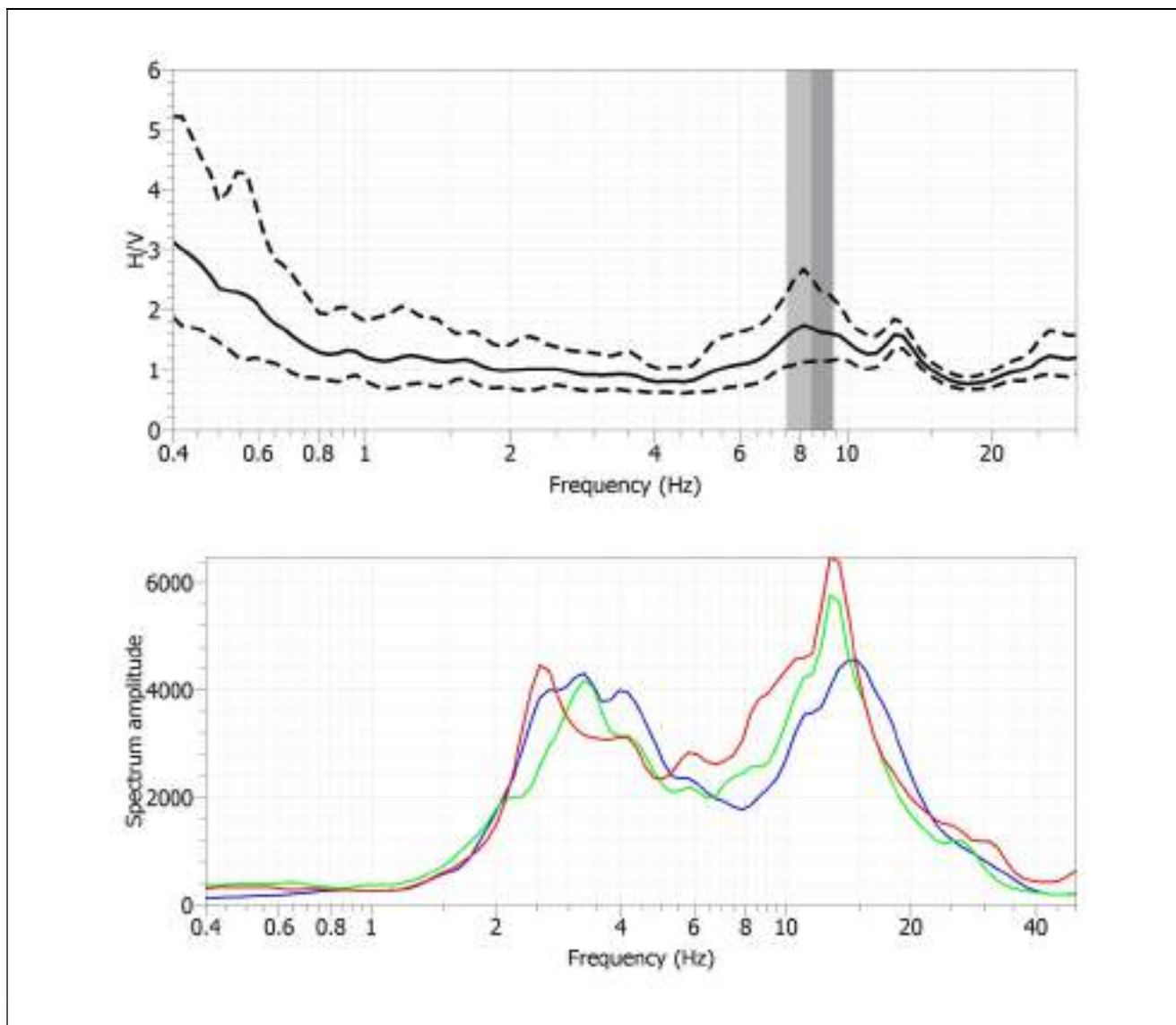


Fig. 21– Grafico H/V

Nella definizione della pericolosità sismica locale sono stati considerati i dati del progetto S1 INGV del sito in esame dotato delle seguenti coordinate geografiche Lat N 42,128263° Long. E 12,501449°.

Il calcolo dei coefficienti sismici è stato condotto in relazione al tipo d'opera (classe d'uso e vita nominale), categoria di suolo e classificazione topografica; per il comune è stata adottata la classe d'uso III.

- **CLASSE III**
- **SUOLO B**
- **ASSETTO TOPOGRAFICO: T2**
- **VITA NOMINALE VN = 50 ANNI**
- **VITA REALE VR = 75 ANNI**

Nella seguente tabella dei parametri sismici, sono evidenziati in neretto i valori relativi agli SLO, SLD ed SLV (Stato Limite Operativo, Danno e Vita – TR 45, 75 e 712 anni) per il quale si è proceduto ad effettuare la RSL (Risposta Sismica Locale).

TABELLE PARAMETRI SISMICI DI SITO

STATO LIMITE	Tr (Anni)	a_g (g)	F_0	T_c^* (s)
SLO	45	0,047	2,585	0,268
SLD	75	0,056	2,612	0,285
SLV	712	0,119	2,598	0,335
SLC	1462	0,150	2,569	0,344

	Classe d'uso	I	II	III	IV
	Coefficiente C_u	0,70	1,00	1,50	2,00
TIPI DI COSTRUZIONE	V_N	V_R			
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	10	35	35	35	35
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza	50	35	50	75	100
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	100	70	100	150	200

7.2R.S.L. (PROCEDURA DI CALCOLO)

La procedura di calcolo adoperata nella risposta sismica locale 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:
- 3) Stima della funzione di trasferimento;
- 4) Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
- 5) 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;

- 6) 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

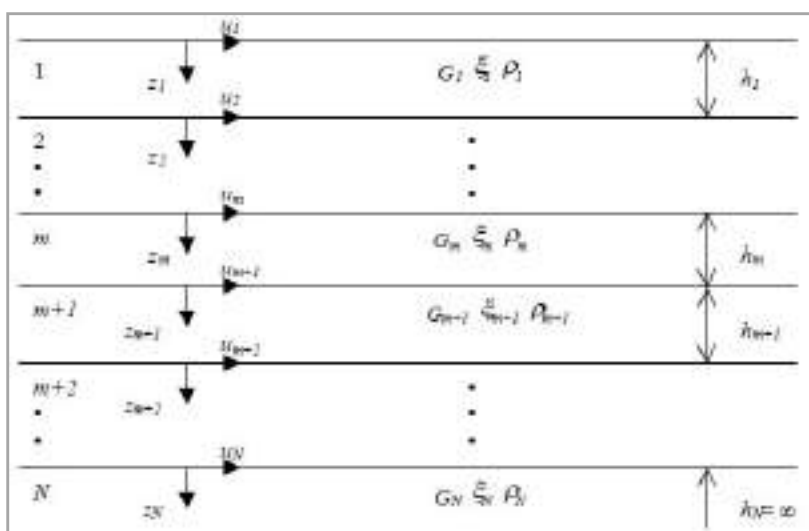
$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

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:

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



Esempio stratigrafia di 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:

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

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

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

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

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:

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

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

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:

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

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 e m :

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

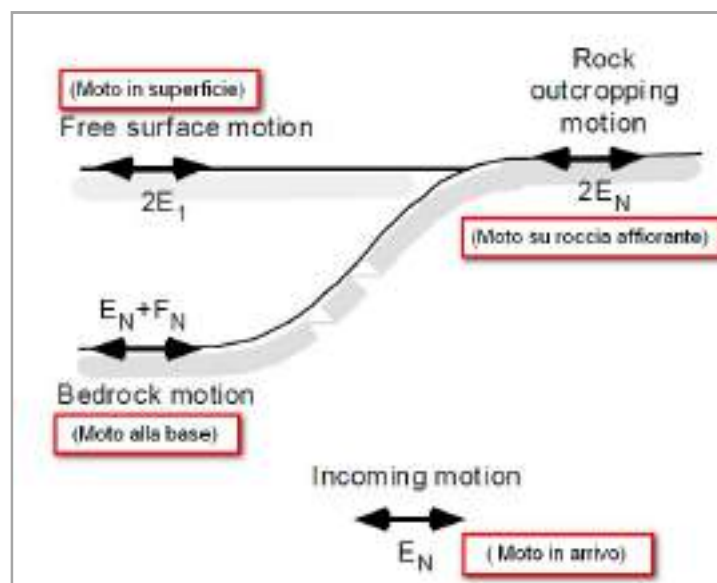
La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

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

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 nella seguente figura in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.



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:

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

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

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

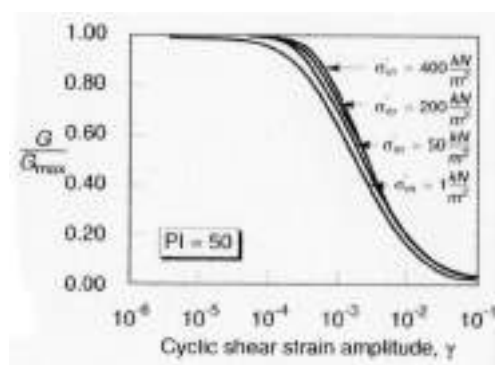
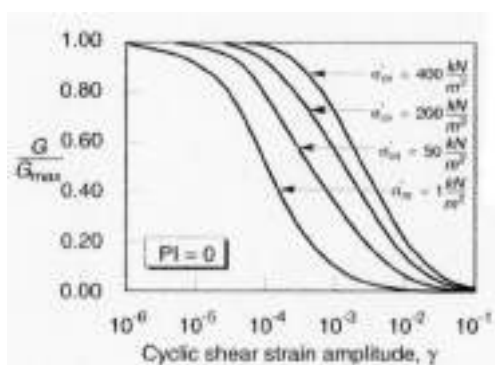
$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

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.

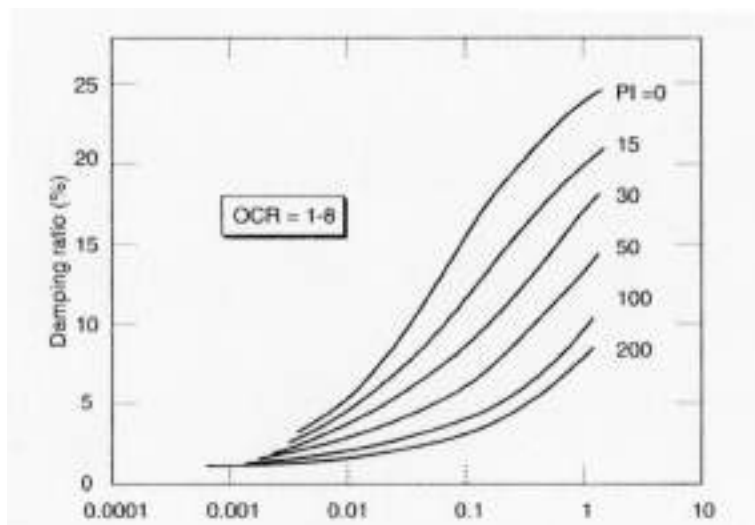


Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

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



Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso

La scelta del moto sismico di input è stata effettuata per il sito utilizzando sette accelerogrammi spettrocompatibili estratti con il programma REXELite (Iervolino I., Galasso C., Paolucci R., Pacor F. 2011) dall'Italian Accelerometric Archive, inserendo come parametri del sito un'opera di classe III, una m_w compresa tra 4,0 e 5,5 con una distanza dall'epicentro compresa tra 0 e 55 km per lo SLO, m_w tra 4,0 e 6,0 con distanza 0 – 60 km per lo SLD, mentre per lo stato SLV la m_w è compresa tra 4.0 e 6.5 ad una distanza tra 0 e 65 km (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) (fig. 22).



Fig.22 – Grafici di disaggregazione SLO-SLD-SLV

Per poter utilizzare i suddetti accelerogrammi, è stato necessario scalarli in funzione del valore di **PGA (Peak Ground Acceleration) (a_g)** riportato di seguito, nelle tabelle dei parametri sismici del sito.

7.3 RISULTATI R.S.L.

Nel sito in oggetto è stata raggiunta una velocità superiore ai 700 m/s, a una profondità di 40 m, associabile, molto probabilmente, a un tufo molto compatto/litoide.

Di seguito viene allegata la Tabella 1 dei dati di input della RSL, con i relativi strati, profondità e spessori (m), associati alle Vs (m/s) ed ai valori dei pesi di volume naturale (KN/m^3) stimati dalla bibliografia e dalle prove di laboratorio oltre ai parametri sismici di riferimento.

Tabella 1 – Dati Input RSL

Strato	Prof. tetto (m) dal p.c.	Spess. (m)	Densità (KN/m^3)	Vs (m/s)	Litologia
1	0	15	16,2	322	Tufo avana addensato
2	15	6	16,8	420	Tufo avana ben addensato
3	21	5	17	525	Tufo avana ben addensato
4	26	14	17,5	665	Tufo addensato
5	40	-	19,0	700	Tufo compatto

La risposta sismica locale ha permesso quindi di ricostruire lo spettro di risposta del moto atteso in sito in base all'input di riferimento (accelerogrammi) ed alle proprietà sismiche del sito (Vs) a partire dalla profondità di imposta delle fondazioni stimata a circa **3 m dal p.c. (circa 239 m s.l.m.)**

GRAFICO TERREMOTI ESTRATTI DA ITALIAN ACCELEROMETRIC ARCHIVE (SLO)

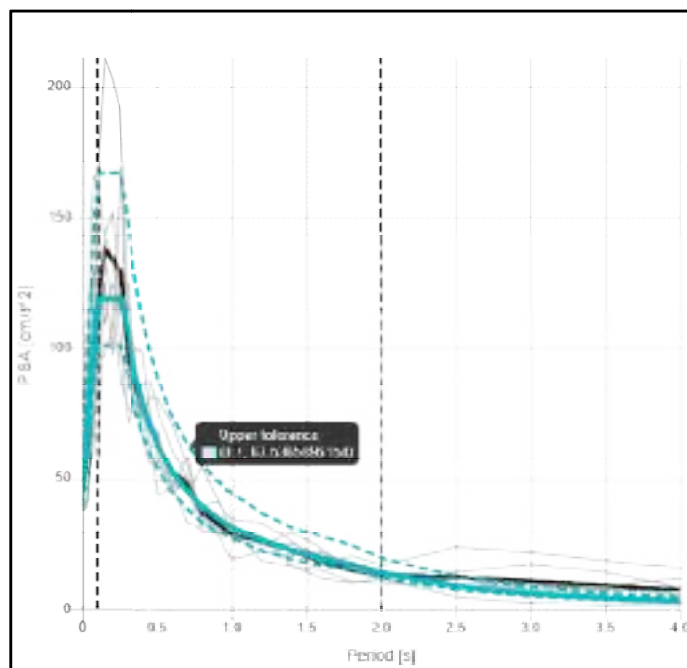


GRAFICO TERREMOTI ESTRATTI DA ITALIAN ACCELEROMETRIC ARCHIVE (SLD)

