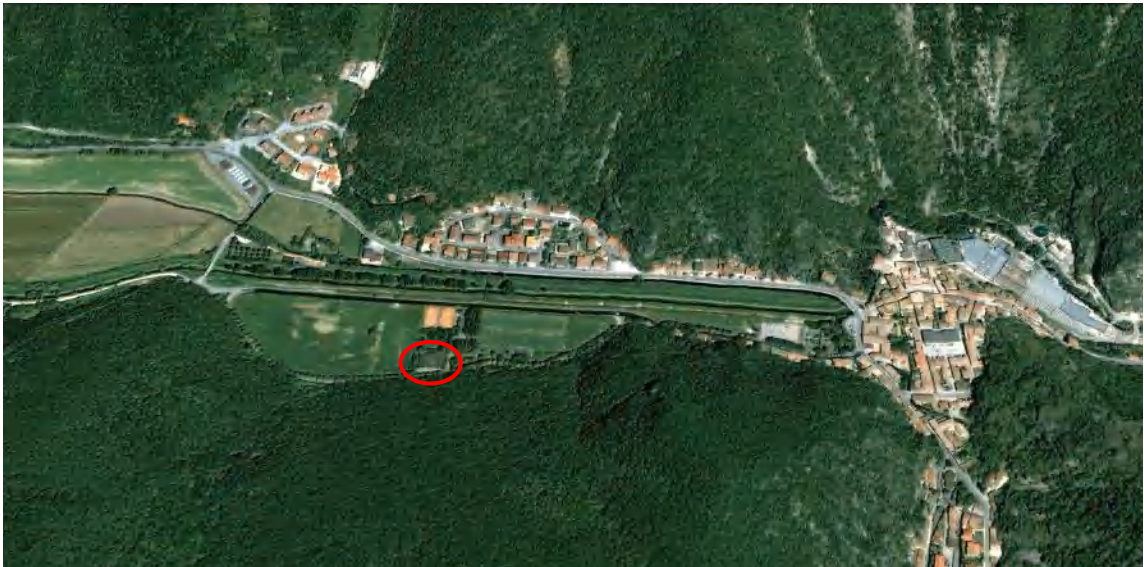


COMUNE DI PIORACO

Provincia di MACERATA

VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA PALESTRA SCOLASTICA DI PIORACO SITA IN LOCALITÀ PIÈ DI GUALDO

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PIORACO



STUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E SISMICO

Matelica, novembre 2018

Il Tecnico

Dott. Geol. Paolo Boldrini

Indice

1 - Generalità	pag.	2
2 - Caratteristiche geomorfologiche, geolitologiche ed idrogeologiche	pag.	3
3 - Litologia e caratteristiche geomeccaniche	pag.	4
4 – Sismicità	pag.	5
4.1 - Categorie di suolo di fondazione	pag.	5
4.2 – Azioni sismiche di progetto	pag.	6
4.3 – Pericolosità sismica locale	pag.	8
5 - Conclusioni	pag.	12

La presente relazione è costituita da n° 13 pagine e dai seguenti allegati:

- indagine sismica MASW
- indagine sismica MASW (documentazione reperita)
- indagine sismica passiva: misura dei microtremori
- relazione risposta sismica locale - STATO LIMITE DI DANNO [SLD]
- relazione risposta sismica locale - STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA [SLV]
- corografia in scala 1:25.000
- stralcio carta rischio idrogeologico del PAI
- stralcio carta geologica regionale in scala 1:10.000 (CARG)
- planimetria in scala 1:10.000
- planimetria 1:5.000
- stralcio carta delle indagini di MS3 (documentazione reperita)
- stralcio carta geologico-tecnica di MS3 (documentazione reperita)
- stralcio carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di MS3 (documentazione reperita)
- planimetria in scala 1:200
- sezione stratigrafica in scala 1:200
- stratigrafia sondaggio geognostico (documentazione reperita)
- tabulati prove penetrometriche (documentazione reperita)

COMUNE DI PIORACO

Provincia di Macerata

VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA PALESTRA SCOLASTICA DI PIORACO SITA IN LOCALITÀ PIÈ DI GUALDO

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PIORACO

STUDIO GEOLOGICO, GEOTECNICO E SISMICO

1 – GENERALITÀ

L'area in oggetto è localizzata circa 400 metri a ovest del centro storico di Pioraco, a una quota di circa 440 metri s.l.m.

Lo studio è finalizzato alla determinazione delle caratteristiche geologico-geotecniche e sismiche del sito, in relazione alla verifica della vulnerabilità sismica della palestra scolastica, secondo quanto richiesto dal D.M. 11/3/88 e dalla nuova Normativa Tecnica per le Costruzioni, di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

La ricostruzione delle caratteristiche geologiche, litostratigrafiche e geotecniche del terreno è stata fatta sulla base dei dati ricavati dal rilevamento geologico-geomorfologico e con le conoscenze desunte da indagini geologiche eseguite in aree adiacenti.

La palestra **non ricade nella carta di microzonazione sismica FA** del comune di Pioraco ma ricade all'interno della carta delle indagini, della carta geologico-tecnica e della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica - MOPS, di cui si allegano gli stralci. Inoltre si allega della stratigrafia del sondaggio P44S51, e la prova sismica 39LMASW2. Per la stesura della presente si è fatto inoltre riferimento ai dati deducibili dall'indagine geologica "Piano attuativo degli interventi sugli edifici pubblici - Palestra polivalente", eseguita dallo Studio Geologico GEO3, nel maggio 2003, di cui si allegano i tabulati della prova penetrometrica statica (E-CPT) P1rep. e i tabulati della prova penetrometrica dinamica (DPSH) P2rep.

Sono state inoltre eseguite un'indagine geofisica di tipo MASW e n° 3 indagine sismiche passive mediante tromino digitale HVSR, nei punti indicati nella planimetria in scala 1:200 allegata.

2 - CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE, GEOLITOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

L'area in esame è posta lungo la valle del fiume Potenza che attraversa, con una stretta incisione, la dorsale montuosa appenninica *Umbro-Marchigiana*, dove si rileva la presenza di un substrato calcareo. In particolare, l'area in esame è impostata sul fondovalle fluvio-lacustre del fiume Potenza che in questo tratto scorre, da ovest verso est, con andamento rettilineo. Il corso d'acqua ha un deflusso perenne e un carattere stagionale, con piene nel periodo tardo autunnale-primaverile e magre durante l'estate, a seguito di prolungati periodi siccitosi.

Il rilevamento geomorfologico e l'esame della cartografia tematica esistente (carta geologica regionale CARG) evidenziano che l'area in esame è posta alla destra idrografica del fiume Potenza al margine di un deposito lacustre, costituito da sedimenti riferibili all'*Olocene* (MUSE2). Verso sud, il deposito lacustre è delimitato dal versante calcareo, dove affiora la formazione della Corniola (COI), riferibile al *Sinemuriano inf. p.p. - Toarciano inf. p.p.* Il ripiano è costituito da una coltre di sedimenti prevalentemente limoso-argillosi ed argillosi a cui si intercalano sottili livelli limoso-sabbiosi e poggia su un deposito prevalentemente ghiaioso dello spessore di circa 30 metri. Nell'area in esame la coltre alluvionale ha uno spessore complessivo stimato di circa 48,5 metri e insiste sul substrato calcareo della Formazione della Corniola (COI).

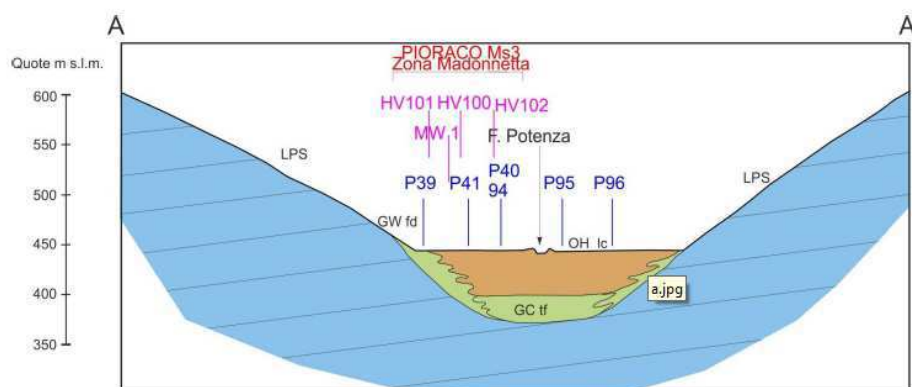


Fig. 1 – Sezione geologica passante per la valle del F. Potenza, attraverso i depositi fluvio lacustri (documentazione reperita da MS3 di Pioraco).

Con Deliberazione del Consiglio Regionale n. 116 del 21/01/2004, la Regione Marche ha approvato il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) dei bacini di rilievo regionale (pubblicato sul Supplemento n. 5 del BUR Marche n. 15 del 13/02/2004).

Il piano individua le aree soggette a rischio idrogeologico per esondazione, frane e valanghe, classificate secondo differenti livelli di pericolosità e di rischio in funzione del fenomeno e dell'esposizione di beni pubblici e privati, infrastrutture, patrimonio storico, ambientale, ecc.

Nell'area dove è posta la palestra ha individuato una zona a rischio Esondazione R3 e una zona a rischio Frana R3 e pericolosità P3 (F-16-0839).

I dati ottenuti tramite il rilevamento geologico-geomorfologico, i tabulati delle prove penetrometriche reperite e l'analisi della cartografia tematica esistente, permettono di ricostruire, in linea generale, le caratteristiche litostratigrafiche dell'area in questione.

In superficie è presente un sottile strato di **terreno di riporto e vegetale** che ricopre una coltre di depositi fluvio-lacustri, prevalentemente limoso-argillosi e argillosi, a cui si intercalano livelli di limi sabbiosi.

Nell'area in esame la falda di sub-alveo del fiume Potenza è posta a circa 3 metri dal p.c.

3 – LITOLOGIA E CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE

La successione verticale dei litotipi presenti, evidenziata nel corso della campagna geognostica, è dall'alto verso il basso così riassumibile (rif. prova penetrometrica P2rep.):

TERRENO DI RIPORTO - litotipo a

È costituito da pietrisco calcareo. L'addensamento è basso e lo spessore è di circa 0,5 metri. Le caratteristiche meccaniche sono eterogenee.

TERRENO VEGETALE - litotipo b

È costituito da limi-argillosi, di colore marrone, con ghiaia e si presenta privo di consistenza. Le caratteristiche geotecniche sono molto variabili, talora scadenti e pertanto deve essere superato ovunque dalla base delle fondazioni. Lo spessore massimo riscontrato è di circa 0,4 metri.

DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI - litotipo c - limi argilloso-sabbiosi

Tale litotipo è costituito da limi argilloso-sabbiosi, dello spessore di circa 4,7 metri. I depositi in questione si presentano plastici, sono poco permeabili, omogenei e compressibili.

DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI - litotipo d – argille

Tale litotipo è costituito da argille a cui si intercalano livelli di limi sabbiosi. I depositi in questione si presentano molto plastici, sono poco permeabili, omogenei e compressibili.

La **caratterizzazione geotecnica** dei terreni, presenti nell'immediato sottosuolo dell'area indagata, è stata effettuata per mezzo dei tabulati delle prove penetrometriche reperite e attraverso la ricerca di dati bibliografici.

Tabella riepilogativa

Parametri Geomeccanici	Terreno di riporto <u>Litotipo a</u>	Terreno vegetale <u>Litotipo b</u>	Depositi fluvio-lacustri limi argillosi <u>Litotipo c</u>	Depositi fluvio-lacustri argille <u>Litotipo d</u>
γ (g/cm ³)	1,75	1,75	1,9	1,9
C_u (Kg/cm ²)	-	-	0,3 – 0,4	0,1 – 0,3
C' (Kg/cm ²)	-	-	0,02 – 0,06	0,01 – 0,05
D_r (%)	-	-	-	-
φ (gradi)	25°	20°	20° - 21°	19° - 20°
v	-	-	0,45	0,45
σ (Kg/cm ²)	-	-	-	-
E (Kg/cm ²)	-	-	20 - 40	15 - 30

γ (g/cm³) = peso di volume

C_u (Kg/cm²) = coesione non drenata (**da usare con $\varphi=0$**)

C' (Kg/cm²) = coesione drenata

D_r (%) = densità relativa

φ (gradi) = angolo di attrito interno

ν = modulo di Poisson

σ (Kg/cmq) = resistenza a compressione uniassiale

E (Kg/cmq) = modulo di deformazione edometrico

4 – SISMICITÀ

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “**sito dipendente**” e non più tramite un criterio “**zona dipendente**”.

4.1- Categorie di suolo di fondazione

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.3 del D.M. 17 gennaio 2018. In alternativa, le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella 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 dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

Nel presente lavoro, essendo in presenza di una configurazione stratigrafica riconducibile ai tipi della Tabella 3.2.II delle NTC, la definizione dell'azione sismica è stata eseguita utilizzando l'approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento e categorie topografiche (Tabb. 3.2.II e 3.2.III). Ai fini dell'identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione 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:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

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 le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel presente lavoro sono state eseguite n° 4 indagini sismiche, una **prospezione sismica di tipo MASW** e tre misure con **tomografo digitale (HVSR)** elaborate utilizzando le Vs emerse dalla MASW, dalle quali risulta che il substrato sismico è posto ad una profondità superiore a 30 metri dal p.c. e un valore di Vs30 = **162 m/s (MASW)**, di **188 m/s (Tr1)**, **169 m/s (Tr2 – Tr3)**.

Pertanto sulla scorta delle misurazioni effettuate, è possibile ascrivere il profilo stratigrafico in oggetto alla **categoria “D”** - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana grossa fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 metri, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 d 180 m/s.

La **condizione topografica**, in riferimento alla tabella 3.2.IV - Categorie topografiche, – è ascrivibile alla **Categoria T1** – pendii con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

4.2 - Azioni sismiche di progetto

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una *pericolosità sismica di base*, in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria **A** nelle NTC). Le valutazioni della “pericolosità sismica di base” debbono derivare da studi condotti a livello nazionale. La *pericolosità sismica di base*, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche. La *pericolosità sismica* in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici sia in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (*reticolo di riferimento*) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un *intervallo di riferimento* compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto delle modifiche prodotte dalle *condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente* nel sito di costruzione e dalla *morfologia della superficie*. Tali modifiche caratterizzano la risposta sismica locale.

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- a_g accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del *reticolo di riferimento* e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla *pericolosità sismica*, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50^{esimo} percentile ed attribuendo a:

- a_g il valore previsto dalla *pericolosità sismica*,
- F_0 e T_c i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla *pericolosità sismica* (la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento V_R della costruzione,
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento P_{VR} associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di *pericolosità sismica* disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del *reticolo di riferimento*, i valori dei parametri p (a_g , F_0 , T_c^*) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del *reticolo di riferimento* contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI SISMICI				
Classe dell'edificio: 3 [affollamento significativo]			Vita nominale: 50 anni	
Coordinate sito in oggetto: latitudine: 43,17917 longitudine: 12,97820				
Coordinate nodi reticolo di riferimento e rispettive distanze dal sito in esame:				
ID: 22747	Lat: 43,1836	Lon: 12,9416	Distanza: 3012,662 [m]	
ID: 22748	Lat: 43,1839	Lon: 13,0101	Distanza: 2642,423 [m]	
ID: 22970	Lat: 43,1339	Lon: 13,0105	Distanza: 5671,826 [m]	
ID: 22969	Lat: 43,1336	Lon: 12,9420	Distanza: 5855,412 [m]	
Stato limite	T_R [anni]	a_g	F_0	T_c' [s]
Operatività [SLO] ⁱ	45	0,081g	2,412	0,285
Danno [SLD] ⁱⁱ	75	0,101g	2,402	0,294
Salvaguardia vita [SLV] ⁱⁱⁱ	712	0,232g	2,507	0,328
Prevenzione collasso [SLC] ^{iv}	1462	0,292g	2,532	0,337
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50				

ⁱ Probabilità di superamento: 81%

ⁱⁱ Probabilità di superamento: 63%

ⁱⁱⁱ Probabilità di superamento: 10%

^{iv} Probabilità di superamento: 5%

CALCOLO DEI COEFFICIENTI SISMICI				
Tipo di elaborazione: stabilità dei pendii e fondazioni				
Categoria sottosuolo: D		Categoria topografica: T1		
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss :coeff.amplif. stratigrafica	1,800	1,800	1,530	1,290
Cc :coeff. funzione categoria	2,340	2,300	2,180	2,150
St :coeff.amplif. topografica	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,029	0,044	0,099	0,106
Kv	0,015	0,022	0,050	0,053
Amax [m/s ²]	1,428	1,782	3,482	3,696
β	0,200	0,240	0,280	0,280

4.3 - Pericolosità sismica locale

Gli elementi di valutazione scaturiti dalla presente indagine, indicano:

- ✓ amplificazione sismica locale per ragioni stratigrafiche secondo le NTC 2018 [suolo di categoria "D" ⇒ **Ss**: coefficiente di amplificazione stratigrafica= **1,53** per **SLV** e **1,8** per **SLD**];
- ✓ amplificazione nulla per gli aspetti morfologici [**St**: coefficiente di amplificazione topografica=**1,0**];
- ✓ ^vaccelerazione sismica orizzontale: **ag= 0,175g**
- ✓ ^{vi}coefficiente di amplificazione S f[S_s;S_t]: **S=S_s × S_t=1,53 × 1,0=1,53**
- ✓ nella curva H/V [Horizontal to Vertical spectra ratio] si rileva una modesta amplificazione sismica alla frequenza **1,97 Hz** in **Tr01**, **2,44 Hz** in **Tr02** e **2,19 Hz** in **Tr03** ;
- ✓ il substrato sismico è stato rilevato a una profondità di circa **48,5 metri** dal p.c.

La palestra scolastica è posta su un'area interessata da una parte degli studi di **Microzonazione Sismica di 3° livello**. In particolare nella carta delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica è posta in corrispondenza della **ZA id – Zone di attenzione per instabilità differenti - Zona 30702005 – Zona 30702013** (Zone di attenzione per instabilità). Non è stata eseguita la carta di microzonazione sismica FA.

Visto che la palestra ricade nella **classe di edificio 3 (affollamento significativo)** si è proceduto ad eseguire uno studio di **RISPOSTA SISMICA LOCALE - STATO LIMITE DI DANNO [SLD]** e uno studio di **RISPOSTA SISMICA LOCALE - STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA [SLV]**.

Qui di seguito si riporta la sintesi del risultato

(per gli aspetti connessi alla modellazione sismica del sito, si rimanda alla relazione specifica allegata)

^v Stato limite SLV.

^{vi} È il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_s \times S_T$

STATO LIMITE DI DANNO [SLD]**stato limite SLD**

valori di magnitudo compresi tra 4.0 e 6.5 M_w
 distanza epicentrale compresa tra 0 e 40 Km.

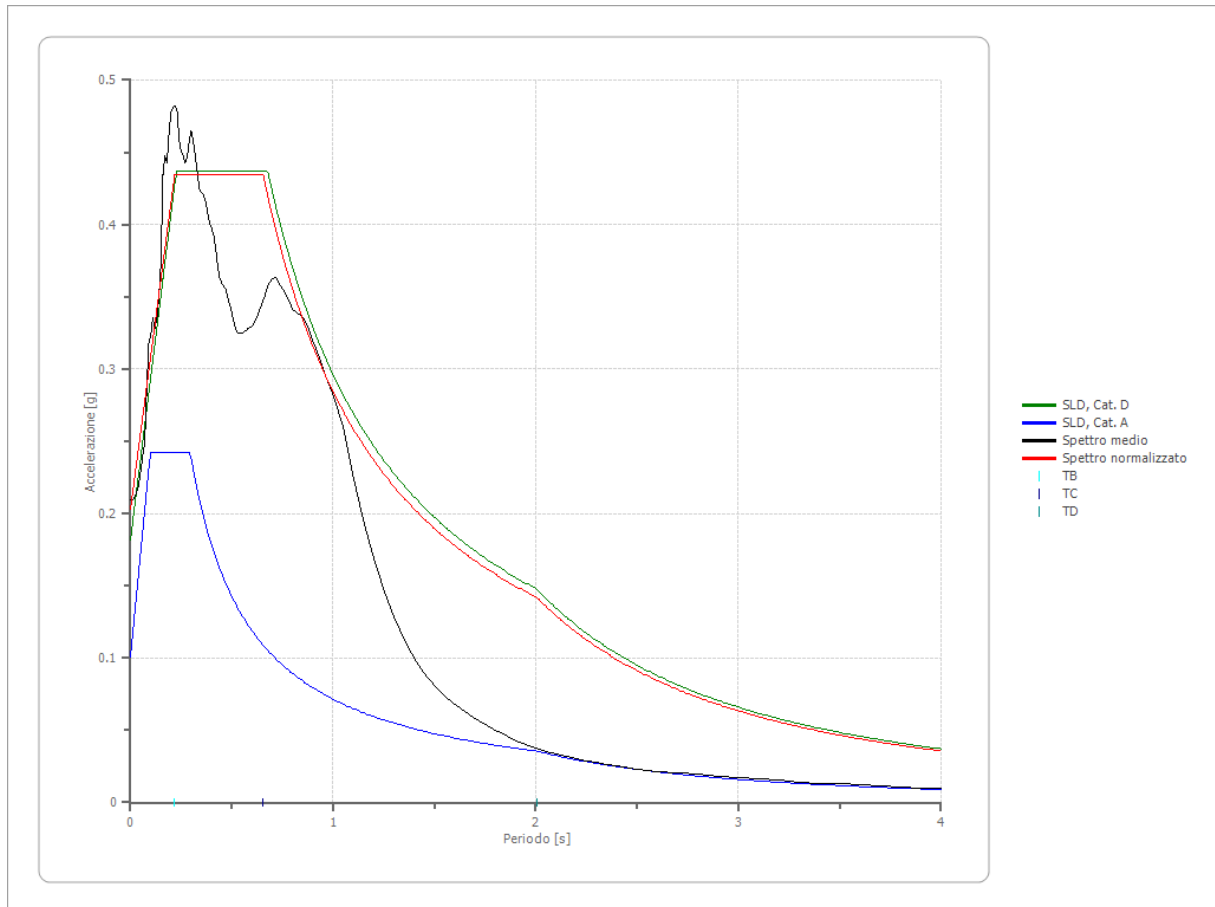
Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.072	0.125	0.200	1.738
0.400	0.800	0.104	0.160	0.500	1.545
0.700	1.100	0.109	0.141	0.636	1.297

Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operativit à SLO Cat. D	Danno SLD Cat. D	Salvagnar dia vita SLV Cat. D	Prev. collasso SLC Cat. D	Operativit à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvagnar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.081	0.101	0.232	0.292	0.081	0.101	0.232	0.292
Fo	2.412	2.402	2.507	2.532	2.412	2.402	2.507	2.532
Tc* [s]	0.285	0.294	0.328	0.337	0.285	0.294	0.328	0.337
Ss	1.80	1.80	1.53	1.29	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	2.34	2.31	2.18	2.15	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.222	0.226	0.239	0.242	0.095	0.098	0.109	0.112
TC [s]	0.667	0.678	0.716	0.726	0.285	0.294	0.328	0.337
TD [s]	1.924	2.004	2.528	2.768	1.924	2.004	2.528	2.768
Se(0) [g]	0.146	0.182	0.354	0.377	0.081	0.101	0.232	0.292
Se(TB) [g]	0.352	0.437	0.888	0.954	0.195	0.243	0.582	0.739



Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.203	2.136	0.150	1.300	1.5	0.050	0.150	1.000	0.124	0.176

STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA [SLV]

stato limite SLV

valori di magnitudo compresi tra 5.5 e 7.5 M_w

distanza epicentrale compresa tra 0 e 60 Km.