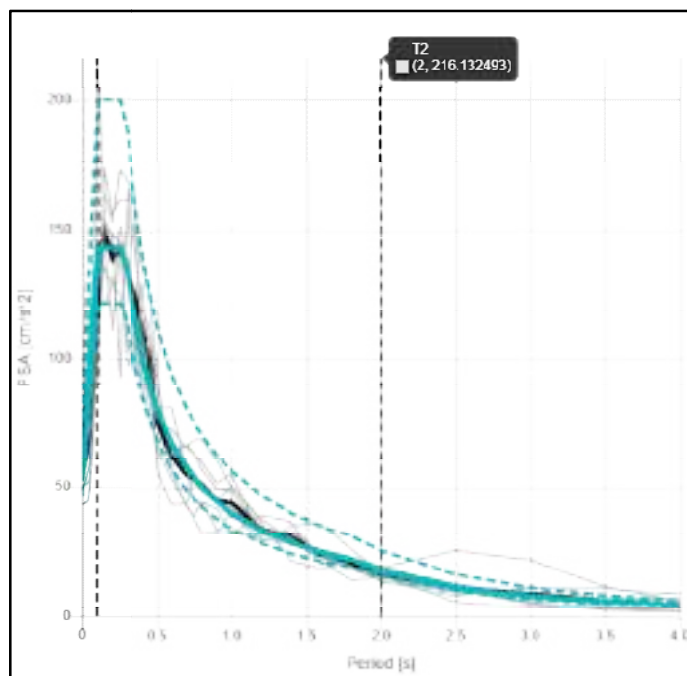
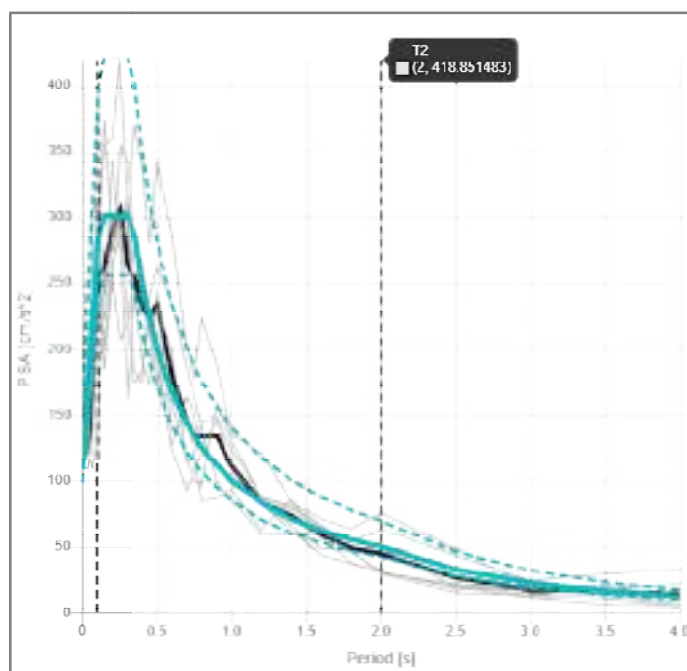
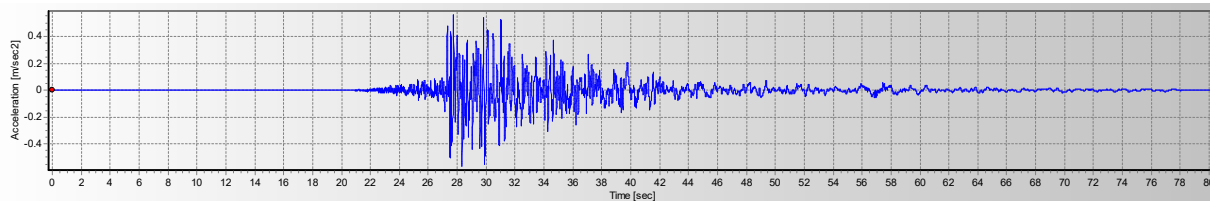
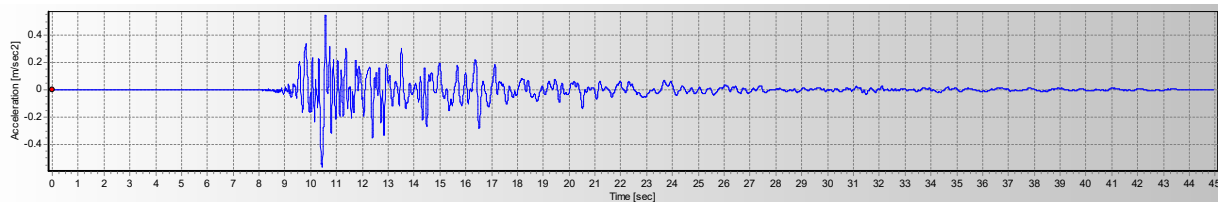


GRAFICO TERREMOTI ESTRATTI DA ITALIAN ACCELEROMETRIC ARCHIVE (SLV)

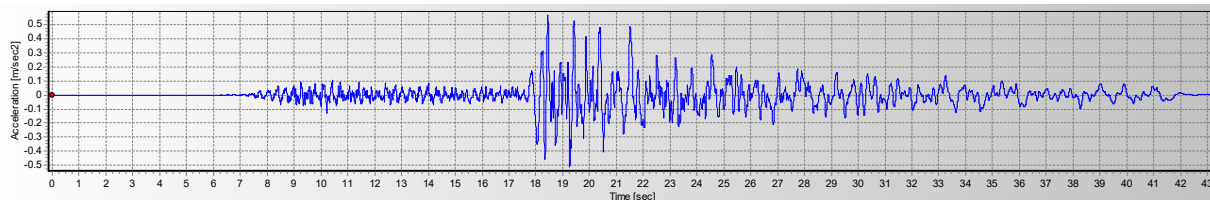
Di seguito vengono allegati i grafici degli *accelerogrammi al bedrock* utilizzati per la RSL, relativi agli SLO, SLD e SLV.

Accelerogrammi al bedrock – SLO (Fattore di scala medio 1,21)

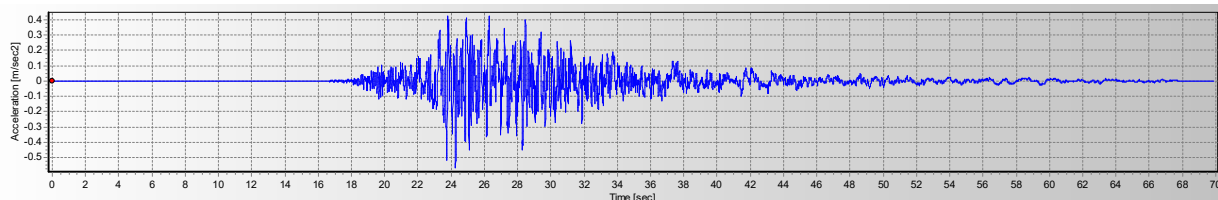
3A.MZ63..HNN.D.EMSC-20161026_0000095- Fattore di scala 1,47



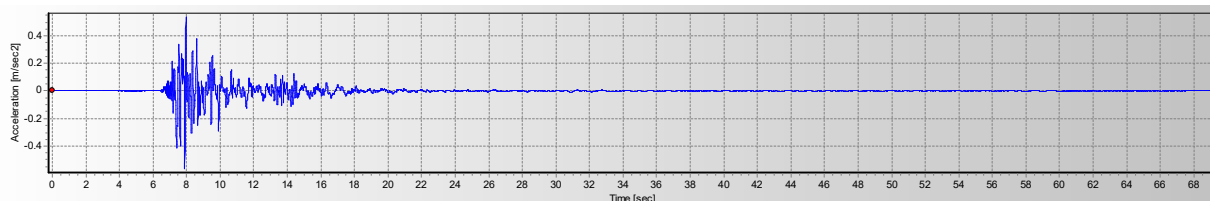
HL.ARIA.00.HNE.D.EMSC-20140921_0000002- Fattore di scala 1,25



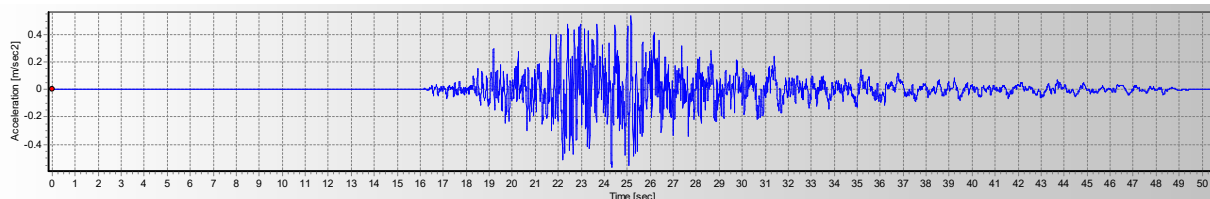
IT.FBR.00.HGN.D.EMSC-20160824_0000006- Fattore di scala 1,49



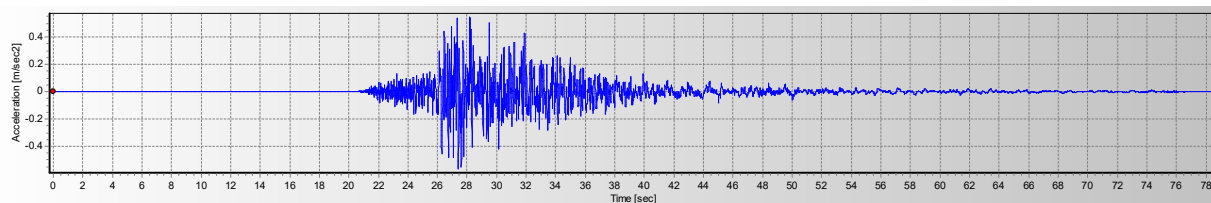
IT.LSS.00.HGE.D.EMSC-20161030_0000029- Fattore di scala 1,22



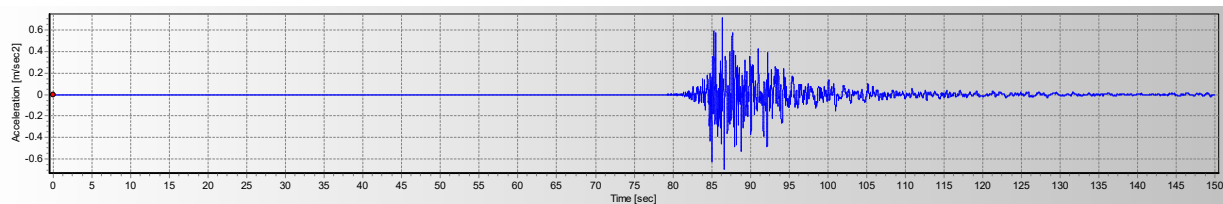
IT.NRC.00.HGN.D.EMSC-20160903_0000009- Fattore di scala 0,70



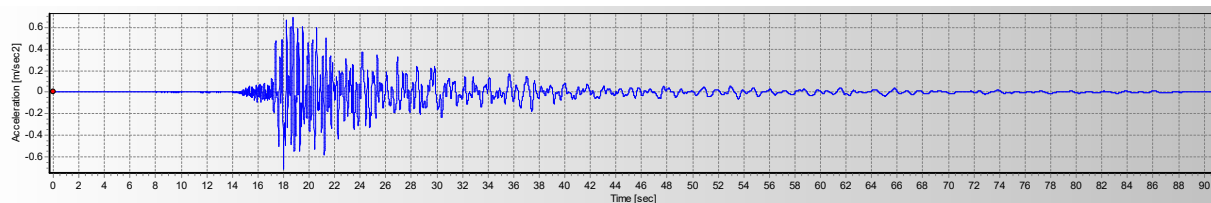
IT.SNO.00.HGN.D.EMSC-20161026_0000095 - Fattore di scala 1,32



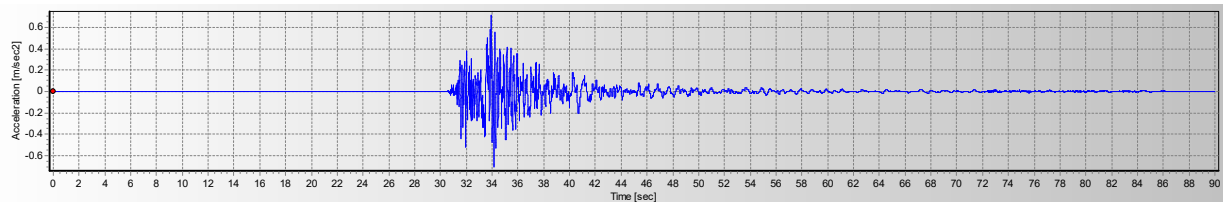
IV.TERO..HNE.D.EMSC-20160824_0000006- Fattore di scala 1,02

Accelerogrammi al bedrock – SLD (Fattore di scala medio 1,28)

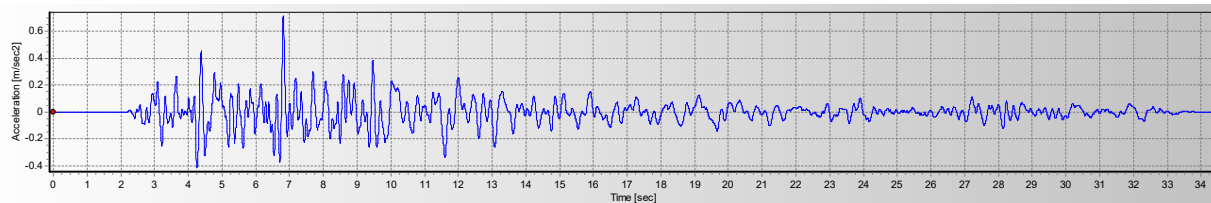
3A.MZ102..HNN.D.EMSC-20161026_0000095- Fattore di scala 1,42



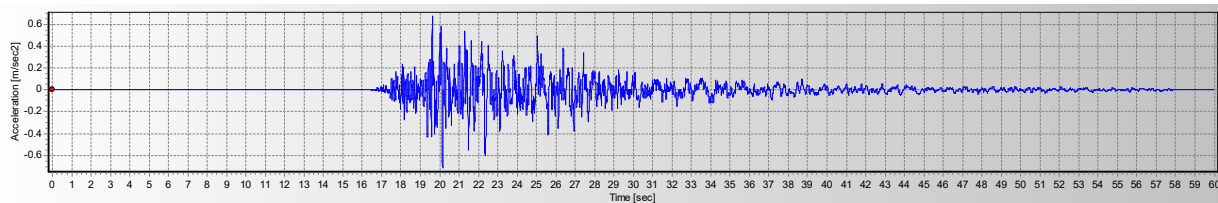
IT.B0J.00.HGE.D.IT-2013-0019- Fattore di scala 1,64



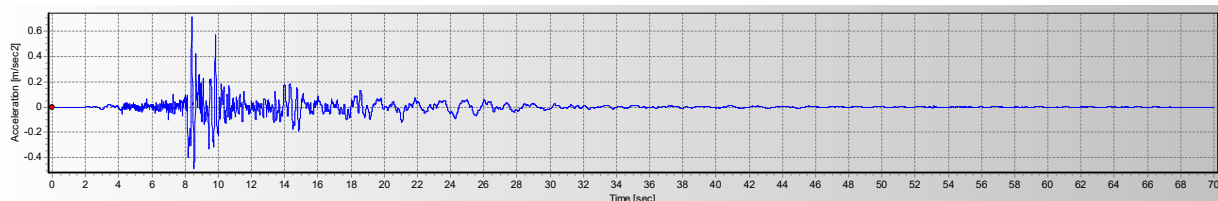
IT.BZZ.00.HNE.D.IT-2009-0102- Fattore di scala 1,36



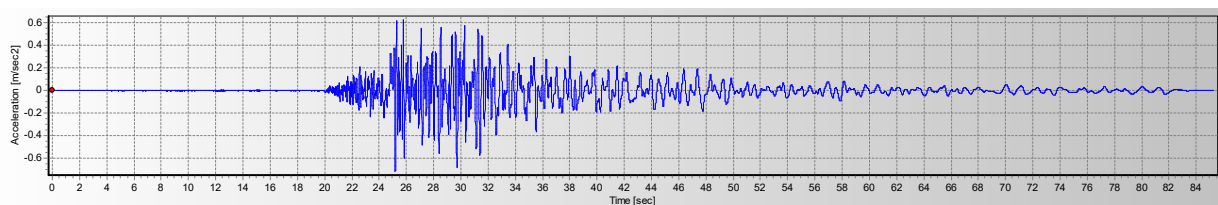
IT.PNT.00.HNE.D.IT-1984-0004 - Fattore di scala 1,07



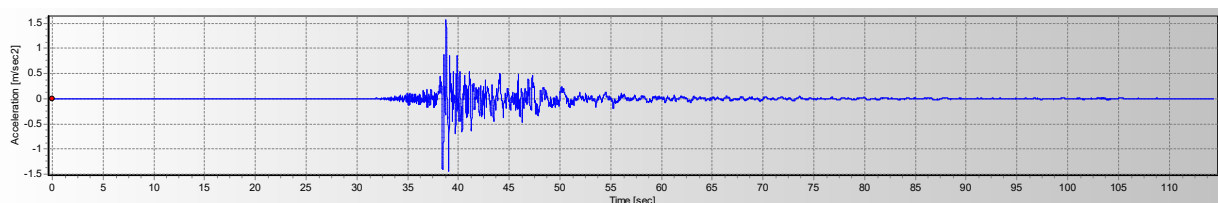
IT.SLO.00.HGN.D.EMSC-20161026_0000095- Fattore di scala 1,12



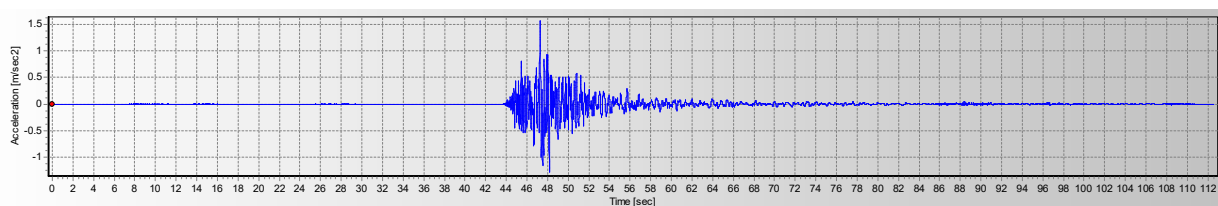
IV.T0824..HNN.D.IT-2012-0032- Fattore di scala 0,93