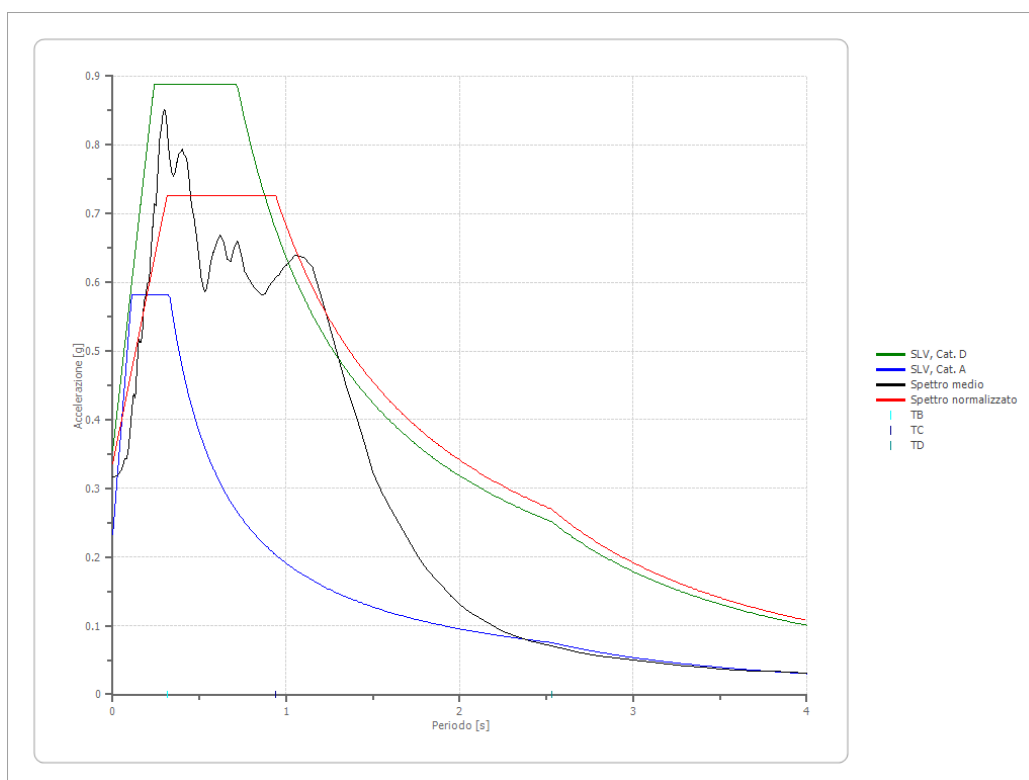
Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.078	0.115	0.200	1.476
0.400	0.800	0.115	0.224	0.500	1.944
0.700	1.100	0.129	0.338	0.636	2.628

Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operativit à SLO Cat. D	Danno SLD Cat. D	Salvagnar dia vita SLV Cat. D	Prev. collasso SLC Cat. D	Operativit à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvagnar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.081	0.101	0.232	0.292	0.081	0.101	0.232	0.292
Fo	2.412	2.402	2.507	2.532	2.412	2.402	2.507	2.532
Tc* [s]	0.285	0.294	0.328	0.337	0.285	0.294	0.328	0.337
Ss	1.80	1.80	1.53	1.29	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	2.34	2.31	2.18	2.15	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.222	0.226	0.239	0.242	0.095	0.098	0.109	0.112
TC [s]	0.667	0.678	0.716	0.726	0.285	0.294	0.328	0.337
TD [s]	1.924	2.004	2.528	2.768	1.924	2.004	2.528	2.768
Se(0) [g]	0.146	0.182	0.354	0.377	0.081	0.101	0.232	0.292
Se(TB) [g]	0.352	0.437	0.888	0.955	0.195	0.243	0.582	0.739



Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se (0) [g]	Se (TB) [g]
0.336	2.160	0.150	1.690	1.5	0.050	0.150	1.000	0.263	0.379

Dall'analisi dei dati della risposta sismica locale emerge che il fattore di amplificazione sismica **Fa**, relativo a fabbricati caratterizzati da periodo **T** compreso tra 0,1-0,5 s, è pari a **1,738** in **SLD 1,476** in **SLV**. Emerge inoltre che lo spettro normalizzato della RSL nello stato limite **SLD** è appena più basso dello spettro semplificato di norma delle NTC 2018 (nella fattispecie categoria di sottosuolo D) mentre lo spettro normalizzato della RSL nello stato limite **SLV** è più basso.

In sintesi la modellazione sismica del sito eseguita mediante l'approccio semplificato condurrebbe ad una schematizzazione degli effetti di sito a favore della sicurezza e rispondente alle reali condizioni amplificative del sito.

5 - CONCLUSIONI

La palestra è localizzata su un'area pianeggiante posta alla destra idrografica del fiume Potenza al margine di un deposito lacustre, costituito da sedimenti riferibili all'*Olocene* (MUSE2). Nell'area in esame la coltre alluvionale ha uno spessore complessivo stimato di circa 48,5 metri e insiste sul substrato calcareo della Formazione della Corniola (COI).

Lo studio geologico ha evidenziato che la palestra è posta in una zona a rischio Esondazione R3 e una zona a rischio Frana R3 e pericolosità P3 (F-16-0839).

Nella carta delle Microzone Omogenee in prospettiva Sismica, redatta dagli studi di **Microzonazione Sismica di 3° livello**, è posta in corrispondenza della **ZA id – Zone di attenzione per instabilità differenti - Zona 30702005 – Zona 30702013** (Zone di attenzione per instabilità). Non è stata eseguita la carta di microzonazione sismica FA.

Dall'esame della sezione stratigrafica allegata si osserva che in tutta l'area interessata dall'intervento è possibile reperire, sotto lo strato di terreno di riporto (**litotipo a**) e quello vegetale, (**litotipo b**) i sedimenti fluvio-lacustri prevalentemente limoso-argillosi ed argillosi, (**litotipo c e d**), plastici. Alla profondità di circa 3 metri dal p.c. si rileva la falda di sub-alveo del fiume Potenza. Il substrato sismico è posto alla profondità di 48,5 metri dal p.c.

Dall'osservazione della struttura si evince l'assenza di cedimenti fondali ed a seguito dell'evento sismico che ha colpito il territorio marchigiano a partire dal 24 agosto 2016, il manufatto non ha subito danni.

L'indagine sismica ha permesso di ascrivere il terreno alla **Categoria D**. La condizione topografica è ascrivibile alla **Categoria T1** – pendii con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

Le indagini sismiche HVSR eseguite mostrano curve H/V [Horizontal to Vertical spectra ratio] con picchi di modesta ampiezza [A=3] nell'intorno delle frequenze 1.97 – 2.44 Hz.

Per la modellazione sismica del sito ove insiste la palestra, sono stati eseguiti due studi di Risposta Sismica Locale, uno allo STATO LIMITE DI DANNO [SLD] e uno allo STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA [SLV], ben illustrati nelle apposite relazioni. Dalla modellazione emerge un FA 0,1-0,5s di **1,738** in **SLD 1,476** in **SLV**.

Dall'analisi dei dati delle relazioni di risposta sismica locale emerge che l'approccio semplificato condurrebbe ad una schematizzazione degli effetti di sito a favore della sicurezza e quindi si consiglia da utilizzare nei calcoli.

Matelica 12 novembre 2018

Il tecnico
Dott. Geol. Paolo Boldrini



INDAGINI GEOFISICHE

Analisi congiunta MASW

Onde di Rayleigh componente radiale e verticale

Analisi microtremori a stazione singola HVSR



Comune: Pioraco (MC)

Località: Palestra di Pioraco

Committente: Bodrini Paol

Data: 11/10/2018

Dott. Geol. Alessandrini Andrea



Dott. Geol. Bassano Francesco





1 - INTRODUZIONE

Le presenti indagini sono state eseguite presso la palestra di Pioraco – Comune di Pioraco (MC), su incarico del Dott. Geol. Boldrini Paolo, allo scopo di effettuare una stima della $V_{s,eq}$ del sito in esame tramite l'esecuzione di una indagine M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves) in Onde di Rayleigh e in Onde di Love e una stima delle frequenze d'interesse di sito mediante indagini HVSR.

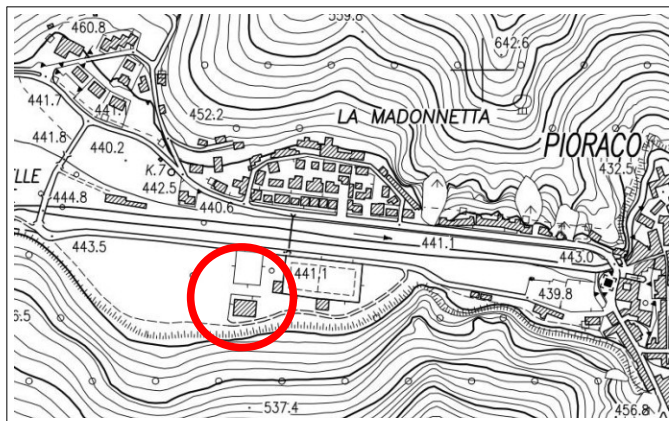


Fig. 1: Stralcio CTR 312040 "Pioraco" e ubicazione area d'indagine.



Fig. 2: Foto aerea con ubicazione area d'indagine.¹

2 - HARDWARE & SOFTWARE

Sismografo PASI GEA24 - 24 Canali

Geofoni verticali e orizzontali da 4.5 Hz

Piattello, traversina e mazza da 10 kg

WinMASW 7.2 Academy

Terna Triassiale



¹ - Tutte le foto aeree del presente elaborato sono reperite tramite Google.



3 - METODOLOGIE – MASW E HVSR

Metodologia M.A.S.W.

La tecnica M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una procedura non invasiva che consente di estrapolare il valore della $V_{s,eq}$ sulla base della stima di un possibile profilo verticale della velocità delle onde di taglio V_s nei primi metri di sottosuolo sulla base delle attuali norme vigenti [NTC 2018]; si contraddistingue per l'utilizzo di una sorgente impulsiva che genera onde superficiali, la cui propagazione, dipendente dalle caratteristiche stratigrafiche del sito, viene registrata da una serie di sensori (geofoni) posti lungo uno stendimento.

Metodologia HVSR

La tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una procedura non invasiva, che non necessita di perforazioni o lunghi stendimenti e che consente lo studio di possibili frequenze d'interesse del sito.

L'indagine è contraddistinta dall'assenza di sorgenti impulsive artificiali, andando a registrare i rumori ambientali (microtremori), sempre presenti in natura, in quanto generati da fenomeni quali onde, vento e attività antropiche.

I fondamenti teorici su cui questi metodi si basano si riferiscono ad un semispazio stratificato, con strati paralleli ed orizzontali; la presenza di strati con inclinazioni eccessive (superiori a circa 15°) richiede sicuramente un'attenzione particolare nell'analisi dei dati, generando un maggior grado di incertezza nei risultati finali.

Un'importante considerazione riguarda il concetto di non univocità dell'interpretazione dei dati, che affligge in diverso grado tutte le tecniche geofisiche; difatti, il risultato dell'elaborazione di un dato acquisito può portare alla definizione di differenti modelli tutti in accordo con il dato di partenza; a tal proposito, onde limitare quanto possibile tale caratteristica dei metodi geofisici, è sempre raccomandabile effettuare analisi congiunte che utilizzino differenti approcci.

La disponibilità di conoscenze geologiche e stratigrafiche del sito in esame provenienti da altre indagini (sondaggi, penetrometrie, ecc.), è fondamentale per diminuire quanto più possibile il grado di incertezza insito nelle metodologie stesse.



4 - ACQUISIZIONE MASW

Sito di Indagine:	Palestra di Pioraco Comune di Pioraco (MC)
Lunghezza Stendimento:	55 m
Distanza Intergeofonica:	5 m
Periodo di Campionamento:	125 μ s

N°	Nome	Onda Acquisita	Offset Battuta (m)	Lunghezza acquisizione (μ s)	Stacking n° colpi
1	THFDX5MO3	Love	3	1500	5
2	THFDX5MO10	Love	10	1500	5
3	RVFDX5MO3	Rayleigh	3	1500	5
4	RVFDX5MO5	Rayleigh	5	1500	5
5	ZVFDX5MO2	Rayleigh	2	1500	5
6	ZVFDX5MO10	Rayleigh	10	1500	5



Fig. 3: Stendimento MASW.

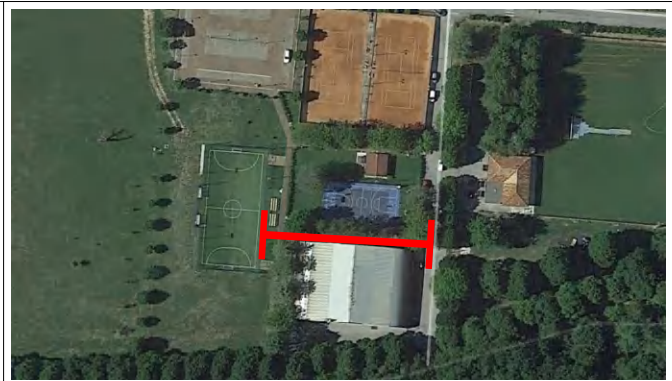


Fig. 4: Ubicazione indicativa stendimento.



Fig. 5: Energizzazione Onde di Rayleigh.



Fig. 6: Energizzazione Onde di Love.



Nelle figure seguenti si riportano i dati acquisiti e i relativi Spettri di Velocità del sito in esame; tali dati, in quanto non ancora elaborati, rappresentano il dato oggettivo acquisito in campagna.

Nello specifico, Fig. 7 vengono illustrati i dataset e Spettro di Velocità relativi alle Onde di Rayleigh – componente verticale, in Fig. 8 i dati relativi alle Onde di Rayleigh – componente radiale.

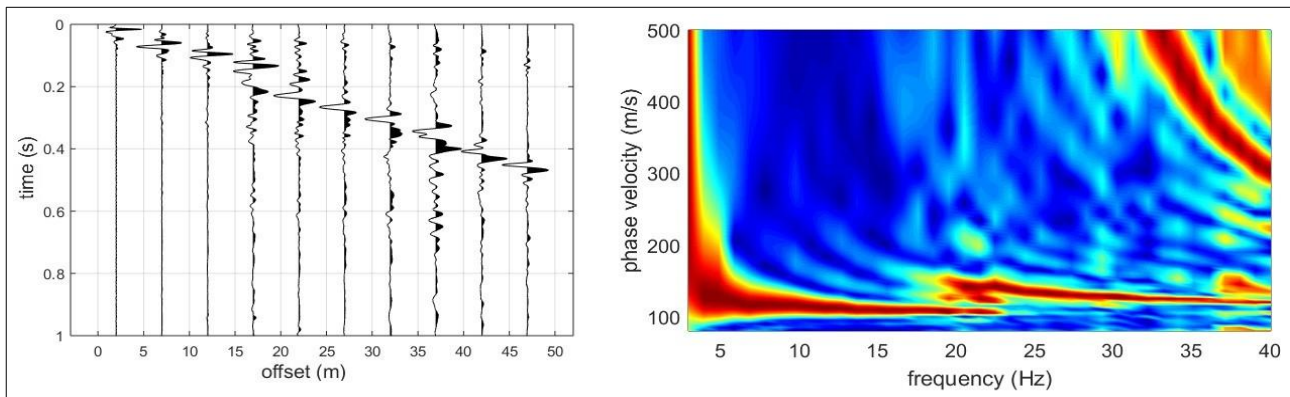


Fig. 7: Dataset e spettro - Onde di Rayleigh componente verticale.

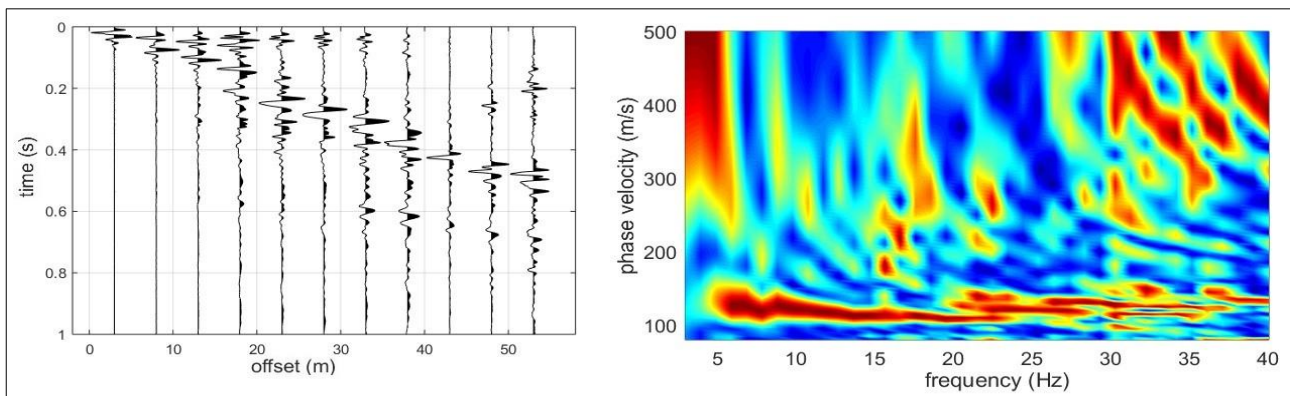


Fig. 8: Dataset e spettro - Onde di Rayleigh componente radiale.



5 – ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH

Si riportano di seguito i risultati dell'elaborazione effettuata, consistenti negli Spettri di Velocità ottenuti dai datasets acquisiti e la curva modale relativa al modello estrapolato ad essi sovrapposto. In Fig. 9 e 10 si riportano i risultati relativo alle Onde di Rayleigh componente verticale e componente radiale. La Fig. 11 mostra il fitting fra la curva HVSr osservata in campagna con la curva modellizzata, la Fig. 12 mostra un modello sismostratigrafico ritenuto plausibile per il sito in oggetto anche sulla base delle conoscenze geologiche e stratigrafiche dell'area forniteci dal tecnico incaricato.

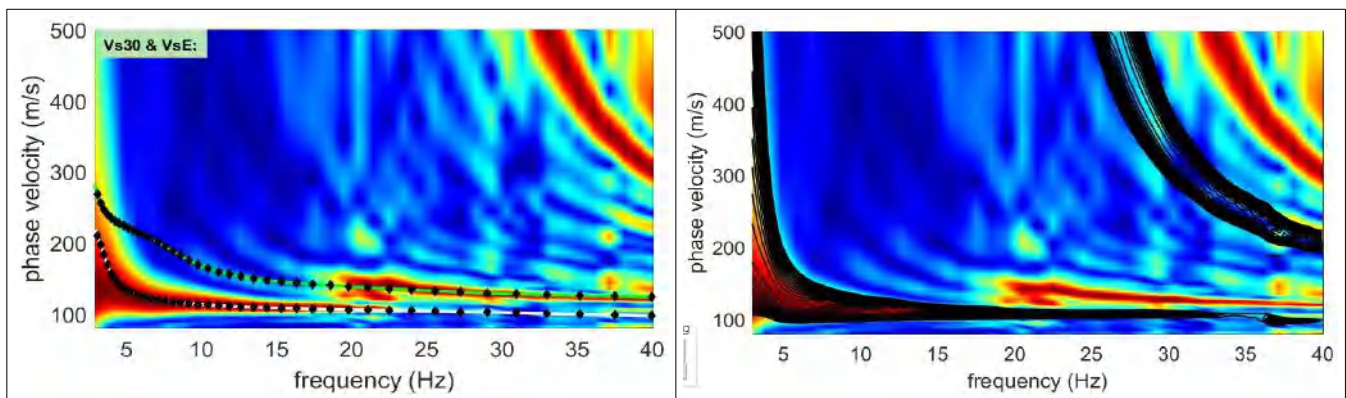


Fig. 9: Spettro con curva modale a sinistra e spettri sintetici a destra – Onde di Rayleigh componente verticale.

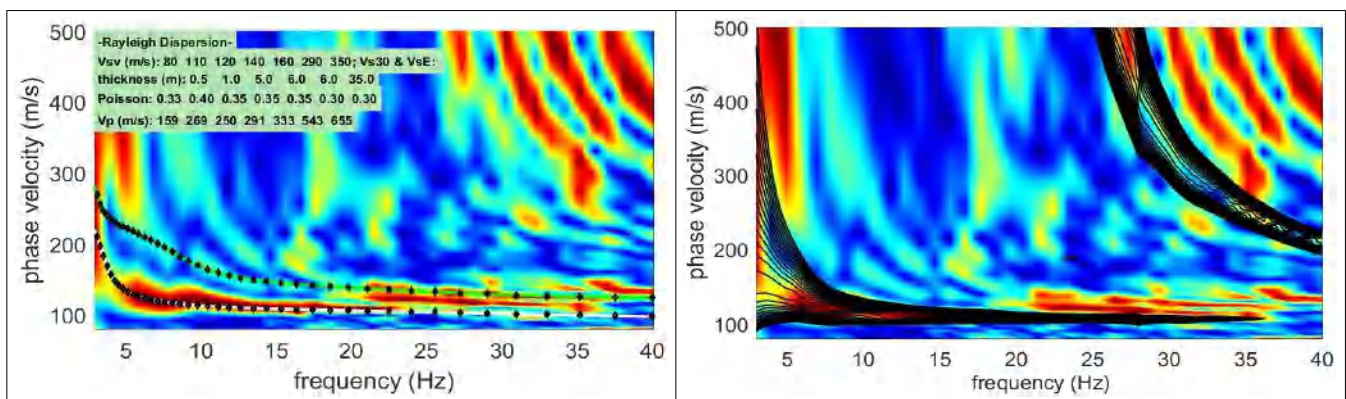


Fig. 10: Spettro con curva modale a sinistra e spettri sintetici a destra – Onde di Rayleigh componente radiale.

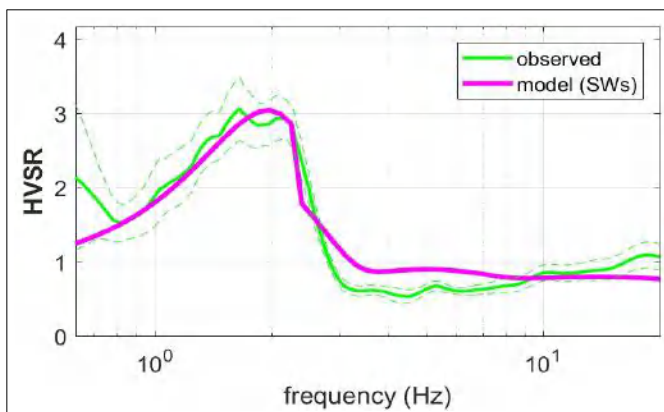


Fig. 11: Fitting curva HVSr (dati forniti dal geologo incaricato)

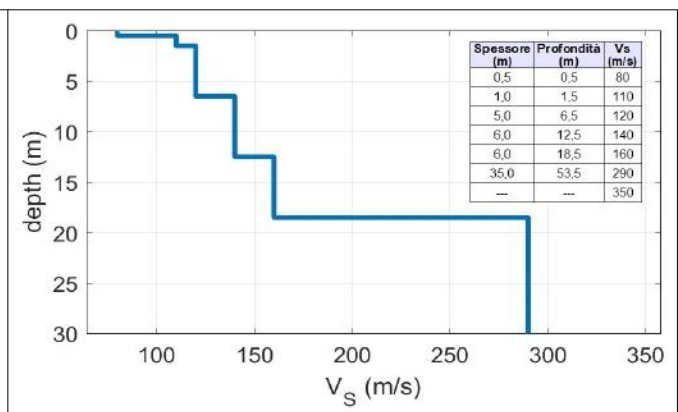


Fig. 12: Profilo verticale V_s ipotizzato.



6 - CONCLUSIONI

Le presenti indagini, svolte su incarico del Dott. Geol. Boldrini Paolo, hanno come finalità la stima del valore della $V_{s,eq}$, caratterizzante l'area sita presso la palestra di Pioraco – Comune di Pioraco (MC),

- Il modello estrapolato sulla base dei dati MASW (Analisi congiunta Onde di Rayleigh componente verticale e radiale) permette di stimare un valore della $V_{s,eq}$ riferito al p.c. pari a **169 m/s**.

L'utilizzo di tali valori va considerato alla luce delle caratteristiche proprie del sito in oggetto, dell'intervento che si intende effettuare e dei limiti delle metodologie stesse.

Si riporta di seguito una tabella esplicativa che mostra il valore della $V_{s,eq}$ rapportato a diverse profondità di riferimento rispetto all'attuale piano campagna, in accordo con le NTC 2018.

PROFONDITA'	MASW $V_{s,eq}$ (m/s)
0 m	169
1 m	177
2 m	182
3 m	188

Tolentino, 11/10/2018

Dott. Geol. Alessandrini Andrea



Dott. Geol. Bassano Francesco



La presente relazione è particolare espressione del lavoro intellettuale e come tale è tutelata dalla legge 633/1941, ne è pertanto vietato qualsiasi altro utilizzo diverso di quello per cui è stata commissionata.

L2 (ex Masw2+Hv3)

Campagna	Pioraco	Data	28/09/2017
Profilo	Masw	Operatore	A. Curatolo
Strumento	Ambrogeo Echo24	Condizioni Meteo	Sereno
Sorgente	mazza battente	Formato Dati	Sgy-Sg2
Frequenza Geofoni	4,5 Hz	Spaziatura Geofoni	2 m
Freq. Campionamento	0.478 ms	Lungh. registrazione	1000ms
Coordinate			
Inizio Profilo		Fine Profilo	
Latitudine	4782769	Latitudine	4782764
Longitudine	335682	Longitudine	335729
Quota			

Mappa

Foto



Schema geometria

Energizzazioni: 6 Ricevitori24

Energiz. N°	Posizione Energiz.	Nome file	Posizioni Ricevitori	Tracce inattive	Note (Rumore, Energ. singola, stackEnerg.)
1	-4 m	01	0-46 m	0	6
2	-6 m	02	0-46 m	0	6
3	-10 m	03	0-46 m	0	6
4	50 m	04	0-46 m	0	6
5	54	05	0-46 m	0	6
6	58	06	0-46 m	0	6

Foglio Campagna acquisizione RIFRAZIONE/MAS

Interpretazione dei risultati

Frequenza finale

Frequenza iniziale

45 Hz

02 Hz

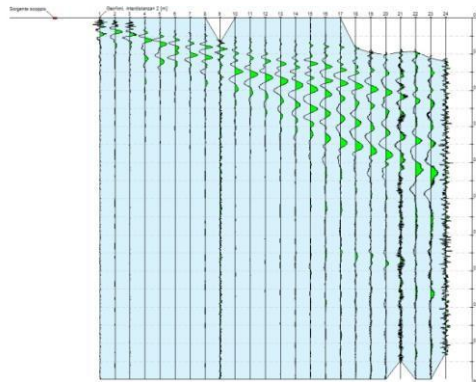


Fig. 6: Tracce sperimentali

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	Std. Dev
4.20	171.02	42.76
5.52	152.23	38.06
7.60	137.70	34.43
10.14	130.87	32.72
13.07	124.03	31.01
15.80	121.47	30.37
18.63	122.32	30.58
23.06	124.03	31.01
26.36	123.18	30.79
30.88	128.30	32.08
34.56	127.45	31.86
38.42	128.30	32.08
41.81	128.30	32.08

Tab.3: Curva di dispersione ed intervallo di confidenza.