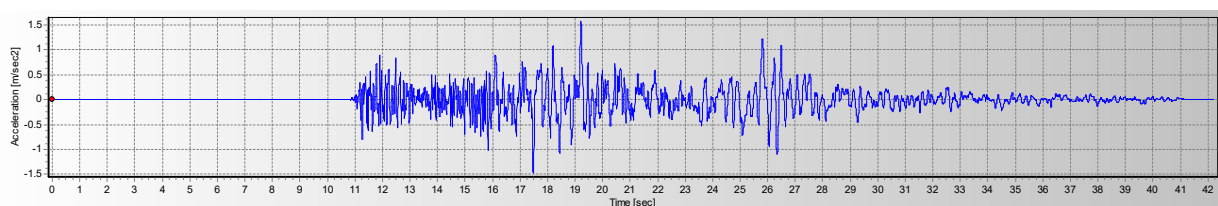
KO.ERCV..HNE.D.EMSC-20200403_0000055- Fattore di scala 1,43

Accelerogrammi al bedrock – SLV (Fattore di scala medio 1,31)

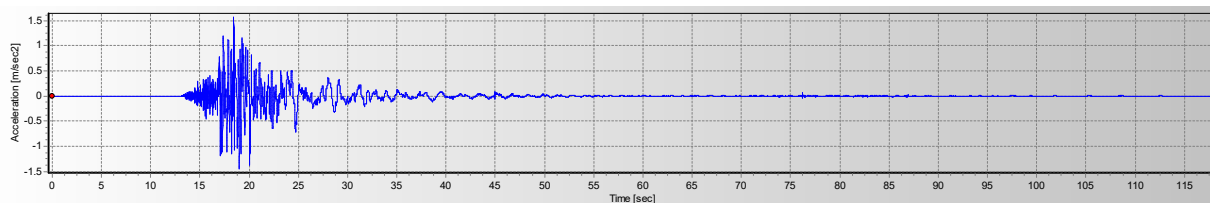
3A.MZ51..HNE.D.EMSC-20161026_0000095 - Fattore di scala 1,36



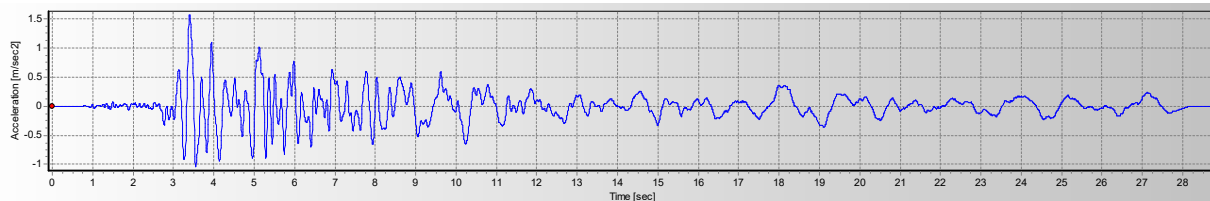
4A.MI03..HNE.D.IT-2009-0102 - Fattore di scala 1,20



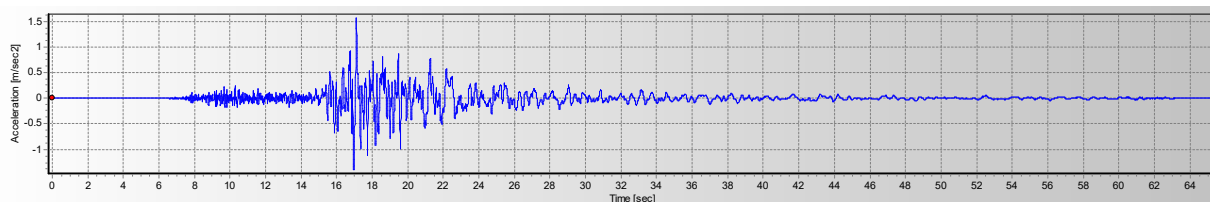
A.C1062.00.HNN.D.TK-1999-0415– Fattore di scala 1,35



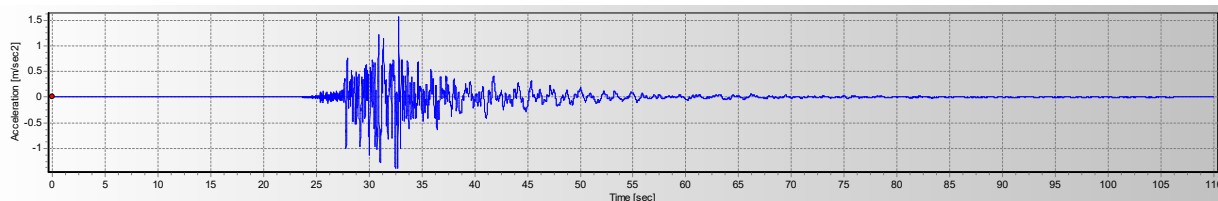
IT.CRP.00.HNN.D.IT-2012-0010 - Fattore di scala 1,38



IT.CSA.00.HNN.D.IT-1997-0091 - Fattore di scala 1,44



IT.TLN.00.HGE.D.EMSC-20160824_0000006 - Fattore di scala 1,34

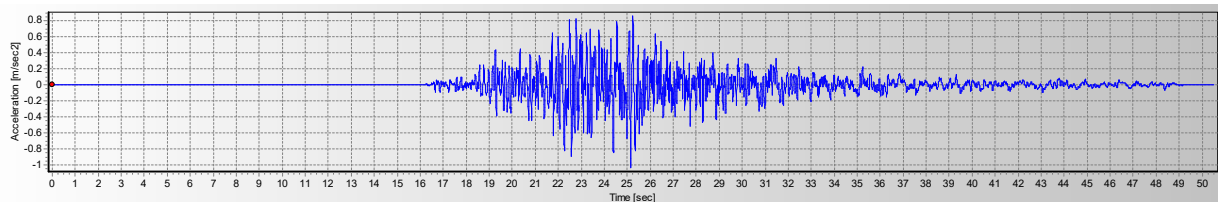
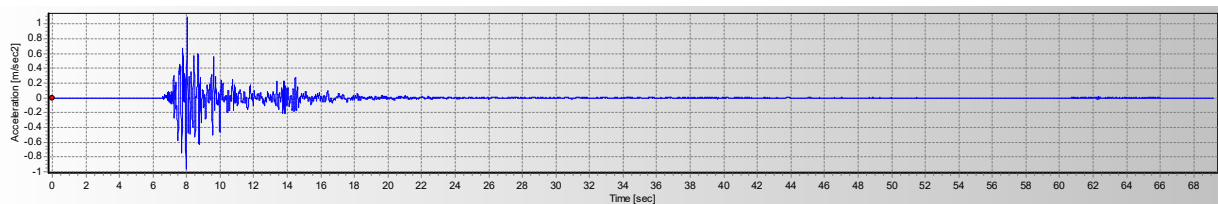
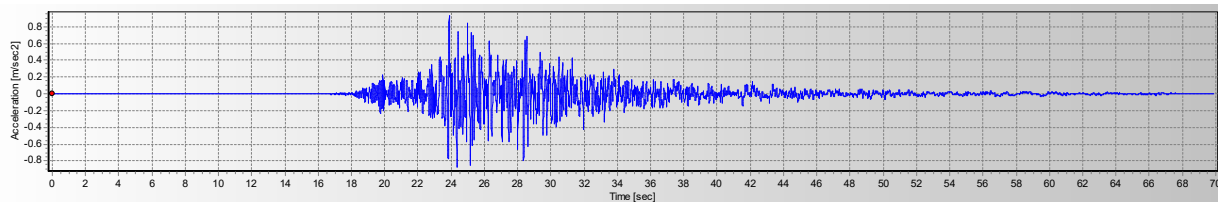
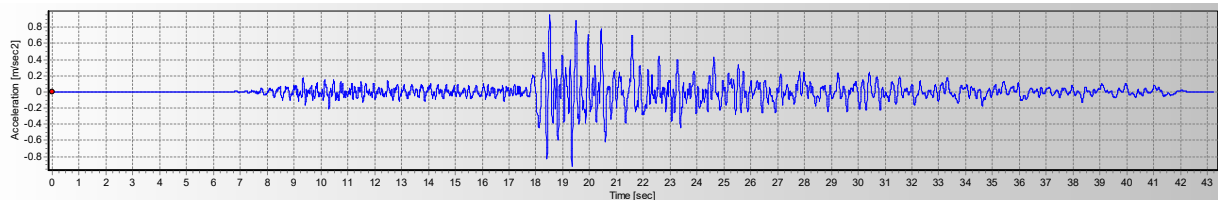
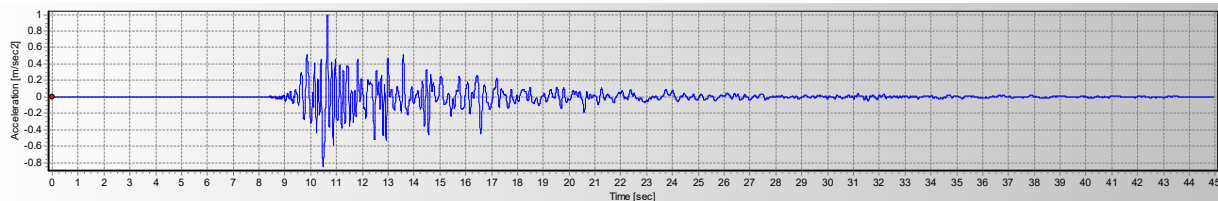
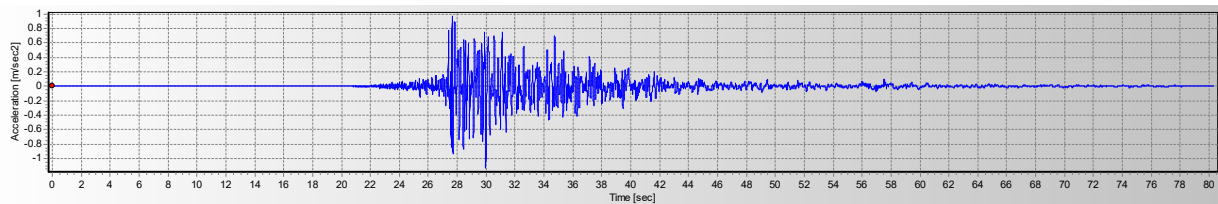


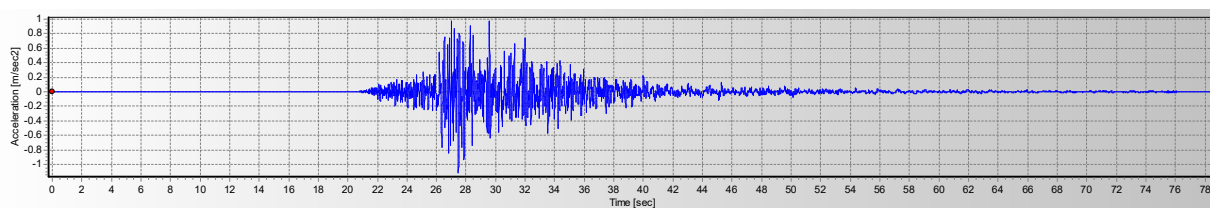
IV.T0824..HNN.D.IT-2012-0011 - Fattore di scala 1,10

Dai risultati dell'esame di RSL sono stati adottati i sette spettri tramite il codice di calcolo STRATA.

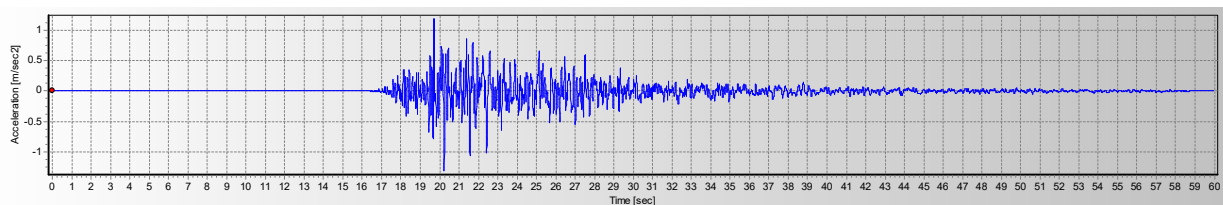
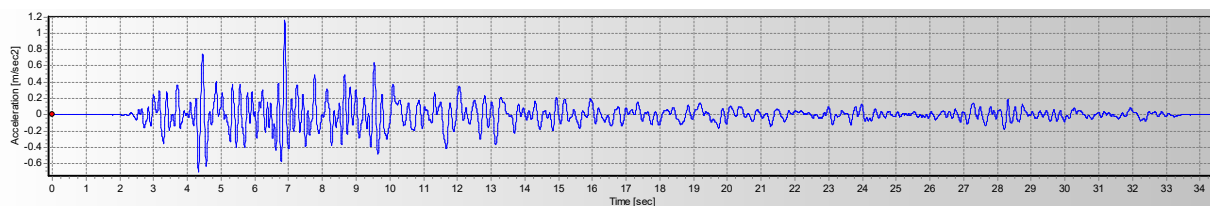
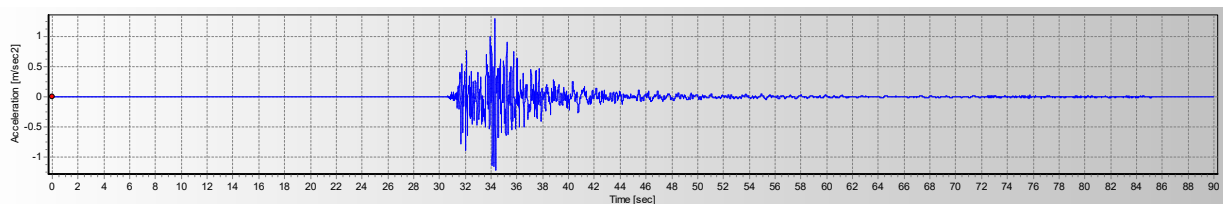
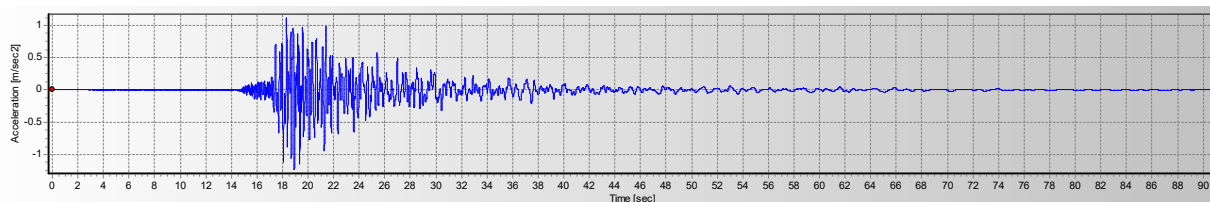
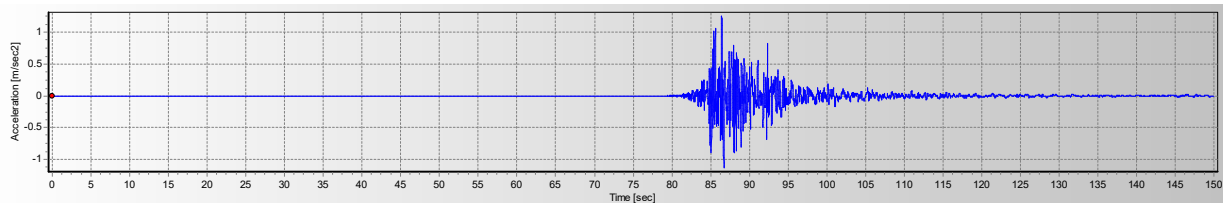
Il programma ha fornito i seguenti *accelerogrammi di output in superficie* relativi agli stati limite considerati (SLO, SLD, SLV).

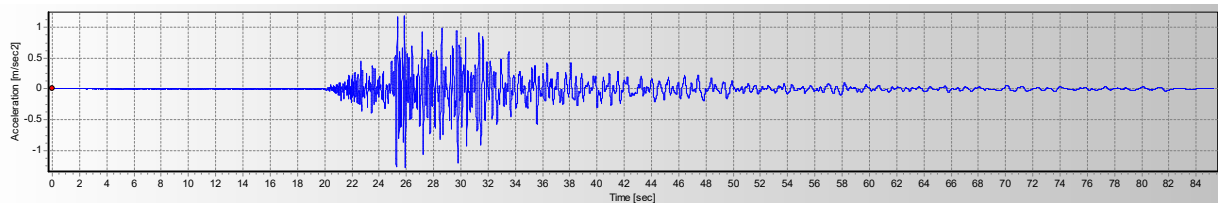
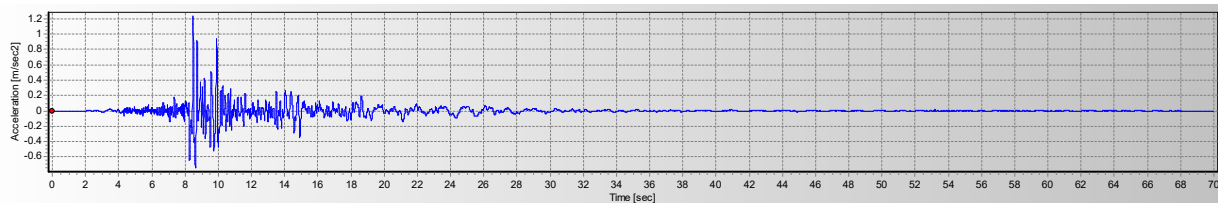
Accelerogrammi da RSL in superficie – SLO



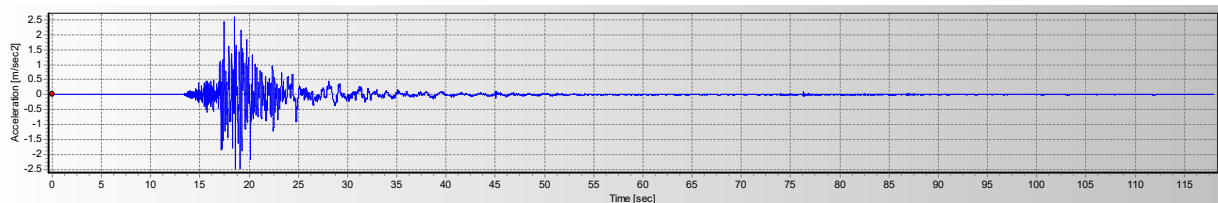
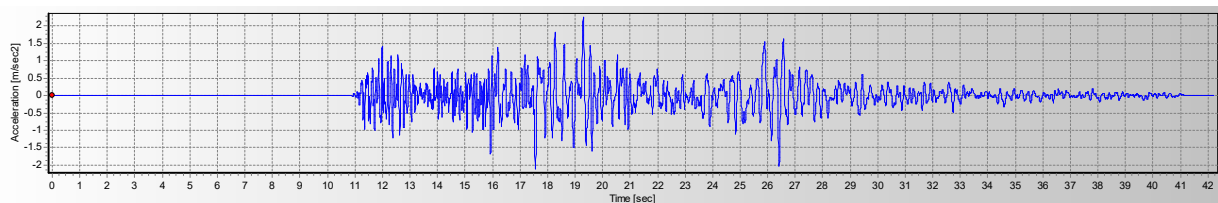
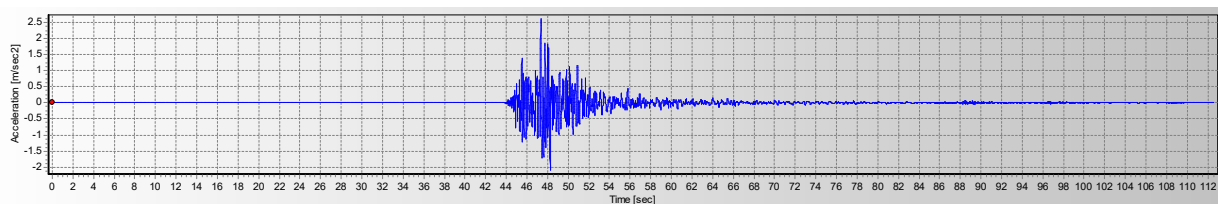
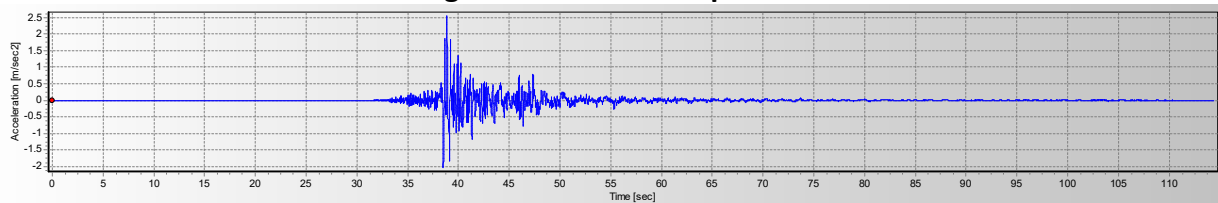


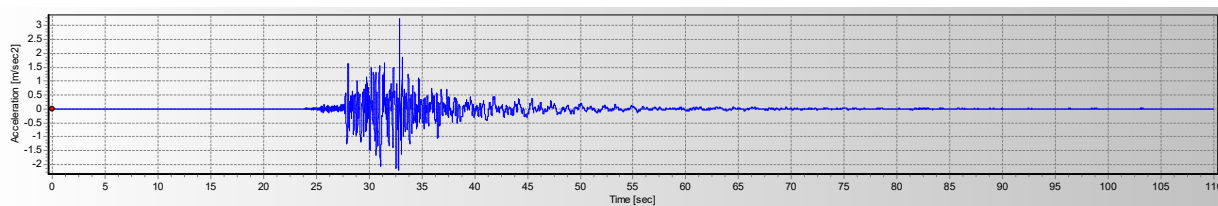
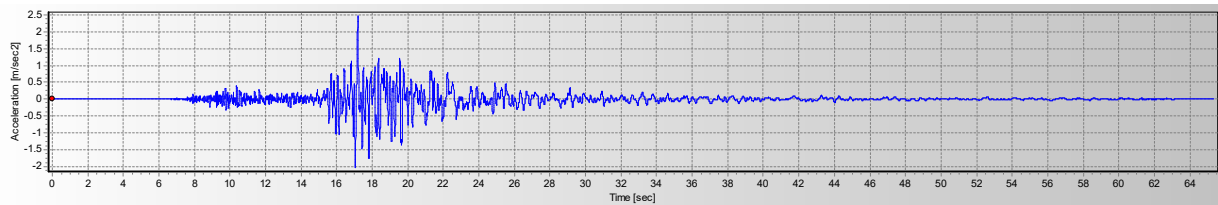
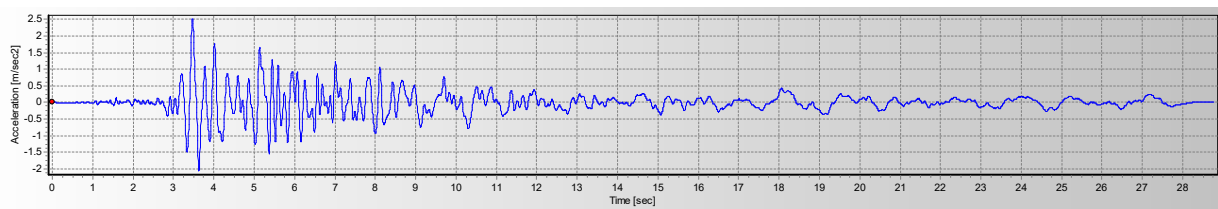
Accelerogrammi da RSL in superficie – SLD



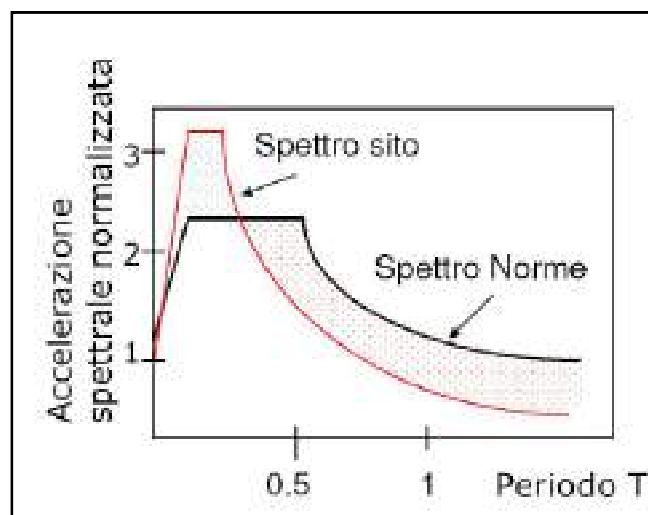


Accelerogrammi da RSL in superficie – SLV





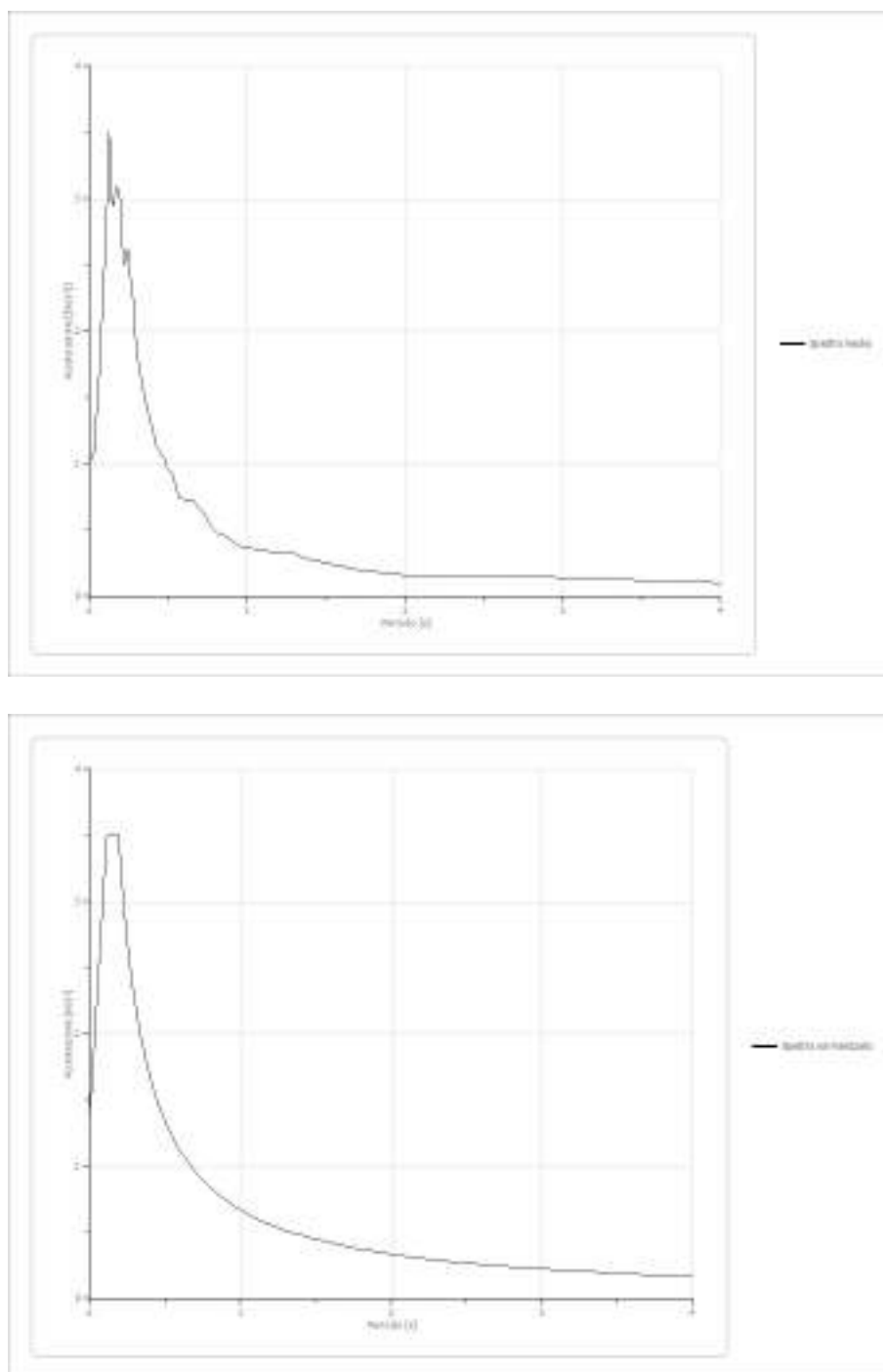
Il risultato di una RSL costituisce quindi il confronto tra lo spettro di sito e lo spettro di normativa (varie classi di suolo, in genere classe A)

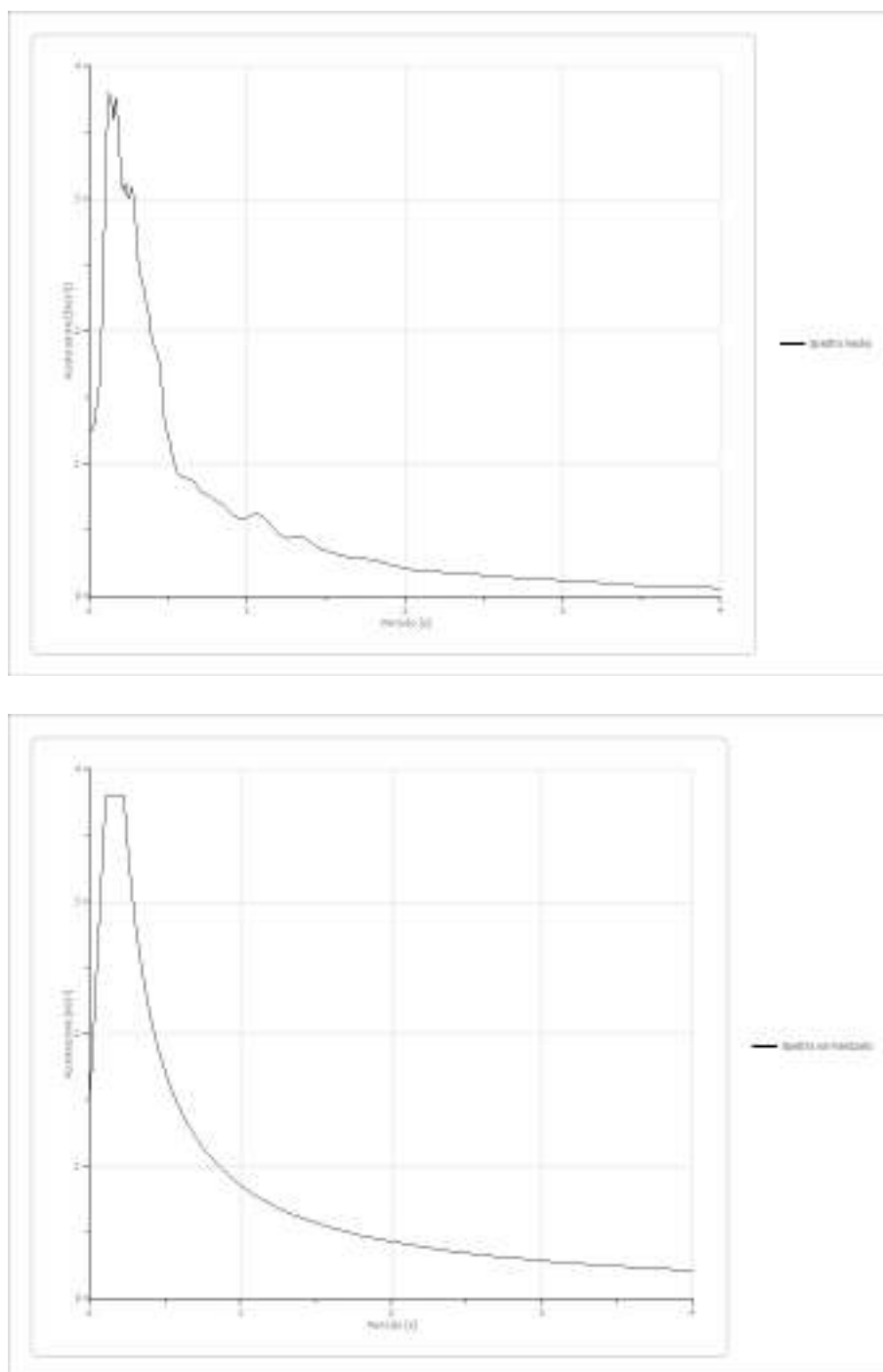


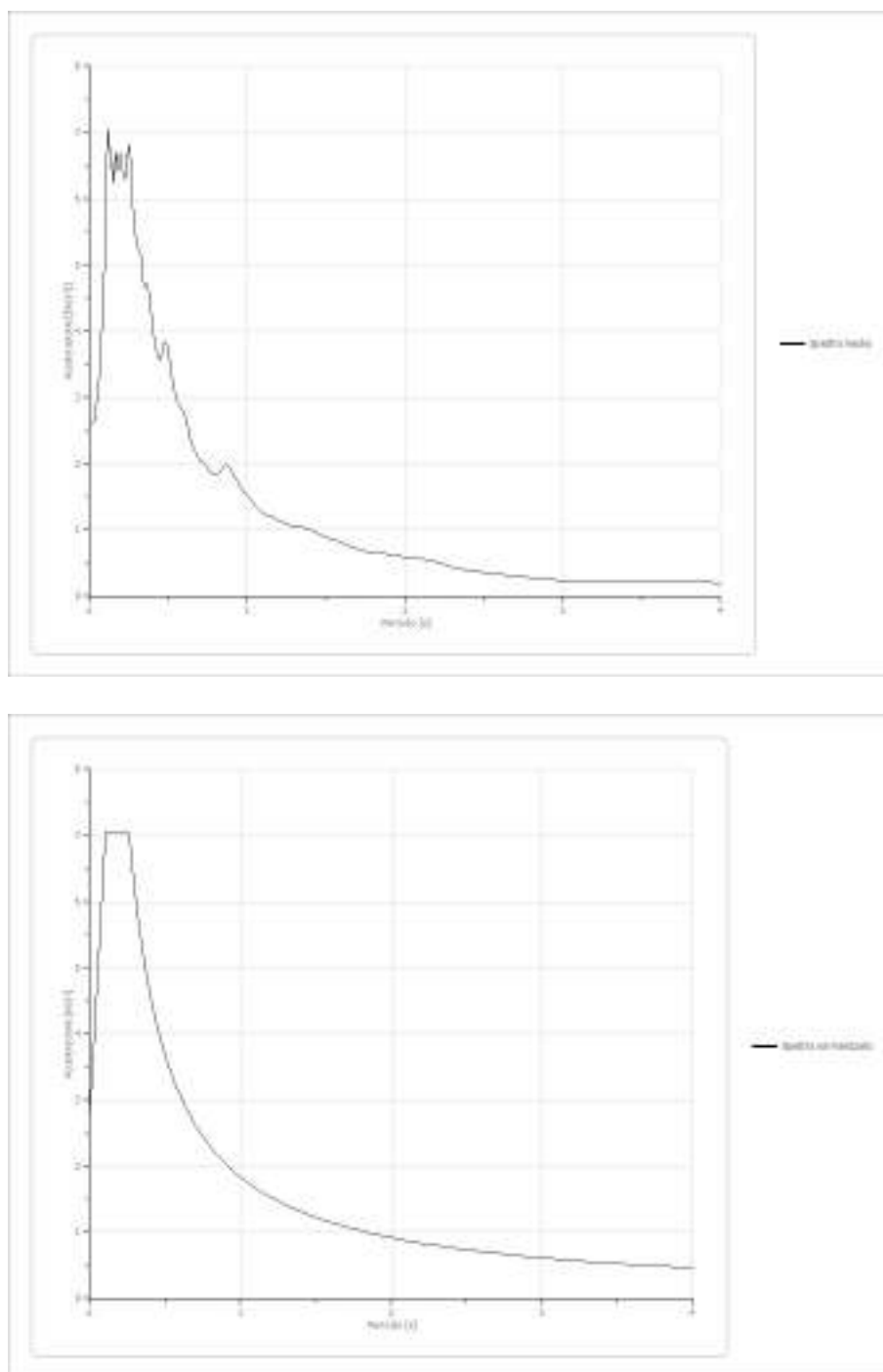
Esempio Spettro di sito (da Ing. T. Crespellani, 2009)