Foglio Campagna acquisizione RIFRAZIONE/MAS

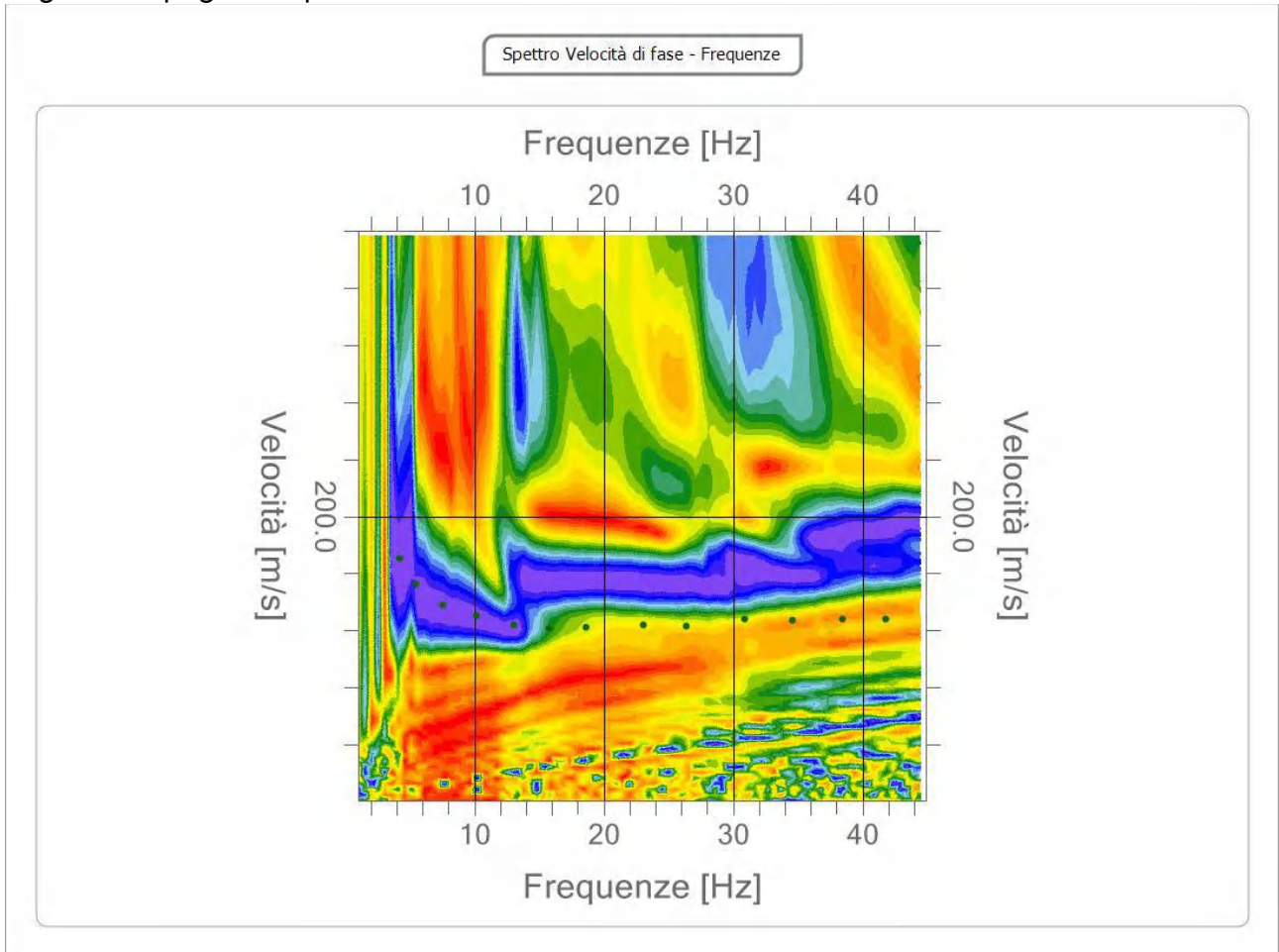


Fig. 7: Spettro velocità di fase

Inversione congiunta HV+MASW

ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH E ONDE DI LOVE + HVSr

INVERSION SETTINGS – First step model		
Type of inversion algorithm	<i>Global optimization - Monte Carlo sampling</i>	
Number of iterations	100	
Initial population	100	
Perturbation range	10% (first model) – 5% (second model)	
Low parameters zone	<i>Allows low velocity zones to exist (LVZ) for Vs</i>	Yes
	<i>Allows low velocity zones to exist (LVZ) for Vp</i>	Yes
	<i>Maximum Vs for half space</i>	Yes
Wave parameters	<i>Rayleigh wave modes</i>	5
	<i>Love wave modes</i>	5
	<i>Minimum number of samples</i>	1000
	<i>Maximum number of samples</i>	2000
	<i>Regularization factor</i>	0.01

INVERSION SETTINGS – second step model		
Type of inversion algorithm	<i>Global optimization - Modified Simulated Annealing</i>	
Number of iterations	100	
Number of Reheatings	0	
Number of last iterations	100	
Initial population	50	
Perturbation range	5% (first model)	
Initial temperature	<i>relative misfit increment</i>	0.5
	<i>probability of acceptance</i>	0.5
Cooling schedule	<i>temperature ratio</i>	0.9
Low parameters zone	<i>Allows low velocity zones to exist (LVZ) for Vs</i>	Yes
	<i>Allows low velocity zones to exist (LVZ) for Vp</i>	Yes
	<i>Maximum Vs for half space</i>	Yes
Wave parameters	<i>Rayleigh wave modes</i>	5
	<i>Love wave modes</i>	5
	<i>Minimum number of samples</i>	1000
	<i>Maximum number of samples</i>	2000
	<i>Regularization factor</i>	0.01

Inversione congiunta HV+MASW

Spessor e min (m)	Spessor e max (m)	VP min (m/sec)	VP max (m/sec)	VS min (m/sec)	VS max (m/sec)	Densitymi n (kg/m ³)	Densityma x (kg/m ³)	Poisson ratio min	Poisson ratio man
5	15	400	1000	130	300	1700	2000	0.15	0.45
5	15	350	800	120	200	1650	2000	0.15	0.45
5	20	400	1000	151	350	1800	2000	0.15	0.45
5	20	450	1200	136	250	1800	2000	0.15	0.45
semispazio	-	500	1600	250	1000	1950	2200	0.15	0.45

Tab.4: Parametri di input per la modellazione.

PRIMA MODELLAZIONE

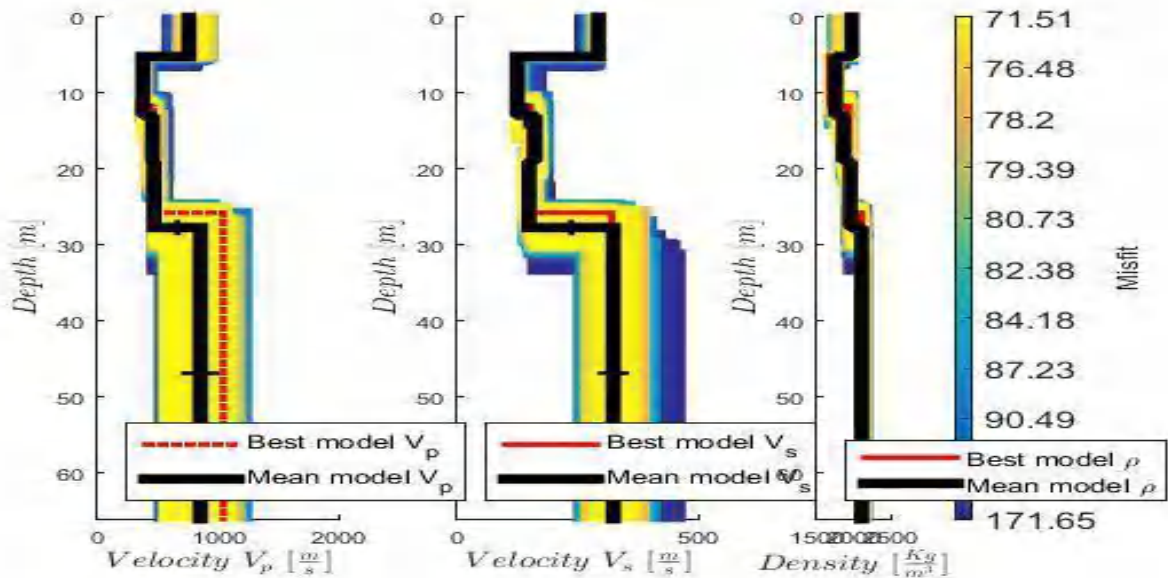
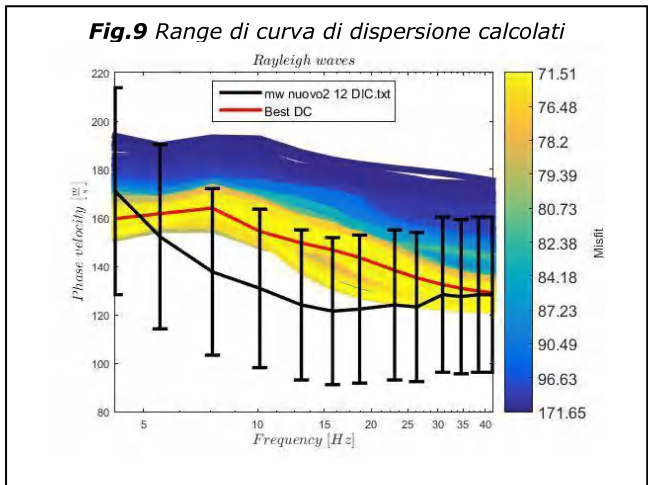
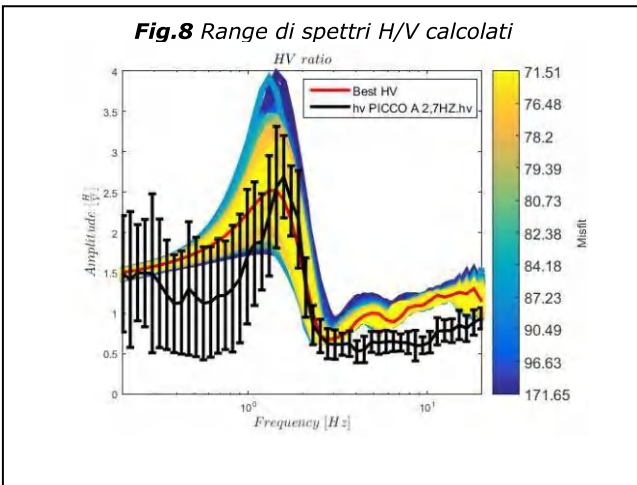