Come output finale, per l'opera in progetto, sono stati calcolati gli spettri agli SLO, SLD e SLV (fig. 23-25), al piano di fondazione.

Lo spettro di RSL, confrontato con quello al bedrock (suolo A), ha mostrato, un fattore di amplificazione dell'accelerazione pari a **Fa = 2,458** (SLO), **Fa = 2,108** (SLD) e **Fa=1,788** (SLV).

**Fig.23** - Spettro medio e normalizzato RSL (SLO)

**Fig.24** - Spettro medio e normalizzato RSL (SLD)

**Fig.25 - Spettro medio e normalizzato RSL (SLV)**

Di seguito viene allegato il grafico dello spettro di risposta in sito “*normalizzato*” per lo SLD-SLV sovrapposto allo spettro di normativa per la classe di suolo A e quello di sito, in questo caso quello di classe B (fig.26-28).

Nelle successive Tabelle vengono riportati i dati di riferimento degli spettri di legge confrontati con quelli degli spettri di RSL normalizzati agli stati limite considerati.

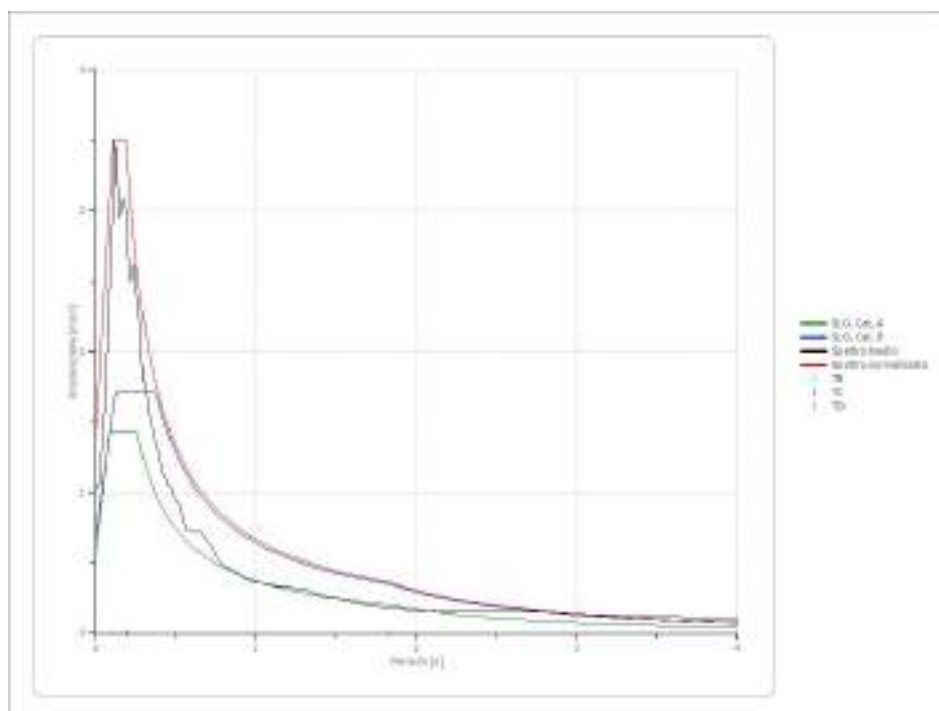


Fig.26 - Spettro RSL (SLO) confrontato con normativa

Periodo [s]	Accelerazio ne [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazio ne [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazio ne [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazio ne [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazio ne [m/s²]
0.00	1.3964	0.26	2.5603	0.52	1.2801	0.98	0.6793	2.25	0.2959
0.01	1.5862	0.27	2.4655	0.53	1.2560	1.00	0.6657	2.30	0.2894
0.02	1.7761	0.28	2.3774	0.54	1.2327	1.05	0.6340	2.35	0.2833
0.03	1.9659	0.29	2.2954	0.55	1.2103	1.10	0.6052	2.40	0.2774
0.04	2.1557	0.30	2.2189	0.56	1.1887	1.15	0.5788	2.50	0.2663
0.05	2.3456	0.31	2.1473	0.57	1.1679	1.20	0.5547	2.60	0.2560
0.06	2.5354	0.32	2.0802	0.58	1.1477	1.25	0.5325	2.70	0.2465
0.07	2.7252	0.33	2.0172	0.60	1.1095	1.30	0.5121	2.80	0.2377
0.08	2.9151	0.34	1.9579	0.62	1.0737	1.35	0.4931	2.90	0.2295
0.09	3.1049	0.35	1.9019	0.64	1.0401	1.40	0.4755	3.00	0.2219
0.10	3.2947	0.36	1.8491	0.66	1.0086	1.45	0.4591	3.10	0.2147
0.11	3.4846	0.37	1.7991	0.68	0.9789	1.50	0.4438	3.20	0.2080
0.12	3.5036	0.38	1.7518	0.70	0.9510	1.55	0.4295	3.30	0.2017
0.13	3.5036	0.39	1.7069	0.72	0.9246	1.60	0.4160	3.40	0.1958
0.14	3.5036	0.40	1.6642	0.74	0.8996	1.65	0.4034	3.50	0.1902
0.15	3.5036	0.41	1.6236	0.76	0.8759	1.70	0.3916	3.60	0.1849
0.16	3.5036	0.42	1.5849	0.78	0.8534	1.75	0.3804	3.70	0.1799
0.17	3.5036	0.43	1.5481	0.80	0.8321	1.80	0.3698	3.80	0.1752
0.18	3.5036	0.44	1.5129	0.82	0.8118	1.85	0.3598	3.90	0.1707
0.19	3.5036	0.45	1.4793	0.84	0.7925	1.90	0.3504	4.00	0.1664
0.20	3.3284	0.46	1.4471	0.86	0.7740	1.95	0.3414		
0.21	3.1699	0.47	1.4163	0.88	0.7565	2.00	0.3328		
0.22	3.0258	0.48	1.3868	0.90	0.7396	2.05	0.3247		
0.23	2.8942	0.49	1.3585	0.92	0.7236	2.10	0.3170		
0.24	2.7737	0.50	1.3314	0.94	0.7082	2.15	0.3096		
0.25	2.6627	0.51	1.3052	0.96	0.6934	2.20	0.3026		

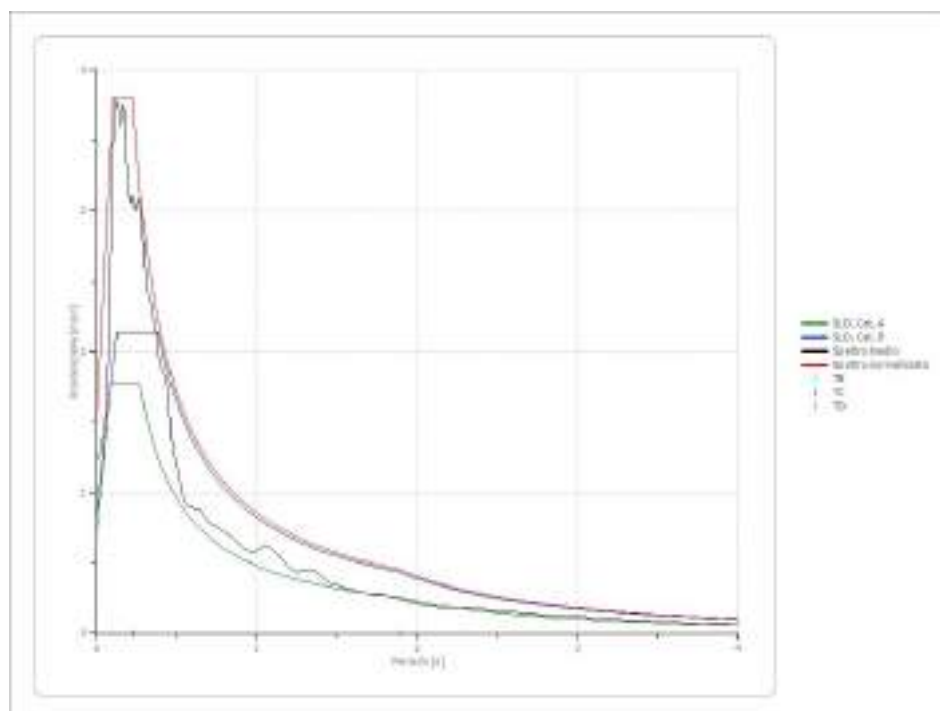


Fig.27- Spettro RSL (SLD) confrontato con normativa

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	1.5275	0.26	3.2795	0.52	1.6397	0.98	0.8701	2.25	0.3790
0.01	1.7446	0.27	3.1580	0.53	1.6088	1.00	0.8527	2.30	0.3707
0.02	1.9616	0.28	3.0452	0.54	1.5790	1.05	0.8121	2.35	0.3628
0.03	2.1787	0.29	2.9402	0.55	1.5503	1.10	0.7751	2.40	0.3553
0.04	2.3957	0.30	2.8422	0.56	1.5226	1.15	0.7414	2.50	0.3411
0.05	2.6128	0.31	2.7505	0.57	1.4959	1.20	0.7106	2.60	0.3279
0.06	2.8298	0.32	2.6646	0.58	1.4701	1.25	0.6821	2.70	0.3158
0.07	3.0469	0.33	2.5838	0.60	1.4211	1.30	0.6559	2.80	0.3045
0.08	3.2639	0.34	2.5078	0.62	1.3753	1.35	0.6316	2.90	0.2940
0.09	3.4810	0.35	2.4362	0.64	1.3323	1.40	0.6090	3.00	0.2842
0.10	3.6980	0.36	2.3685	0.66	1.2919	1.45	0.5880	3.10	0.2751
0.11	3.8065	0.37	2.3045	0.68	1.2539	1.50	0.5684	3.20	0.2665
0.12	3.8065	0.38	2.2439	0.70	1.2181	1.55	0.5501	3.30	0.2584
0.13	3.8065	0.39	2.1863	0.72	1.1843	1.60	0.5329	3.40	0.2508
0.14	3.8065	0.40	2.1317	0.74	1.1522	1.65	0.5168	3.50	0.2436
0.15	3.8065	0.41	2.0797	0.76	1.1219	1.70	0.5016	3.60	0.2369
0.16	3.8065	0.42	2.0302	0.78	1.0932	1.75	0.4872	3.70	0.2304
0.17	3.8065	0.43	1.9829	0.80	1.0658	1.80	0.4737	3.80	0.2244
0.18	3.8065	0.44	1.9379	0.82	1.0398	1.85	0.4609	3.90	0.2186
0.19	3.8065	0.45	1.8948	0.84	1.0151	1.90	0.4488	4.00	0.2132
0.20	3.8065	0.46	1.8536	0.86	0.9915	1.95	0.4373		
0.21	3.8065	0.47	1.8142	0.88	0.9689	2.00	0.4263		
0.22	3.8065	0.48	1.7764	0.90	0.9474	2.05	0.4159		
0.23	3.7072	0.49	1.7401	0.92	0.9268	2.10	0.4060		
0.24	3.5528	0.50	1.7053	0.94	0.9071	2.15	0.3966		
0.25	3.4107	0.51	1.6719	0.96	0.8882	2.20	0.3876		

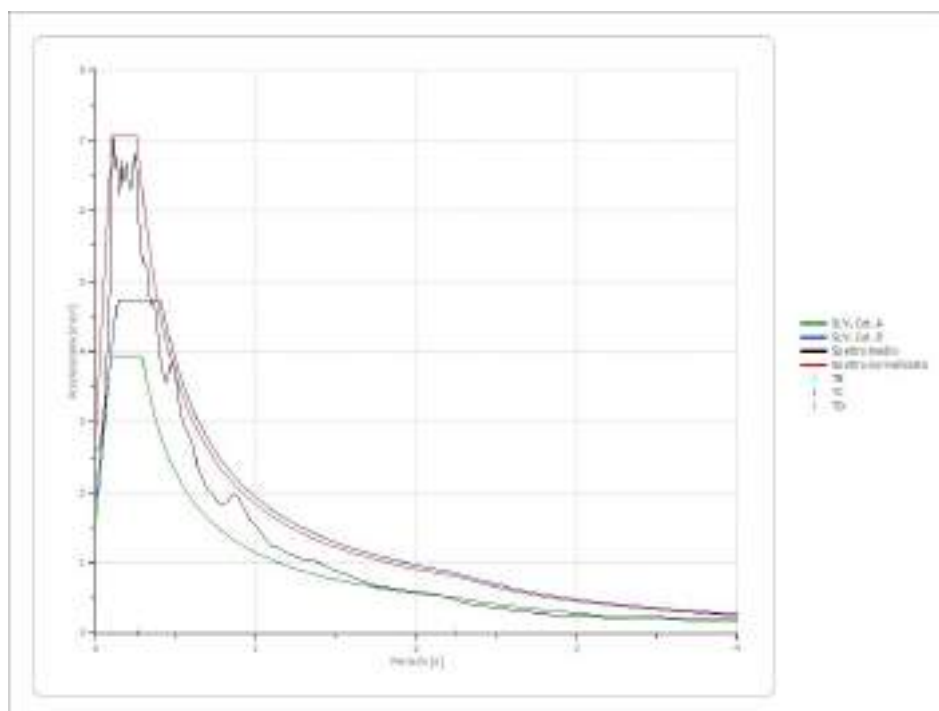


Fig.28 -Spettro RSL (SLV) confrontato con normativa

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	2.8042	0.26	7.0311	0.52	3.5156	0.98	1.8654	2.25	0.8125
0.01	3.2172	0.27	6.7707	0.53	3.4492	1.00	1.8281	2.30	0.7948
0.02	3.6303	0.28	6.5289	0.54	3.3854	1.05	1.7410	2.35	0.7779
0.03	4.0433	0.29	6.3038	0.55	3.3238	1.10	1.6619	2.40	0.7617
0.04	4.4563	0.30	6.0936	0.56	3.2644	1.15	1.5896	2.50	0.7312
0.05	4.8693	0.31	5.8971	0.57	3.2072	1.20	1.5234	2.60	0.7031
0.06	5.2823	0.32	5.7128	0.58	3.1519	1.25	1.4625	2.70	0.6771
0.07	5.6953	0.33	5.5397	0.60	3.0468	1.30	1.4062	2.80	0.6529
0.08	6.1083	0.34	5.3767	0.62	2.9485	1.35	1.3541	2.90	0.6304
0.09	6.5213	0.35	5.2231	0.64	2.8564	1.40	1.3058	3.00	0.6094
0.10	6.9344	0.36	5.0780	0.66	2.7698	1.45	1.2608	3.10	0.5897
0.11	7.0583	0.37	4.9408	0.68	2.6884	1.50	1.2187	3.20	0.5713
0.12	7.0583	0.38	4.8108	0.70	2.6116	1.55	1.1794	3.30	0.5540
0.13	7.0583	0.39	4.6874	0.72	2.5390	1.60	1.1426	3.40	0.5377
0.14	7.0583	0.40	4.5702	0.74	2.4704	1.65	1.1079	3.50	0.5223
0.15	7.0583	0.41	4.4588	0.76	2.4054	1.70	1.0753	3.60	0.5078
0.16	7.0583	0.42	4.3526	0.78	2.3437	1.75	1.0446	3.70	0.4941
0.17	7.0583	0.43	4.2514	0.80	2.2851	1.80	1.0156	3.80	0.4811
0.18	7.0583	0.44	4.1548	0.82	2.2294	1.85	0.9882	3.90	0.4687
0.19	7.0583	0.45	4.0624	0.84	2.1763	1.90	0.9622	4.00	0.4570
0.20	7.0583	0.46	3.9741	0.86	2.1257	1.95	0.9375		
0.21	7.0583	0.47	3.8896	0.88	2.0774	2.00	0.9140		
0.22	7.0583	0.48	3.8085	0.90	2.0312	2.05	0.8918		
0.23	7.0583	0.49	3.7308	0.92	1.9871	2.10	0.8705		
0.24	7.0583	0.50	3.6562	0.94	1.9448	2.15	0.8503		
0.25	7.0583	0.51	3.5845	0.96	1.9043	2.20	0.8310		

PARAMETRI OUTPUT RSL**Parametri spettro normalizzato (SLO)**

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]
1.396	2.509	--	0.111	0.190	1.832	1.396	3.504

Parametri spettro normalizzato (SLD)

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]
1.528	2.492	--	0.105	0.224	1.892	1.528	3.807

Parametri spettro normalizzato (SLV)

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]
2.804	2.517	--	0.103	0.259	2.239	2.804	7.058

Dati spettro normativa suolo tipo B

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardi a vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardi a vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.568	0.715	1.568	1.931	0.568	0.715	1.568	1.931
Fo	2.509	2.492	2.517	2.553	2.509	2.492	2.517	2.553
Tc* [s]	0.26	0.268	0.289	0.295	0.26	0.268	0.289	0.295
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	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	1.00	1.00	1.00	1.00	1.44	1.43	1.41	1.40
TB [s]	0.087	0.089	0.096	0.098	0.125	0.128	0.136	0.138
TC [s]	0.260	0.268	0.289	0.295	0.374	0.384	0.407	0.414
TD [s]	1.832	1.892	2.239	2.387	1.832	1.892	2.239	2.387
Se(0) [m/s²]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
Se(TB) [m/s²]	0.568	0.715	1.568	1.931	0.568	0.715	1.568	1.931

8) Modello geotecnico

Nel corso del presente studio sono stati utilizzati i dati di due campagne geognostiche (2001 e 2022), comprensive di sondaggi geognostici (S1ed S2) e tre prove penetrometriche sia tipo DPSHsia DPM, due prove di laboratorio, al fine di ricostruire l'assetto litostratigrafico del sito e di definire le principali proprietà geotecniche dei terreni nel volume significativo, come riportato nella carta delle indagini (fig. 29) e negli allegati delle prove.

Oltre a queste indagini sono state eseguite due prove geofisiche tipo Masw, una prova tromometrica HV ed una prova Down-Hole nel sondaggio S1.

Per la prova DOPSH del 2022 è stato utilizzato un penetrometro Pagani, TG 63 100, tipo EMILIA, classificato come super pesante (DPSH), dotato delle seguenti caratteristiche:

Peso del maglio	63,5 Kg
Altezza di caduta	0,75 m
Peso delle aste	6,35 Kg/m
Diametro punta	5,05 cm
Area base della punta	20 cm ²
Passo di avanzamento	0,20 m
Peso della testa di battuta	0,5 Kg

L'elaborazione dei dati delle prove penetrometriche, per l'identificazione dei principali parametri geotecnici, è stata condotta secondo le trattazioni di seguito elencate:

Angolo di Attrito interno (Peck - Hanson & Thornburn)

Il metodo di Peck – Hanson & Thornburn è valido per le sabbie in genere e trova le sue condizioni ottimali di applicabilità per profondità di prova inferiori a circa 5 m per terreni sopra falda e inferiori a circa 8 m per terreni in falda (pressione efficace inferiore a 8-10 t/mq).

$$\varphi = 27,2 + 0,28 N_{spt}$$

Modulo Edometrico Incoerenti (Menzenbach e Malcev)

Il metodo di Menzenbach e Malcev è valido per le sabbie in genere. Il metodo non considera l'influenza della pressione efficace, che porta a parità di N_{spt} ad una diminuzione di M con la profondità.

$$M (kg / cmq) = 3,54 N_{spt} + 38 \text{ (Sabbia fine)}$$

$$M (kg / cmq) = 4,46 N_{spt} + 38 \text{ (Sabbia media)}$$

$$M (kg / cmq) = 10,46 N_{spt} + 38 \text{ (Sabbia + ghiaia)}$$

$$M (kg / cmq) = 11,84 N_{spt} + 38 \text{ (Sabbia ghiaiosa)}$$

Densità relativa (Schultze & Menzenbach)

Il metodo è valido per le sabbie da fini a ghiaiose per qualunque valore di pressione efficace, in depositi normalmente consolidati

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$\ln(Dr\%) = 0,478 \ln(N_{spt}) - 0,262 \ln(\sigma) + 2,84$$

Modulo Young (Stroud)

Il metodo si basa sulla seguente relazione:

$$E(MPa) = \alpha N_{spt}$$

dove N_{spt} è il numero di colpi medio nello strato mentre α è una grandezza che varia in funzione di N_{spt} secondo la formula:

$$\alpha = -0,00107 N_{spt}^2 + 0,136 N_{spt} + 1,503$$

Modulo di deformazione di taglio (Crespellani e Vannucchi)

Il metodo di Crespellani e Vannucchi, valido per le sabbie in generale, si basa sulla seguente relazione:

$$G_0(t / mq) = 794 N_{spt}^{0,611}$$

I valori della prova penetrometrica sono stati sottoposti ad analisi statistica preliminare, per la definizione dei **parametri caratteristici** (basata su campione di dati limitato, con t di Student).

$$\varphi_k = \varphi_m - t_{n-1}^{0,05} \left(\frac{s_\varphi}{\sqrt{n}} \right)$$

dove:

φ_k	= valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio;
φ_m	= valore medio dell'angolo di resistenza al taglio;
n	= numero di misure;
s_{φ}, s_c	= deviazione = standard del campione;
$t_{n-1}^{0,05}$	= t di Student per n-1 gradi di libertà e probabilità di superamento del 5%

I valori rilevati con le prove penetrometriche sono stati analizzati insieme a quanto ottenuto dalle analisi di laboratorio e, per quanto riguarda i tufi in parete, da quanto dedotto mediante l'utilizzo del martello di Schimdt.

L'orizzonte A, riportato nella modellazione geologica, ha permesso di costruire un modello geotecnico composto da un solo livello sotto il piano di fondazione, ipotizzato a – 3 metri dalla quota del piazzale a valle e dotato dei seguenti valori dei parametri geotecnici, da considerare come caratteristici:

LIVELLO A – Tufo avana chiaro sabbioso limoso con intercalazioni a lapilli	
Profondità dal p.c. (m)	1,5 metri
Spessore medio	30 m
Angolo di attrito interno*	$\varphi'_k = 32^\circ$
Coesione drenata*	$c'_k = 5 \text{ kPa}$
Peso di volume naturale*	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$
Densità relativa minima #	$D_r = 63 \%$
Modulo Young min. #	$E = 33.714 \text{ kPa}$
Modulo di taglio min. #	$G = 33.714 \text{ kPa}$
Modulo edometrico min. #	$E_d = 8.538 \text{ kPa}$
N_{SPT} equivalente	$N_{SPT} = 11$
* da laboratorio # da DPSH	



Fig. 29 – Ubicazione prove in sito scala 1:500

9) Note conclusive

Dai risultati dell'indagine eseguita possono essere schematizzate le seguenti note conclusive:

- ✓ La zona d'indagine è localizzata ad est del centro storico di Castelnuovo di Porto, lungo la porzione iniziale di unavalle, notevolmente modificata dall'azione antropica, con la formazione di tratti di scarpata localmente verticali, anche di altezza discreta (circa 10 metri). In particolare i lati est e nord dell'edificio scolastico sono delimitati da pareti sub verticali la cui stabilità generale appare sufficiente.
- ✓ Non si può escludere la presenza di cavità sotto l'edificio, peraltro non segnalate e non rilevate durante le indagini e i sopralluoghi eseguiti; piccole cavità poche diffuse sono visibili lungo le pareti tufacee.
- ✓ Nella zona affiora l'Ignimbrite di Morlupo, proveniente dall'apparato vulcanico sabatino, dotata di una potenza di varie decine di metri (almeno 30 al di sotto del piano di fondazione dell'edificio) in prevalenza massiva, a matrice sabbioso limosa con alcune intercalazioni di livelli a lapilli grigi e rossastri e paleosuoli, caratterizzata da medio-buone proprietà geotecniche, che migliorano con la profondità.
- ✓ Dal punto di vista idrogeologico, si segnala una piccola emergenza sorgiva a monte dell'edificio al contatto tra livelli dotati di permeabilità diversa, captata da un cunicolo drenante, collegato ad un vecchio fontanile ancora presente. Nel corso delle indagini è stata rinvenuta una modesta circolazione idrica (falda sospesa) a circa 23 m dal p.c. rispetto al piazzale sud dell'immobile, pari ad una quota assoluta di circa 219 m s.l.m. La falda acquifera basale è invece segnalata ad una quota superiore ai 70 metri dal p.c., corrispondente ad una quota assoluta di 170 m s.l.m, con direzione di deflusso verso sud est.

- ✓ Si possono escludere interferenze dirette tra il piano di fondazione e le falde sotterranee.
- ✓ La zona, sul P.A.I. redatto dall'ex Autorità di Bacino del Tevere, risulta stabile.
- ✓ Dal punto di vista sismico, le Masw ed il Down Hole hanno permesso di classificare il sito in categoria di suolo B con un valore medio delle $V_{s,eq}$ medio di 373 m/s; la prova sismometrica HV ha evidenziato un picco di risonanza $f=8,5$ Hz.
- ✓ Il sito può essere interessato da amplificazioni topografiche, data la classe topografica T2 del versante su cui ricade l'immobile; i terreni sono classificati nella MS1 come stabili e suscettibili di amplificazione sismica.
- ✓ Lo spettro di RSL, confrontato con quello al bedrock (suolo A), ha mostrato, un fattore di amplificazione dell'accelerazione pari a **Fa = 2,458** (SLO), **Fa = 2,108** (SLD) e **Fa = 1,788** (SLV).

10) Bibliografia

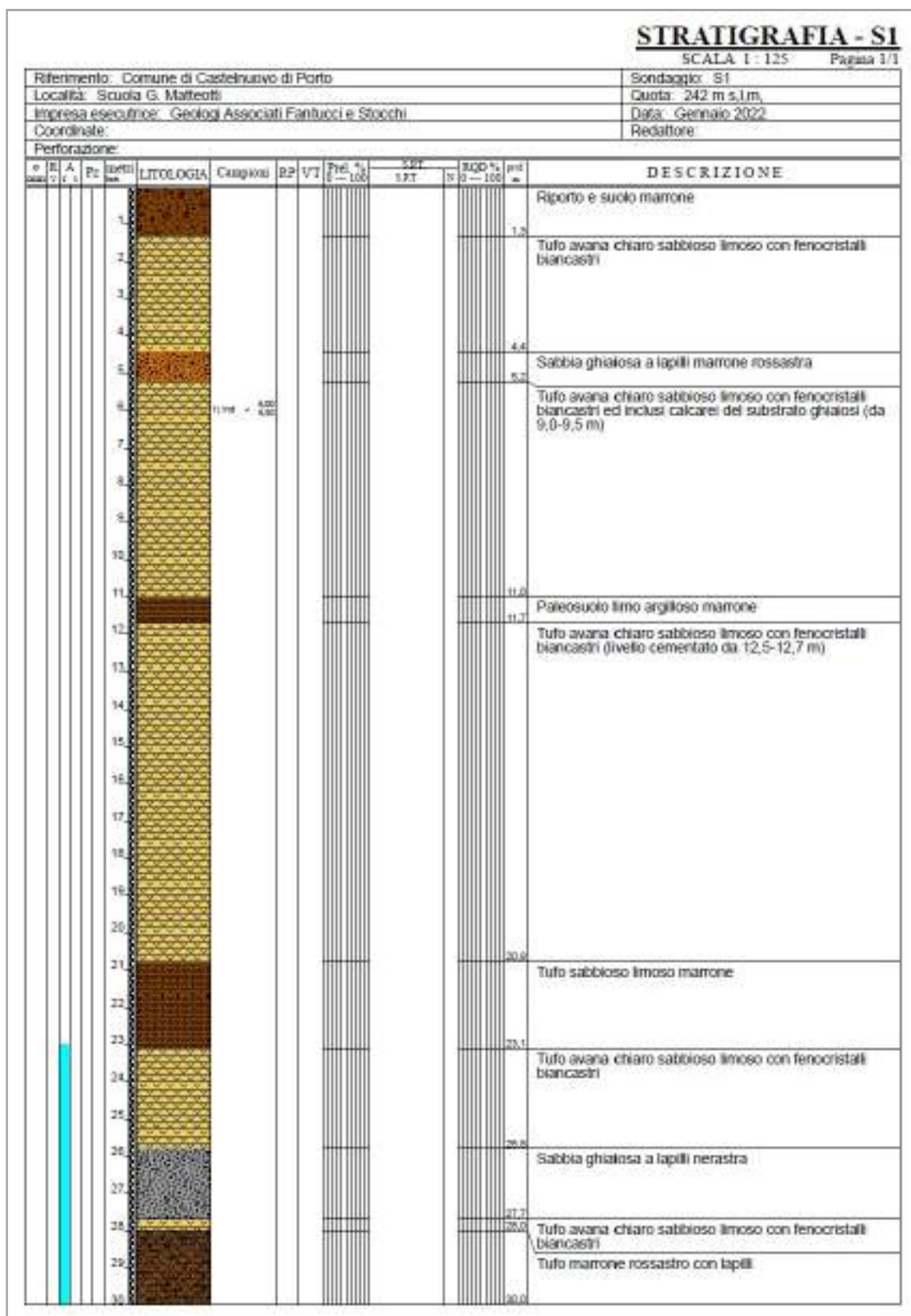
- Carta Geologica d'Italia F° 143 Bracciano- scala 1:100.000 e relative note illustrative
- Carta Idrogeologica Regione Lazio 2012 – scala 1:100.000
- Locardi E., Lombardi G., Funiciello R., Parotto M. (1976): *The main volcanic groups of Latium (Italy): relations between structural evolution and petrogenesis*. *Geologica Romana*, vol. XV, pp 279-300.
- Ingegneria geotecnica e geologia applicata di F. Cetrara
- Prove Geotecniche In Situ di A. Bruschi

Dott. Geol. Vittorio Stocchi



ALLEGATI

- **SONDAGGI GEOGNOSTICI**
- **PROVE DPSH E DMP**
- **CERTIFICATI LABORATORIO**



Da 0 – 5 m



Da 5 – 10 m



Da 10 - 15



Da 15 - 20



Da 20 - 25



Da 25 - 30



STRATIGRAFIA - S2

SCALA 1 : 125 Pagina 1/1

Riferimento: Comune di Castelnuovo di Porto	Sondaggio: S2
Località: Scuola G. Matteotti	Quota: 245 m s.l.m.
Impresa esecutrice: Geologi Associati Fantucci e Stocchi	Data: 2001
Coordinate:	Redattore:
Perforazione:	

Prof. m	R	A	Pz	Prof. m	LITOLOGIA	Campioni	RF	VT	Por. % 0 - 100	S2 SPT	X	ROD % 0 - 100	prof. m	DESCRIZIONE
1													0.2	Cemento
2													2.5	Tufo avana chiaro sabbioso limoso con fenocristalli biancastri
3													3.4	Tufo avana chiaro sabbioso limoso con fenocristalli biancastri ed inclusi calcarei del substrato ghiaiosi
4														Tufo avana chiaro sabbioso limoso con fenocristalli biancastri
5														
6														
7													7.2	Tufo sabbioso limoso marrone
8													8.2	Tufo avana chiaro sabbioso limoso con fenocristalli biancastri
9														
10													10.2	