Fig. 10: range di velocità P, S e densità calcolati

Inversione congiunta HV+MASW

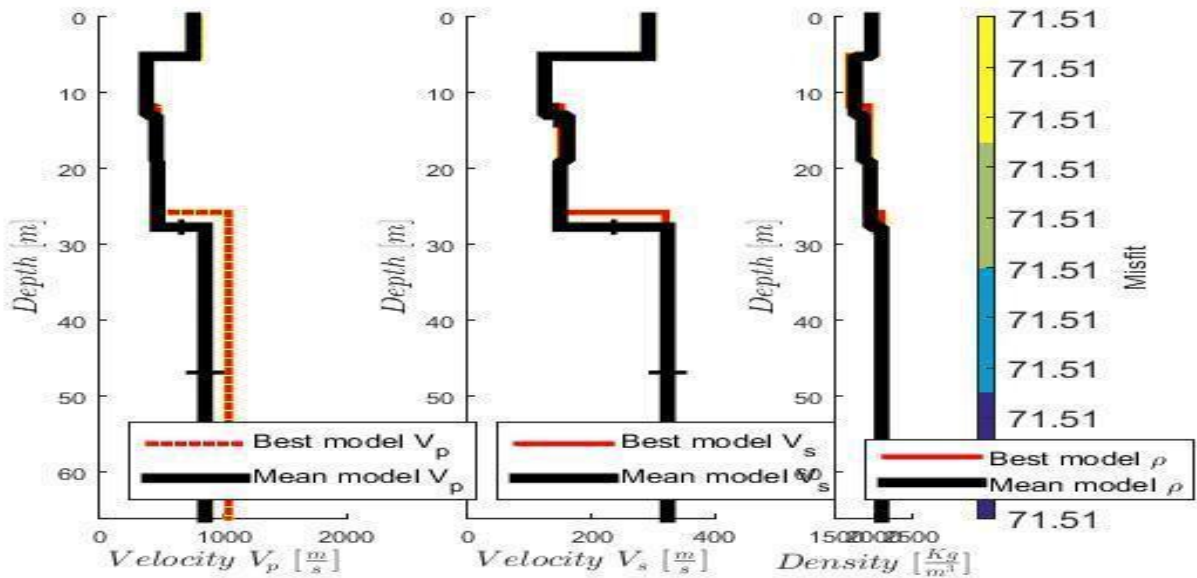
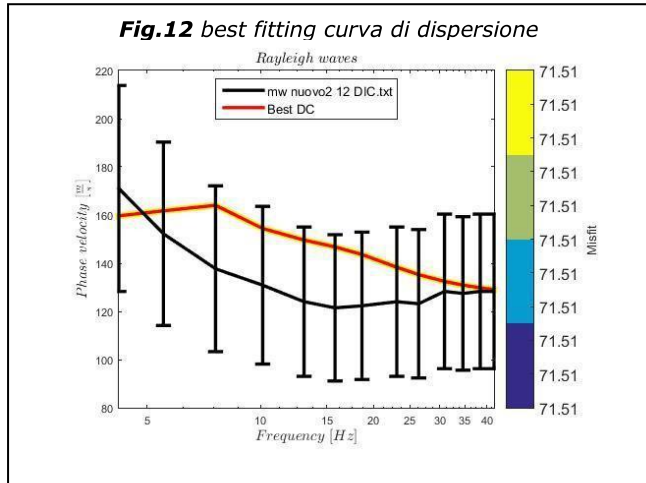
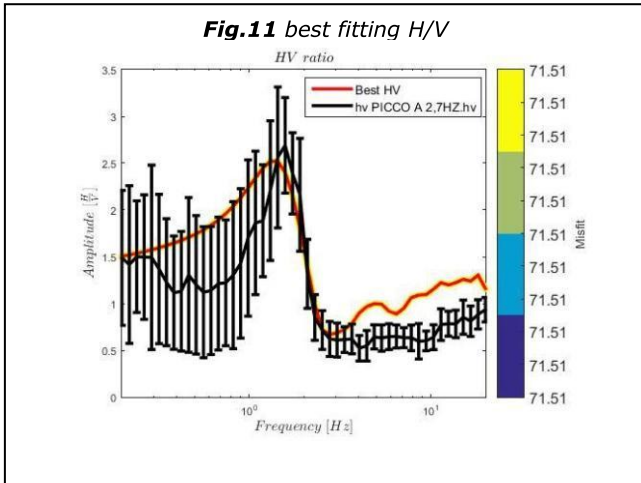


Fig. 13: best fitting velocità P, S e densità calcolati

Fig.14 risultatimodellazione
Inversion report

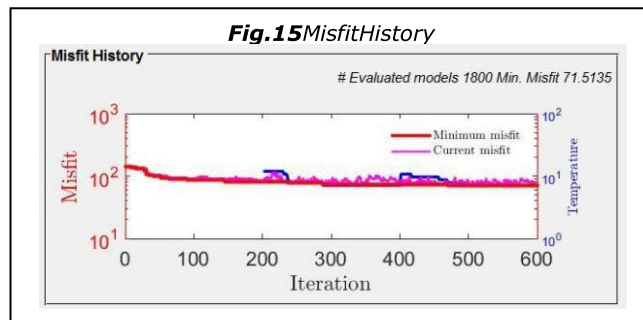
Method Inversion : Modified SA
Number of Iterations : 600
Number of reheatings : 0
Number of last iterations : 100

Initial Temperature : 10.6918
Final Temperature : 6.9841
Temperature ratio : 0.9
Perturbation range : 5%

Models evaluated : 1800
Valid models : 1800
Models for statistics : 100

Maximum misfit : 171.651
Minimum misfit : 71.5135

Total time : 1573.7947
Avg time per model : 0.86627



Inversione congiunta HV+MASW

Spessore (m)	Profondità (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	Density (kg/m ³)
5	5	795	298	1997
7	12	375	125	1680
7	19	468	152	1931
7	26	451	149	1917
semispazio	-	1046	321	2107

Tab.5: Parametri di output modello 1.

SECONDA MODELLAZIONE

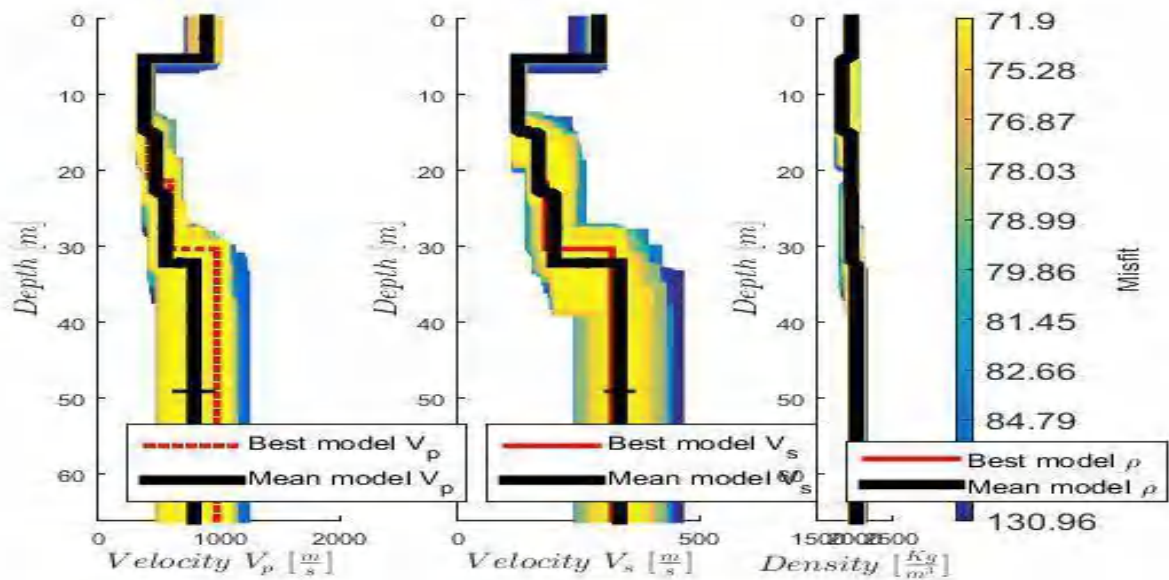
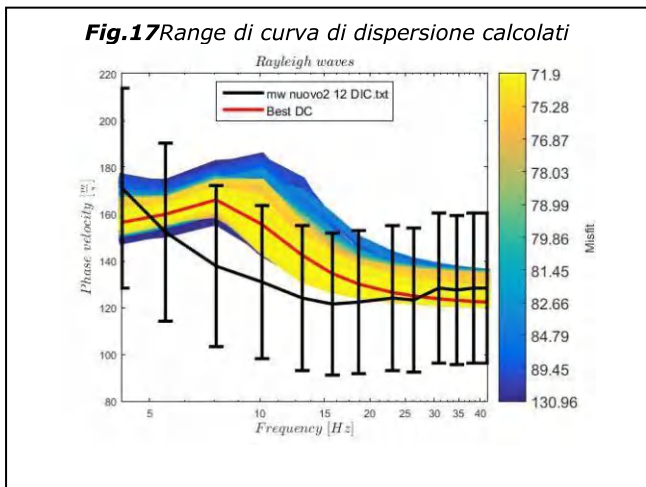
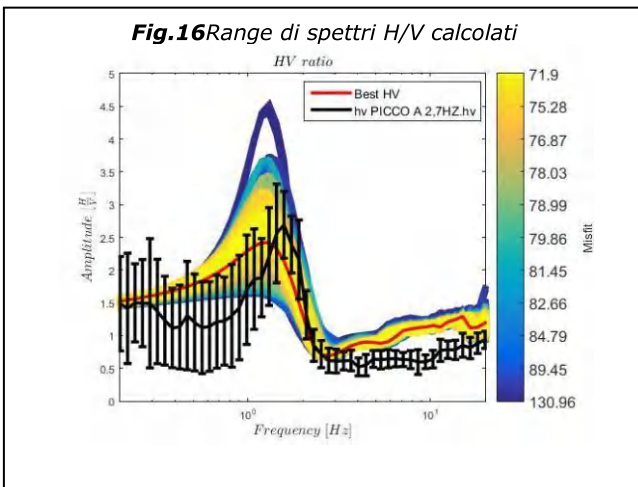


Fig. 18: range di velocità P, S e densità calcolati

Inversione congiunta HV+MASW

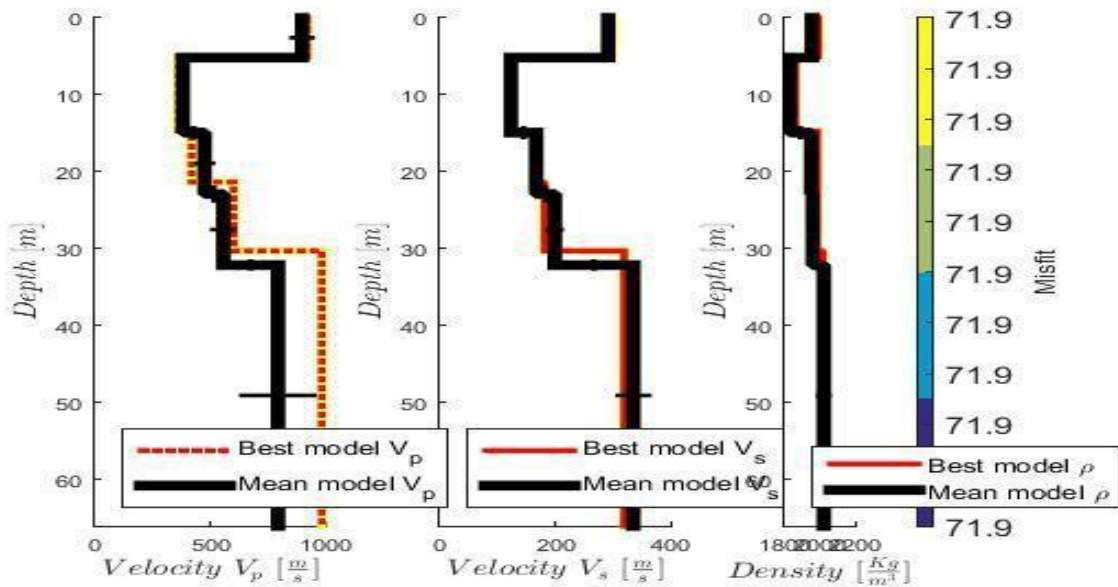
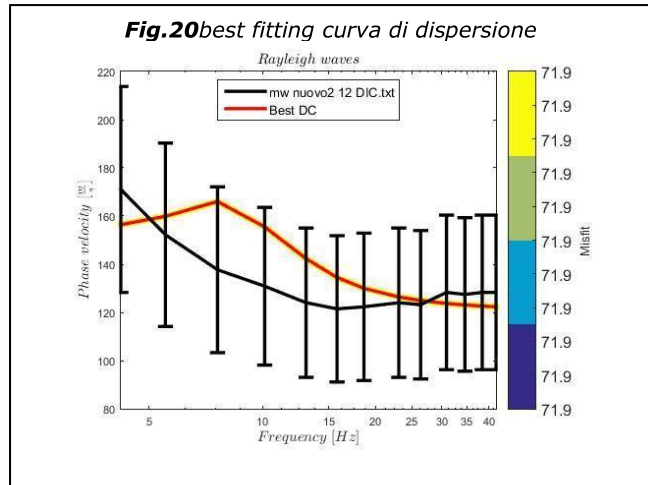
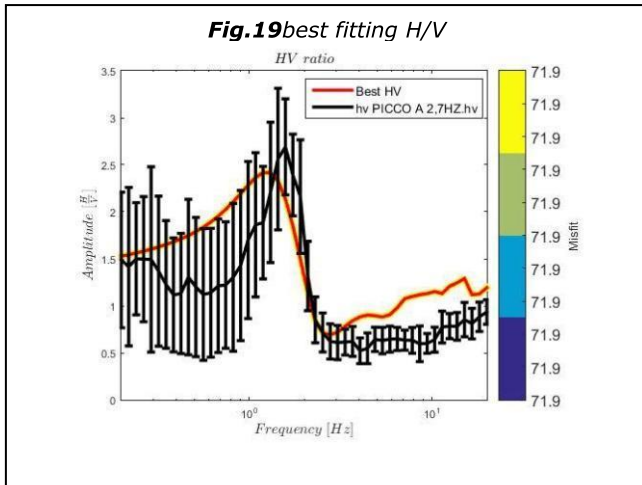


Fig. 21: best fitting velocità P, S e densità calcolati

Fig.22 risultatimodellazione
Inversion report

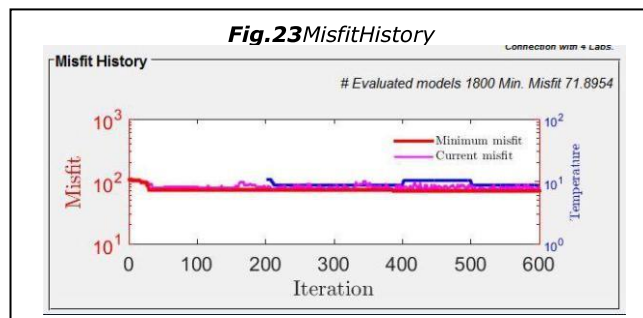
Method Inversion : Modified SA
Number of Iterations : 600
Number of reheatings : 0
Number of last iterations : 100

Initial Temperature : 10.3723
Final Temperature : 8.6911
Temperature ratio : 0.9
Perturbation range : 5%

Models evaluated : 1800
Valid models : 1800
Models for statistics : 100

Maximum misfit : 130.9628
Minimum misfit : 71.8954

Total time : 1628.6172
Avg time per model : 0.89867



Inversione congiunta HV+MASW

Spessore (m)	Profondità (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	Density (kg/m ³)
5	5	919	299	1992
10	15	363	121	1862
7	22	420	166	1985
9	31	602	182	1985
semispazio	-	984	320	2018

Tab.6: Parametri di output modello 2.