Geologi Associati Fantucci e Stocchi

Via Monte Nero 27

01100 Viterbo (VT) 0761-826034

Committente: Comune Castelnuovo di Porto

Località: Scuola G. Matteotti

Data: Gennaio 2022

Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA

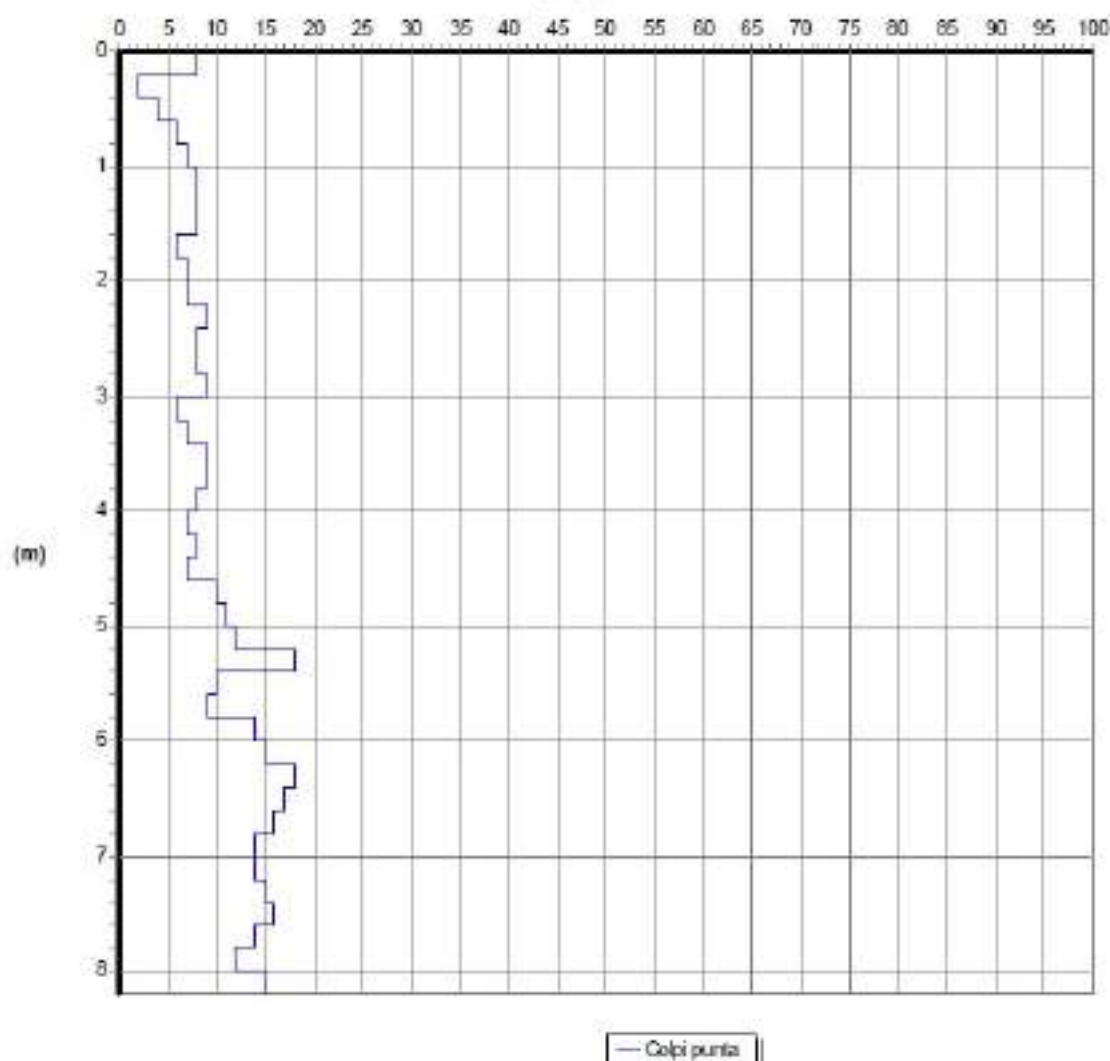
Note:

Quota(m): 242,0

Sigla: VP1

Grafico della prova

Profondità della falda dal p.c.(m): Non rilevata





Geologi Associati Fantucci e Stocchi
Via Monte Nero 27
01100 Viterbo (VT) 0761-826034

Committente: Comune Castelnuovo di Porto

Località: Scuola G. Matteotti

Data: Gennaio 2022

Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA

Note:

Quota(m): 242,0

Sigla: IP1

Tabulato della prova

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N. colpi del rivestimento	N. colpi SPT equivalenti	N. colpi del rivestimento corretto
0,2	8		12	
0,4	2		5	
0,6	4		6	
0,8	6		8	
1	7		10	
1,2	8		12	
1,4	8		12	
1,6	8		12	
1,8	8		9	
2	7		10	
2,2	7		10	
2,4	9		13	
2,6	8		12	
2,8	8		12	
3	9		13	
3,2	6		9	
3,4	7		10	
3,6	9		13	
3,8	9		13	
4	8		12	
4,2	7		10	
4,4	8		12	
4,6	7		10	
4,8	10		15	
5	11		16	
5,2	12		18	
5,4	18		26	
5,6	10		15	
5,8	9		13	
6	14		21	
6,2	15		22	
6,4	18		26	
6,6	17		25	
6,8	16		24	
7	14		21	
7,2	14		21	
7,4	15		22	
7,6	16		24	
7,8	14		21	
8	12		18	



Geologi Associati Fantucci e Stocchi
Via Monte Nero 27
01100 Viterbo (VT) 0761-826034

Profondità (m)	N. colpi della punta misurato	N. colpi del rivestimento	N. colpi SPT equivalenti	N. colpi del rivestimento corretto
8,2	15		22	



Geologi Associati Fantucci e Stocchi

Via Monte Nero 27

01100 Viterbo (VT) 0761-826034

Committente: Comune Castelnuovo di Porto

Località: Scuola G. Matteotti

Data: Gennaio 2022

Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA

Note:

Quota(m): 242.0

Sigla: IP1

Metodi di calcolo dei parametri geotecnici

Profondità base (m)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Mod. edom. coerenti (kPa)	Coerenza non drenata (kPa)	Mod. edom. coesivi (kPa)	Densità relativa (%)	Modulo di Young (kPa)	Mod. dinamico di taglio coerenti (kPa)	Mod. dinamico di taglio coesivi (kPa)	Rapporto di sovraccarico
0,8	Peak	Menziesbach e Makov Sabbia media			Schultz & Menziesbach	Stoud	Coppellari e Vannucchi		
5,8	Peak	Menziesbach e Makov Sabbia media			Schultz & Menziesbach	Stoud	Coppellari e Vannucchi		
8,2	Peak	Menziesbach e Makov Sabbia media			Schultz & Menziesbach	Stoud	Coppellari e Vannucchi		



Geologi Associati Fantucci e Stocchi

Via Monte Nero 27

01100 Viterbo (VT) 0761-826034

Committente: Comune Castelnuovo di Porto

Località: Scuola G. Matteotti

Data: Gennaio 2022

Attrezzatura: Pagani TG 63 100 EMILIA

Note:

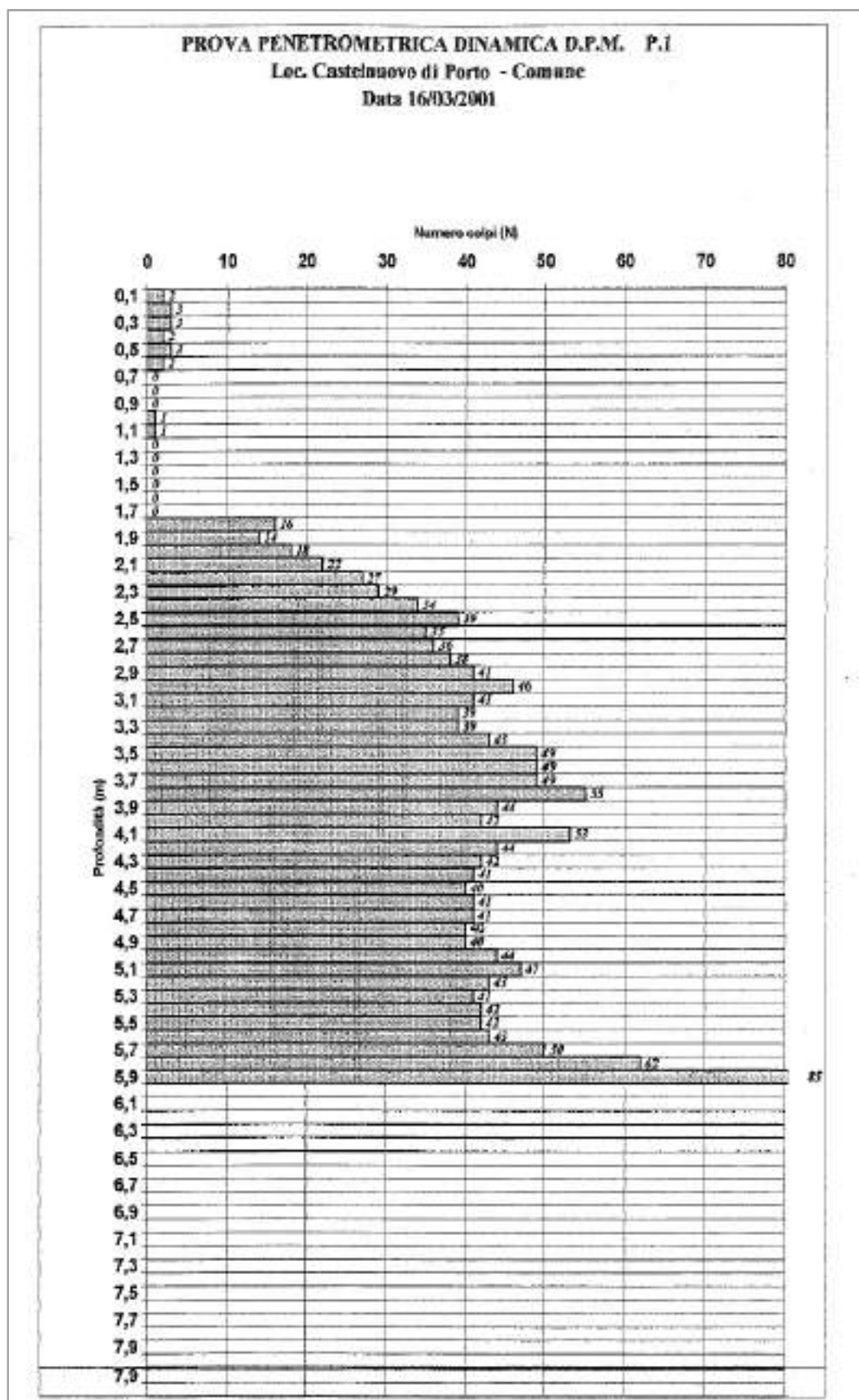
Quota(m): 242.0

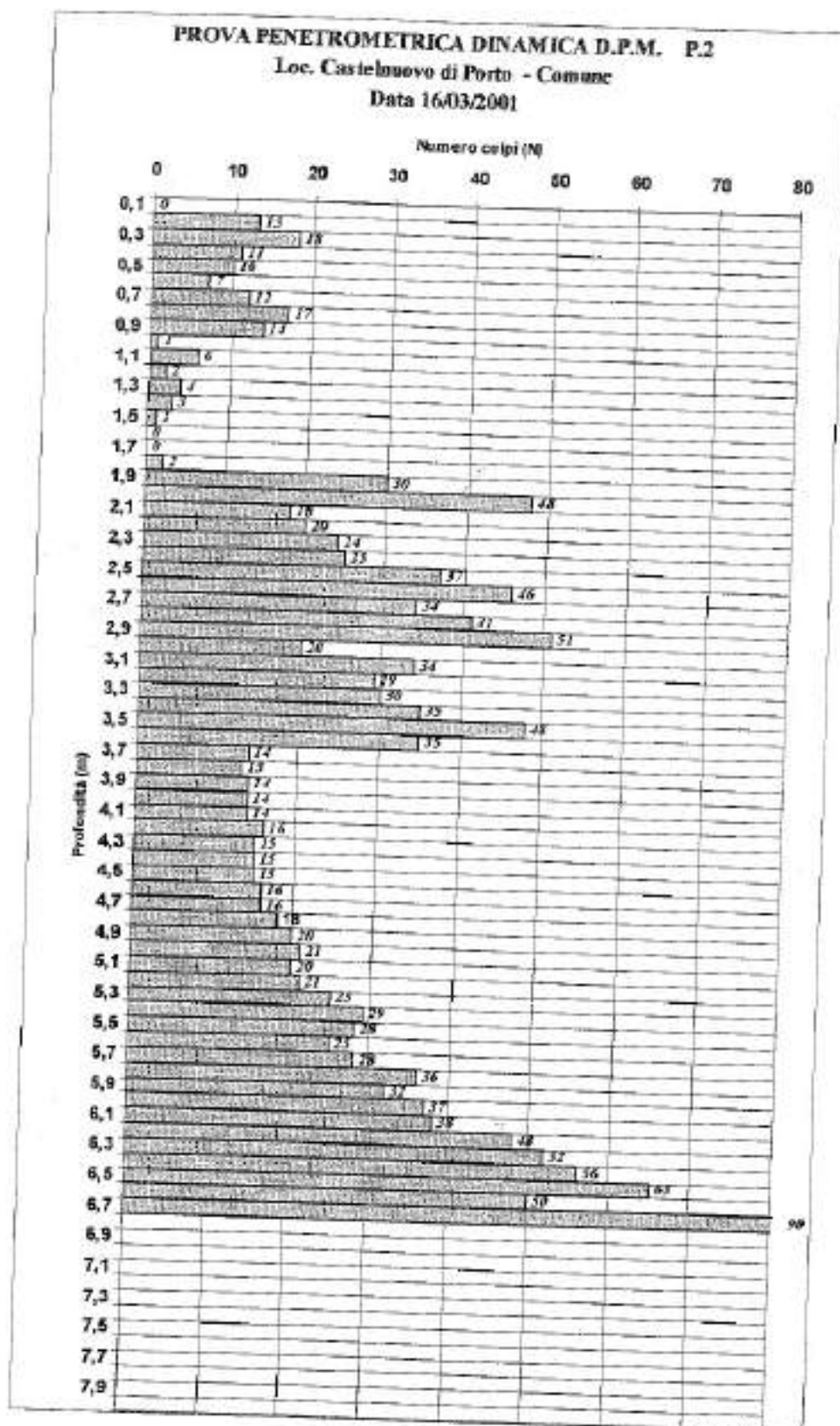
Sigla: IP1

Parametri geotecnici

Profondità base (m)	Napt. medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito (°)	Porosità volume naturale (m³/m³)	Densità relativa (%)	Modulo di Young (kPa)	Modulo coerenti (kPa)	Coerenza non drenata (kPa)	Mod. edom. coesivi (kPa)	O. C. R.	Mod. dinamico di taglio (kPa)	Mod. dinamico a reati strato (kPa)
0,8	4	Ripieno	103	0,11	28	16	68	7800	5476				18171	6,4
5,8	11	Filo medium: sabbionato	186	0,16	30	16,5	63	30358	8538				33714	54,05
8,2	21	Filo sabbionato	242	0,21	33	17	70	79509	12912				50049	115,7

Profondità dello strato (m): non rilevato







Laboratorio Geotecnico Autorizzato
ai sensi del DPR 380/01 e della circolare 7618/2010. Aut. del Ministero delle
infrastrutture e dei Trasporti - Settore A E B - Decreto N° 131/2020

Azienda Certificata UNI EN ISO 9001:2015

Certificato n° **2302-22** Pag. **1 di 5** del **27/01/2022** Accettazione n° **01597_22** del **24/01/2022**

Richiedente: **Geologi Associati Fantucci e Stocchi**

Provenienza dei Campioni: **Castelnuovo - Scuola**
Sondaggio: **1** Campione: **1** Profondità di Prelievo da m **6,00** a m **6,50**
Note:

Caratteristiche del Campionamento _Cod prova MOLAB IO622

Data prelievo del campione	--	Data di consegna del campione	24/01/2022
Data inizio prova	24/01/2022	Data fine prova	27/01/2022
Tipo di perforazione (dichiarata)	--	Forma del Campione	Cilindrica
Tipo di campionatore (dichiarata)	--	Diametro della Carota cm	8,5
Contenitore	Busta in plastica	Lunghezza della Carota cm	42
Diametro esterno del contenitore cm	--	Classe di Qualità (dichiarata)	--
Lunghezza del Contenitore cm	--		

ALTO	PROVE FISICHE	PROVE MECC.	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE	POCKET (g/g)
0		Ed		450
10 cm	W _n	T _d		
15	γ _n			
20 cm	γ _s	T _x UU		
25		T _x CU		400
30 cm	Gran			
35		T _x CU		
40 cm	LL e LP			
45		ELL		450
50 cm	L.R.			
55				
SASSO	Note: il contenitore era chiuso con tappi e nastro adesivo.			