TERZA MODELLAZIONE

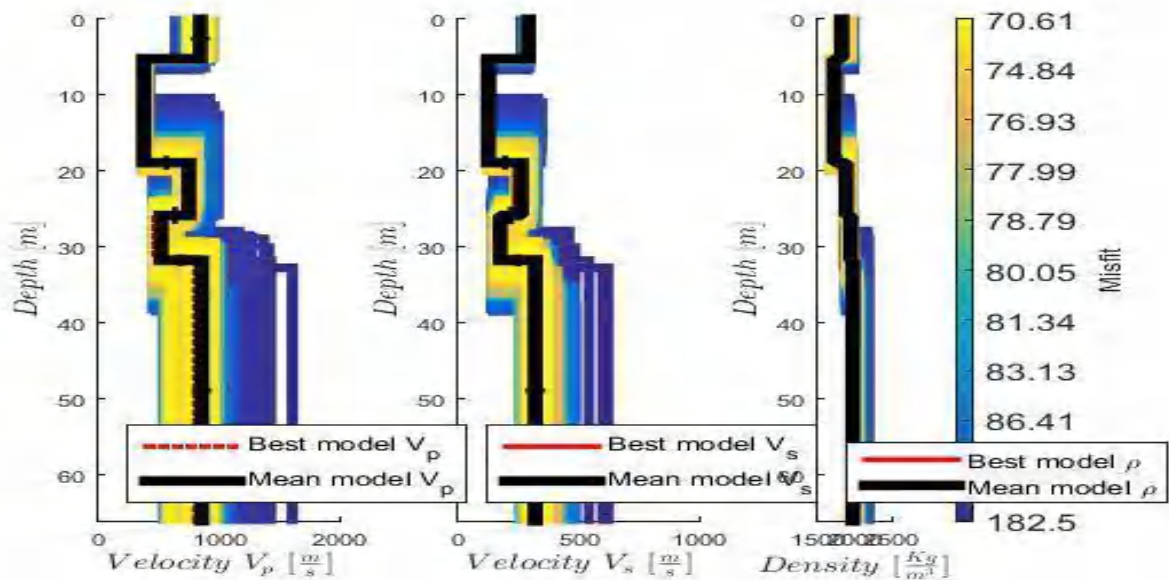
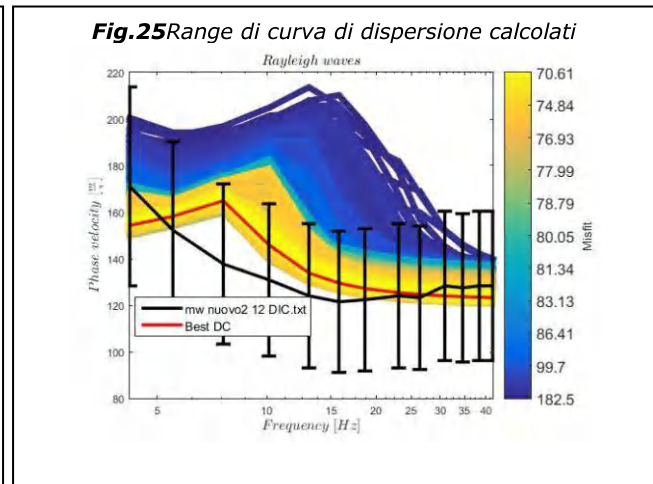
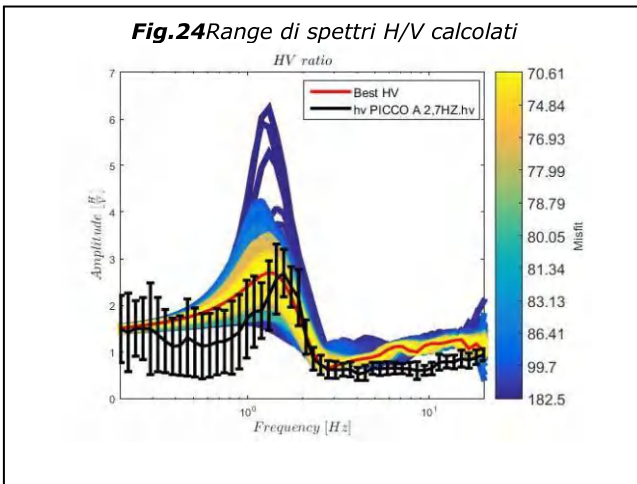


Fig. 26: range di velocità P, S e densità calcolati

Inversione congiunta HV+MASW

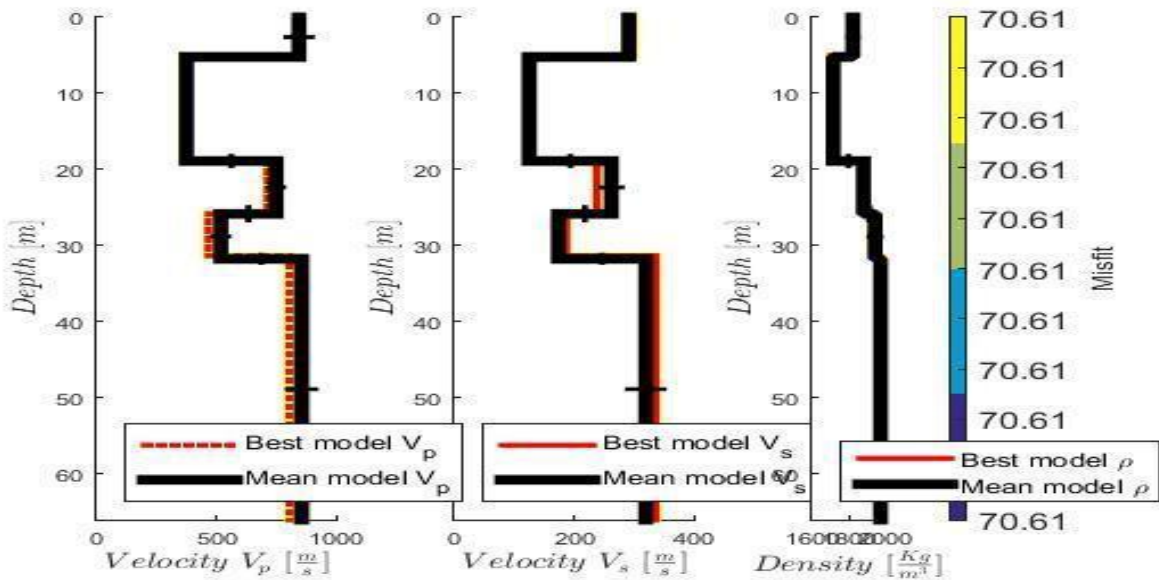
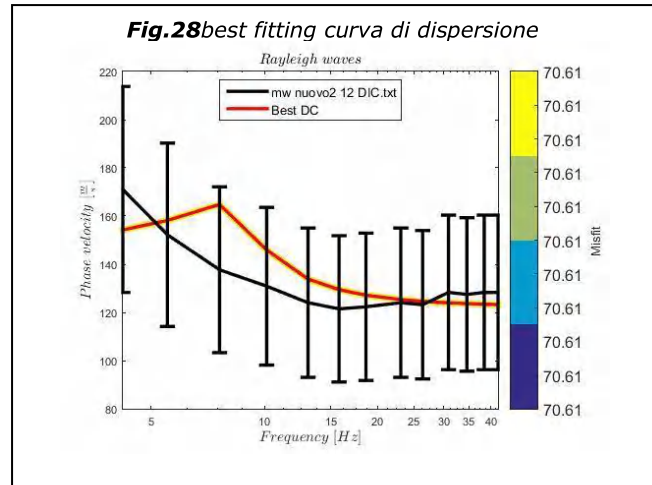
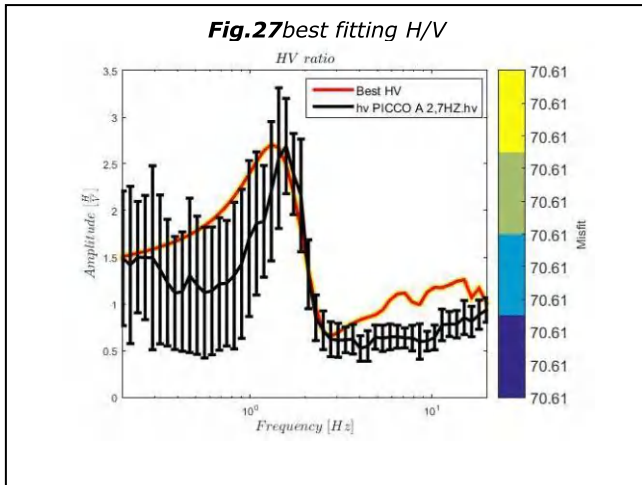


Fig. 29: best fitting velocità P, S e densità calcolati

Fig.30risultatimodellazione
Inversion report

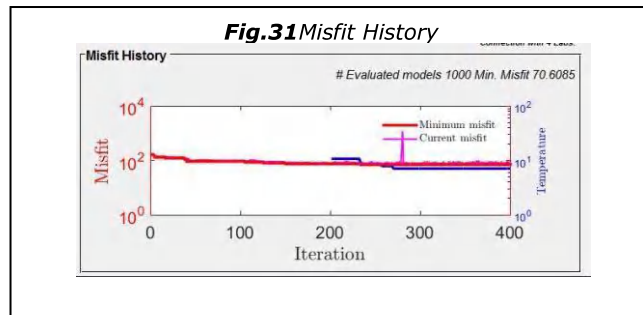
Method Inversion : Modified SA
Number of iterations : 400
Number of reheatings : 0
Number of last iterations : 100

Initial Temperature : 10.8427
Final Temperature : 7.1139
Temperature ratio : 0.9
Perturbation range : 5%

Models evaluated : 1000
Valid models : 1000
Models for statistics : 100

Maximum misfit : 182.5033
Minimum misfit : 70.6085

Total time : 925.3803
Avg time per model : 0.91398



Inversione congiunta HV+MASW

Spessore (m)	Profondità (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	Density (kg/m ³)
5	5	847	299	1821
14	19	363	123	1705
7	26	715	239	1889
6	32	468	187	1928
semispazio	-	805	337	1985

Tab.7: Parametri di output modello 3.**SINTESI DEI PARAMETRI DI OUTPUT MEDI DELLA MODELLAZIONE**

Spessore min (m)	Spessore max (m)	Profondità min(m)	Profondità max(m)	VP min (m/sec)	VP max(m/sec)	VS min (m/sec)	VS max (m/sec)	Density min (kg/m ³)	Density max (kg/m ³)
5	5	5	5	795	919	298	299	1821	1997
7	14	12	19	363	375	121	125	1680	1862
7	7	19	26	420	715	152	239	1889	1985
6	9	26	32	451	602	149	187	1917	1985
semispazio	-	-	-	805	1046	320	337	1985	2107

Tab.8: Parametri di output medi sulle modellazioni effettuate.

COMUNE DI PIORACO

Provincia di MACERATA

VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA PALESTRA SCOLASTICA DI PIORACO SITA IN LOCALITÀ PIÈ DI GUALDO

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PIORACO



INDAGINE SISMICA PASSIVA: MISURE DEI MICROTREMORI

Matelica, novembre 2018

Il Tecnico

Dott. Geol. Paolo Boldrini

INDICE

1 - Premessa	pag. 2
2 - Strumentazione impiegata	pag. 3
3 - Definizioni	pag. 3
4 - Ubicazione delle misure e acquisizione dei dati	pag. 4
5 - Procedura di analisi per stazioni singole H/V	pag. 4
5.1 - Misura del microtremore a stazione singola Tr1	pag. 4
5.2 - Misura del microtremore a stazione singola Tr2	pag. 9
5.3 - Misura del microtremore a stazione singola Tr3	pag. 13
6 - Conclusioni	pag. 18

La presente relazione è composta da n°18 pagine

COMUNE DI PIORACO

PROVINCIA DI MACERATA

VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA PALESTRA SCOLASTICA DI PIORACO SITA IN LOCALITÀ PIÈ DI GUALDO

INDAGINE SISMICA PASSIVA: MISURE DEI MICROTREMORI

Committente: **AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PIORACO**

1 - PREMESSA

Il sito in esame ricade nel territorio del comune di Pioraco, in località Piè di Gualdo, ad una quota di circa 440 metri s.l.m.

Sull'area interessata dalla verifica della vulnerabilità sismica della palestra scolastica sono state condotte tre misure del microtremore a stazione singola.

La tecnica utilizzata è basata sui rapporti spettrali o HVSR [Horizontal to Vertical Spectra Ratio]. Essa è totalmente non invasiva, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque¹. In altre parole la tecnica utilizza il rumore sismico di fondo come funzione di eccitazione.

I risultati delle registrazioni sono utilizzati per determinare la **frequenza di risonanza caratteristica del sito**.

Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella degli edifici, si produce una notevole amplificazione delle onde sismiche, inducendo sollecitazioni sulle strutture con grande potere distruttivo [**fenomeno della doppia risonanza**].

Ogni sito può generare più di una risonanza e non esiste una risonanza fondamentale in assoluto. La vulnerabilità sismica non è necessariamente data dal picco H/V più ampio ma dal picco la cui frequenza è più prossima a quella dell'edificato e/o dell'edificio da realizzare.

¹ Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici [onde oceaniche, vento], dall'attività antropica oltre e dai processi legati alla dinamica terrestre. Esso è conosciuto anche come - microtremore- poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

Infine le misure di microtremore a stazione singola, opportunamente invertite, permettono anche di stimare le V_{s30} [velocità delle onde di taglio nei primi trenta metri di sottosuolo], parametro la cui determinazione è richiesta dalla normativa sismica vigente [D.M. 14.01.2008]. Le curve H/V, in presenza di un vincolo noto in modo indipendente (profondità di un riflettore o V_s del primo strato) è data dalla formula:

$$fr = \frac{VsI}{4H}$$

nota la profondità del vincolo [H] e la frequenza [misurata], si ottiene la velocità delle onde di taglio relativa al primo strato. In realtà, in un sistema multistrato, la curva H/V contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza [e quindi allo spessore] di ciascuno di essi.

Effettuando il fitting della curva sperimentale con una curva teorica, ricostruita per tentativi, [inserendo nel programma, di volta in volta, lo spessore del sismostrato e la sua velocità] si ottiene le V_{s30} .

2 - STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Le misure del microtremore ambientale sono state eseguite per mezzo di un Tromografo digitale portatile, progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento [Tromino®, Micromed s.p.a.] è dotato di tre sensori elettrodinamici [velocimetri] ortogonali. I dati di microtremore ambientale, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti per 20 minuti in ciascun sito alla frequenza di campionamento di 128Hz.

3 - DEFINIZIONI

Il tipo di stratigrafia che le tecniche sismiche possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso.

4 - UBICAZIONE DELLE MISURE E ACQUISIZIONE DEI DATI

Le prove a stazione singola sono state eseguite come in figura 1. Le registrazioni sono state effettuate accoppiando lo strumento al terreno.



Figura 1 – Ubicazione dei punti di registrazione dei microtremori. Le misure **Tr1**, **Tr2** e **Tr3** sono state effettuate sul terreno.

5 - PROCEDURA DI ANALISI PER STAZIONI SINGOLE H/V

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale in campo libero sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura classica descritta per esempio in SESAME (2005) con parametri:

- ✓ larghezza delle finestre d'analisi 20 s;
- ✓ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari a 10% della frequenza centrale;
- ✓ rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V.
- ✓

5.1 - MISURA DEL MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA Tr1

Strumento: TRZ-0175/01-12

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 03/02/16 10:18:38. Fine registrazione: 03/02/16 10:38:38

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 53% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

ORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

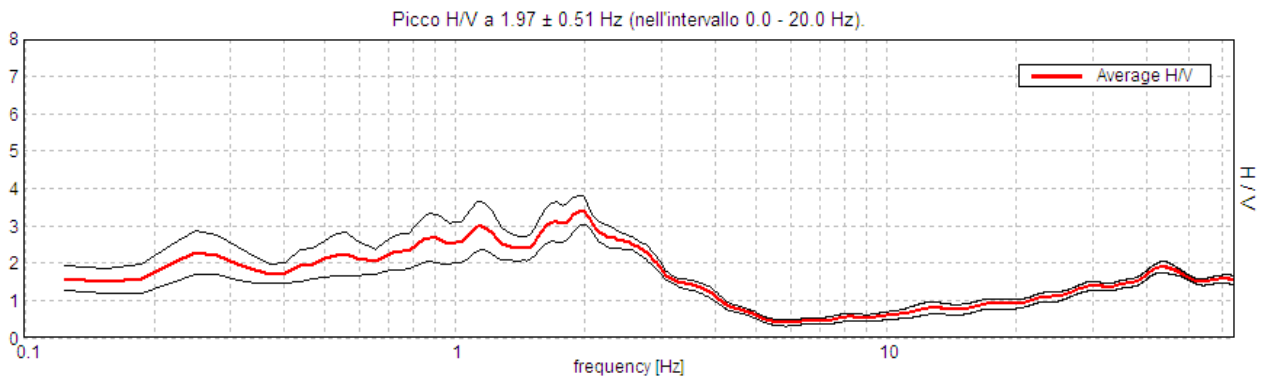
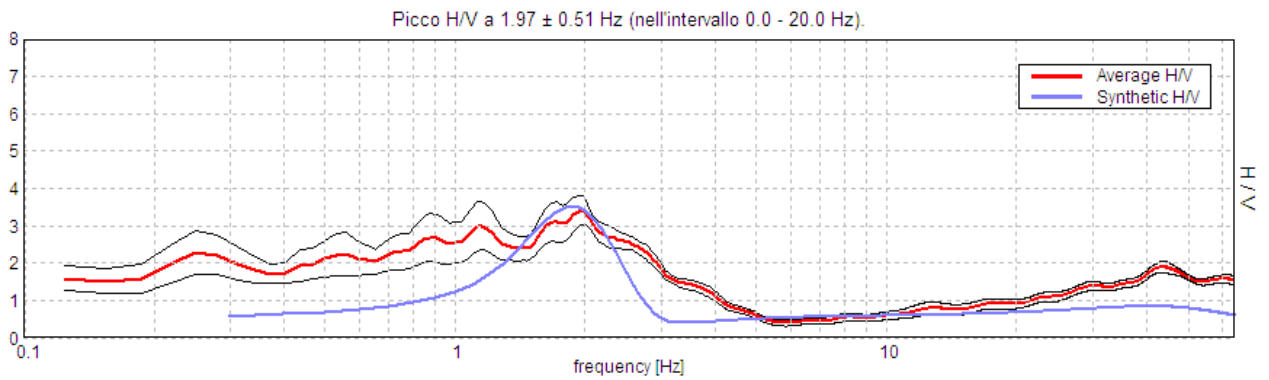


Figura 2 – Curva H/V sperimentale registrata nel sito.

La risonanza registrata appare significativa all'analisi statistica secondo i criteri SESAME [2005]. In tabella I si riportano gli esiti dei test Sesame relativamente al picco registrato a **1.97 Hz** nel sito.

EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

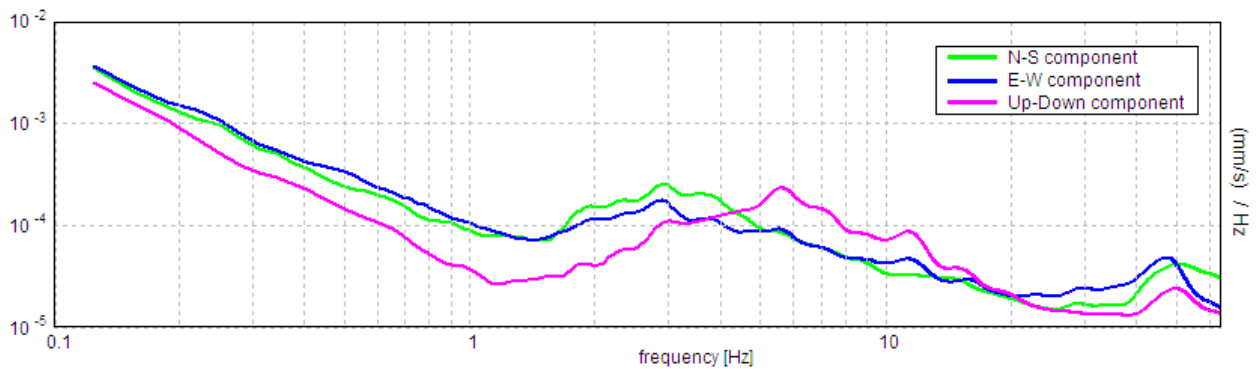


Figura 3 – ALTO: confronto tra la curva H/V sperimentale (rosso) registrata nel sito **Tr1** e teorica (blu).
 BASSO: spettri delle tre componenti del moto di velocità. Si evince che la natura del picco di risonanza è stratigrafica (minimo locale della componente verticale e massimo locale delle componenti orizzontali).

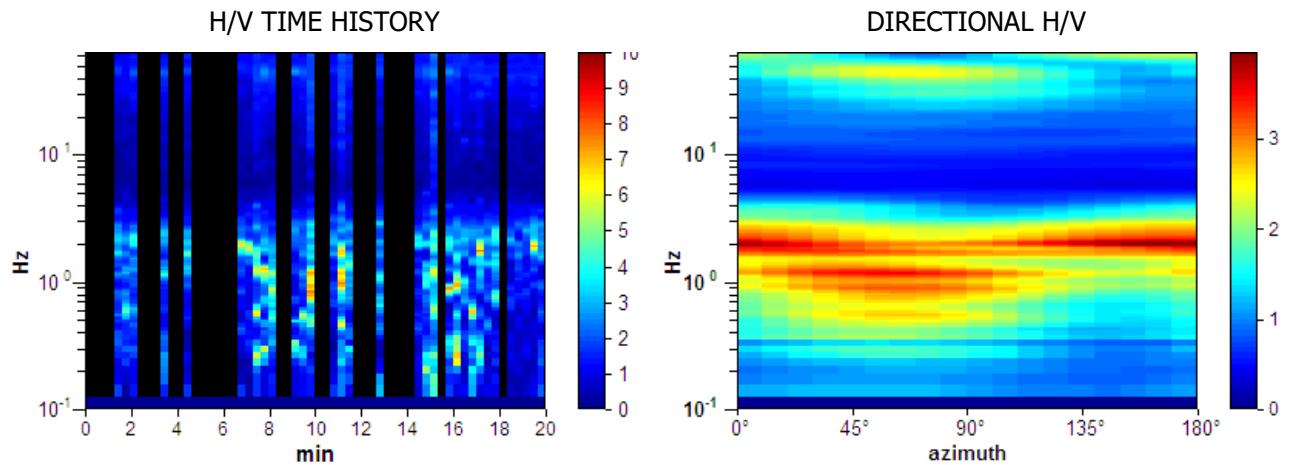


Figura 4 – SINISTRA: stabilità temporale della curva H/V durante i 20 minuti di misura (in nero sono rappresentati i transienti eliminati).

DESTRA: grafico direzionale della composizione del tremore (componenti orizzontali) nello stesso sito.

TABELLA I

Picco H/V a 1.97 ± 0.51 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1260.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 96	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.41 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.25923 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$0.51036 < 0.19688$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4015 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [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
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tabella 1 – Test di significatività dei picchi di risonanza individuati nel sito.

T A B E L L A I I

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	100	0.35
17.50	17.00	150	0.35
37.50	20.00	300	0.35
inf.	inf.	400	0.35

Tabella 2 – Modello di sottosuolo nel sito **Tr1**. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure di questo parametro.