Lo Sperimentatore
Riccardo Ottoni

Direttore di Laboratorio
Ing. Lavinio Zonetti

Sagesti S.r.l. - Via Giovanni Falcone, 51/c
02032 Pesco Comense - Fara Sabina (RI)
Tel. Fax 0765 487180 - Cod. Fisc. e Partiva IVA 01072490674



Laboratorio Geotecnico Autorizzato
ai sensi del DPR 380/01 e della circolare 7018/2010, Aut. del Ministero delle
Infrastrutture e dei Trasporti Settore A/E/B - Decreto N° 131/2020

Azienda Certificata UNI EN ISO 9001:2015

Certificato n° **2302-22** Pag. **2 di 5** del **27/01/2022** Accettazione n° **01597_22** del **24/01/2022**

Richiedente : **Geologi Associati Fantucci e Stocchi**

Provenienza dei Campioni **Castelnuovo - Scuola**
Sondaggio: **1** Campione: **1** Profondità di Prelievo da m **6,00** a m **6,50**
Note :

Risultato delle Prove

Prova di Taglio Diretto (CD)

(UNICEN ISO/TS 17892-10) - Cod prova MOLAB IC636-639

Data inizio prova **24/01/2022**

Data fine prova **27/01/2022**

Caratteristiche dei provini sottoposti a prova

Provino	1	2	3
Altezza [cm]	2,000	2,040	2,000
Area [cm ²]	36,020	35,990	36,020
Volume [cm ³]	72,00	71,35	72,00
Peso di Volume [kN/m ³]	16,68	17,07	16,68
Contenuto d'acqua [%]	32,7	31,8	31,5
Peso di Volume dei grani [kN/m ³]	—	—	—
Indice dei vuoti	—	—	—
Grado di saturazione [%]	—	—	—

Fase di Consolidazione

Provino	1	2	3
Pressione di consolidazione (kPa)	96	196	294
Cadimento (mm)	0,671	2,891	3,429

Fase di taglio

Provino	1	2	3
Velocità di taglio mm/min	0,0042	0,0042	0,0042
Spostamento orizzontale a rottura (mm)	4,98	4,51	3,42
Deformazione Verticale a rottura (%)	1,90	1,22	3,42
Contenuto finale d'acqua %	34,3	37,4	35,8
Tensione di taglio a rottura (mm)	62	135	184

Note :

Lo Sperimentatore
Riccardo Ottolenghi

Direttore di Laboratorio
Ing. Lavinio Antonietti

Sagesti S.r.l. - Via Giovanni Falcone, 51/c
02032 Passo Corese - Fara Sabazia (RI)
Tel. Fax 0765 487180 - Cod. Fisc. e Partita IVA 01072490574



Laboratorio Geotecnico Autorizzato
ai sensi del DPR 359/01 e della circolare 7618/2010, Aut. del Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti Settore A E B - Decreto N° 131/2020

Azienda Certificata UNI EN ISO 9001:2015

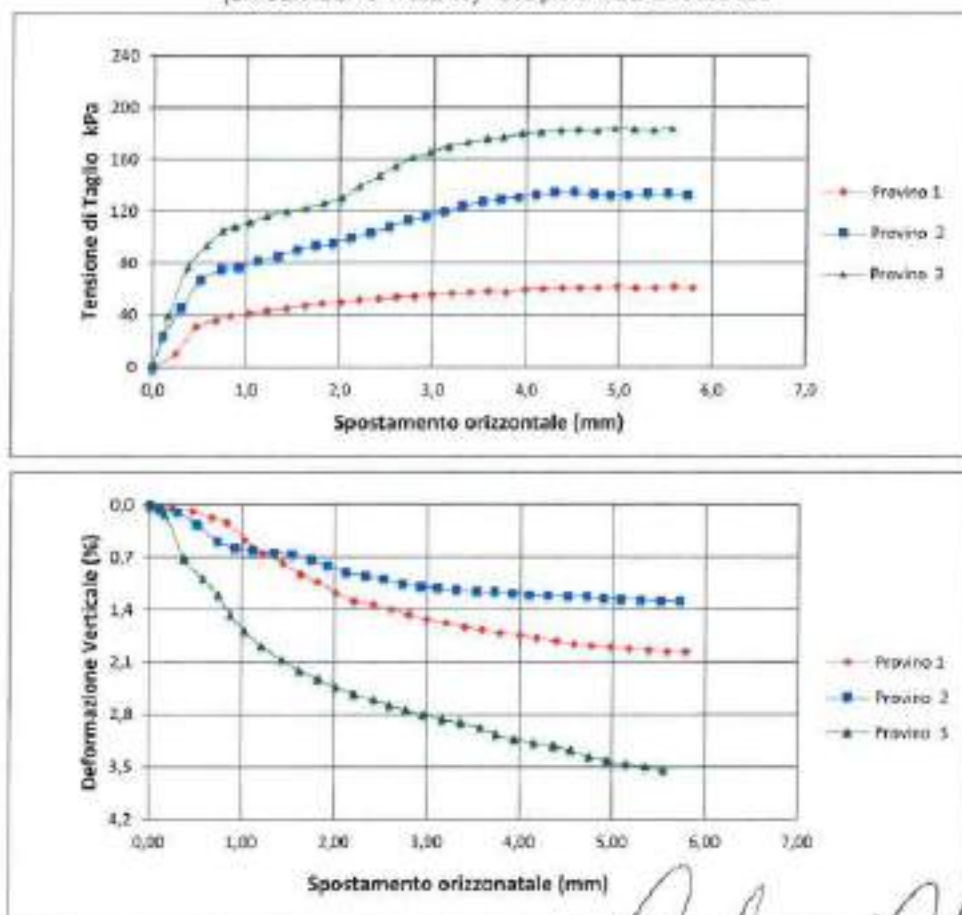
Certificato n° 2302-22 Pag. 3 di 5 del 27/01/2022 Accettazione n° 01597_22 del 24/01/2022

Richiedente: Geologi Associati Fantucci e Stocchi

Provenienza dei Campioni: Castelnuovo - Scuola
Sondaggio: 1 Campione: 1 Profondità di Prelievo da m 6,00 a m 6,50
Note:

Curve Tensione di Taglio - Spostamento e Deformazione verticale- Spostamento

Prova di Taglio Diretto (CD)
(UNICEN ISO/TS 17892-10) - Cod prova MOLAB 10636-639



Lo Sperimentatore
Riccardo Oberti

Direttore di Laboratorio
Ing. Lanfranco Zocchi

Sagedil S.r.l. - Via Giovanni Falcone, 51/C
02032 Passetto Corsico - Fara Sabina (RI)
Tel. Fax 0765 487180 - Cod. Fisc. e Partita IVA 01072490574



Laboratorio Geotecnico Autorizzato
ai sensi del DPR 350/01 e della circolare 7018/2010. Aut. del Ministero delle Infrastrutture
e dei Trasporti - Settore A E B - Decreto N° 131/2020

Azienda Certificata UNI EN ISO 9001:2015

Certificato n° **2302-22** Pag. **4 di 5** del **27/01/2022** Accettazione n° **01597_22** del **24/01/2022**

Richiedente: **Geologi Associati Fantucci e Stocchi**

Provenienza dei Campioni: **Castelnuovo - Scuola**
Sondaggio: **1** Campione: **1** Profondità di Prelievo da m **6,00** a m **6,50**
Note:

Risultato delle Prove

Prova di Taglio Diretto (CD)

(UNICEN ISO/TS 17892-10) - Cod prova MOLAB ID636-639

Misurazioni Acquisite

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Tensione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Tensione di taglio (kPa)	Spostamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Tensione di taglio (kPa)
0,00	0,00	0	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0
0,24	0,05	10	0,11	0,06	23	0,16	0,13	39
0,46	0,08	31	0,30	0,1	48	0,37	0,72	77
0,67	0,17	38	0,51	0,27	67	0,57	0,98	94
0,83	0,24	39	0,73	0,49	75	0,74	1,21	105
1,03	0,47	41	0,92	0,58	77	0,87	1,47	108
1,22	0,64	43	1,12	0,61	82	1,03	1,69	111
1,44	0,78	45	1,34	0,63	85	1,21	1,89	116
1,63	0,93	47	1,54	0,66	90	1,43	2,07	120
1,81	1,03	49	1,74	0,73	94	1,62	2,22	122
2,01	1,17	50	1,92	0,81	95	1,82	2,33	126
2,21	1,29	52	2,12	0,9	100	2,02	2,44	130
2,42	1,33	52	2,33	0,95	103	2,21	2,53	140
2,61	1,40	54	2,53	0,99	108	2,42	2,6	147
2,80	1,47	54	2,73	1,05	113	2,59	2,68	155
2,99	1,53	56	2,92	1,09	116	2,77	2,75	161
3,20	1,58	57	3,11	1,11	120	2,96	2,81	166
3,40	1,63	57	3,31	1,14	124	3,16	2,87	170
3,59	1,67	58	3,53	1,16	128	3,36	2,91	173
3,78	1,71	57	3,72	1,16	130	3,57	2,98	176
3,99	1,74	60	3,91	1,18	131	3,74	3,07	177
4,18	1,78	60	4,10	1,2	133	3,94	3,13	180
4,39	1,82	61	4,30	1,21	135	4,15	3,18	181
4,58	1,86	61	4,51	1,22	135	4,36	3,22	183
4,77	1,88	61	4,72	1,22	133	4,55	3,28	183

Lo Sperimentatore

Roberto Diavoli

Direttore di Laboratorio

Ing. Lafranconi Zorzi

Sagedi S.r.l. - Via Giovanni Falcone, 51/C
02032 Passo Corese - Fara Sabazia (RI)
Tel. Fax 0765 487183 - Cod. Fisc. e Partita IVA 01072490674

[illegible]

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Sondaggio: **1** Campione: **1** Profondità di Prelievo da m: **6,00** a m: **6,50**
 Note:

INTERPRETAZIONE DELLA PROVA

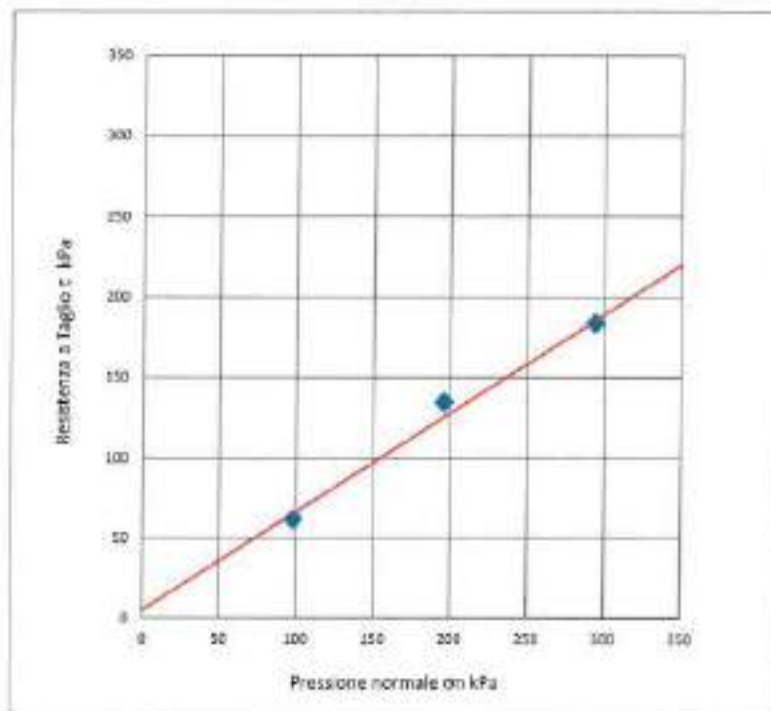
	Spostam. orizzontale a rottura (mm)	Deformazione Verticale a Rottura (%)	Tensione Normale applicata (kPa)	Tensione di Taglio a rottura (kPa)
PROVINO 1	4,98	1,90	98	61,9
PROVINO 2	4,51	1,22	198	134,8
PROVINO 3	4,94	3,42	294	183,8

Coesione efficace c'

5

Angolo d'attrito efficace ϕ'

32



GEOFIELD

Laboratori di geologia applicata e geotecnica
Via Po n. 16/a - Tel. e fax 0761/346244
01100 VITERBO

Viterbo, 21/03/2001

CERTIFICATO N° 35/01

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Committente: Dr. Geologo Vittorio Stocchi

Località: Castelnuovo di Porto

Campione di terreno: CI/S1 prelevato: Sondaggio S.1 Profondità: da -1.5 m a -2.0 m

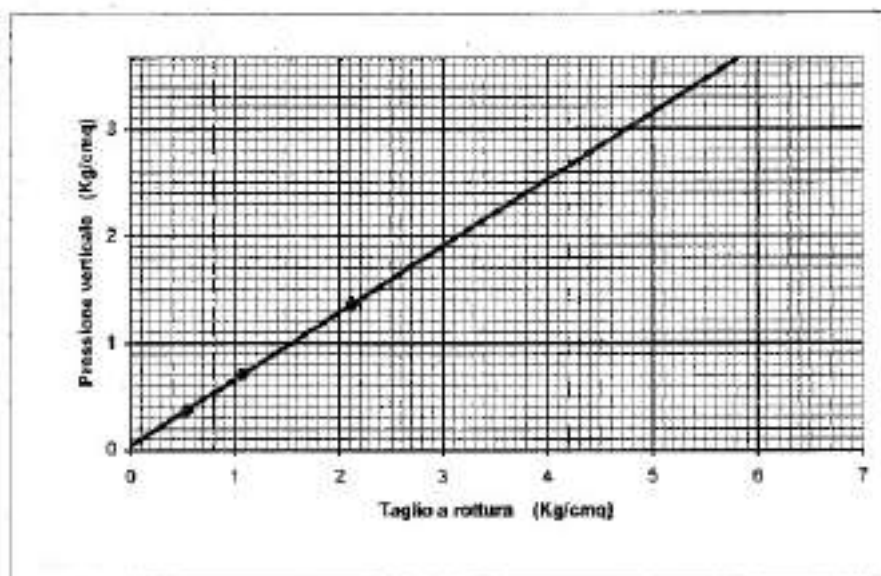
Stato del Campione: Q.3 AGI

Descrizione: Tufo sabbioso avana

Tipo della prova: C.D. Velocità di deformazione: 0,020 mm/min

Dimensioni del provino: $\varnothing = 60$ mm; $H = 20$ mm

Provino N°	1	2	3
Contenuto in acqua iniziale W_i (%)	23.13	23.36	22.98
Peso dell'umidità di volume γ (g/cm ³)	1.72	1.71	1.71
Pressione verticale σ (Kg/cm ²)	0.53	1.06	2.12
Deformazione verticale a rottura δ_v (mm)	0.12	0.19	0.27
Deformazione trasversale a rottura δ_t (mm)	3.21	3.48	3.62
Sollecitazione di taglio a rottura τ (Kg/cm ²)	0.37	0.70	1.36
Contenuto in acqua finale W_f (%)	23.72	23.67	23.19

Angolo di attrito interno: $\varphi = 32^\circ$ Coesione: $c = 0.04$ Kg/cm²

GEOFIELD*Laboratori di geologia applicata e geotecnica**Via Po n. 16/a - Tel. e fax 0761/346244***01100 VITERBO**

Viterbo, 21/03/2001

CERTIFICATO DI PROVA SU CAMPIONE DI TERRA N. 35/01

Committente: Dr. Geologo Vittorio Stocchi Località: Castelnuovo di Porto

Campione di terreno C1/S1 prelevato dal Sondaggio S.1 alla profondità di -1.5 -2.0 m dal p.c.

Stato del Campione: Q3 - AGI

Descrizione: Tufo sabbioso avana

FOGLIO RIASSUNTIVO

CARATTERISTICHE GENERALI	LIMITI DI CONSISTENZA
Contenuto in acqua iniziale: $W = 23.16 \%$	Limite Liquido: $LL =$
Peso dell'umidità di volume: $\gamma = 1.71$ g/cm ³	Limite Plastico: $LP =$
Peso specifico dei granuli: $\gamma_s = 2.61$ g/cm ³	Indice Plastico: $IP =$
Indice dei vuoti: $e = 0.87$	Limite di Ritiro: $LR =$
Porosità: $n = 46 \%$	Indice di Consistenza: $IC =$
Grado di saturazione: $S = 68 \%$	Stato di consistenza:

GRANULOMETRIA	Ghiaia: 13.6 %	Sabbia: 76.7 %	Limo: 9.7 %	Argilla: -
---------------	----------------	----------------	-------------	------------

CARATTERISTICHE MECCANICHE
Modulo di compressibilità Edometrico $E' =$
Coefficiente di consolidazione $C_v =$
Condizioni drenate: Angolo di attrito interno $\phi = 32^\circ$ Coesione $c = 0.04$ Kg/cm ²
Condizioni non drenate: Coesione $c_u =$

OSSERVAZIONI: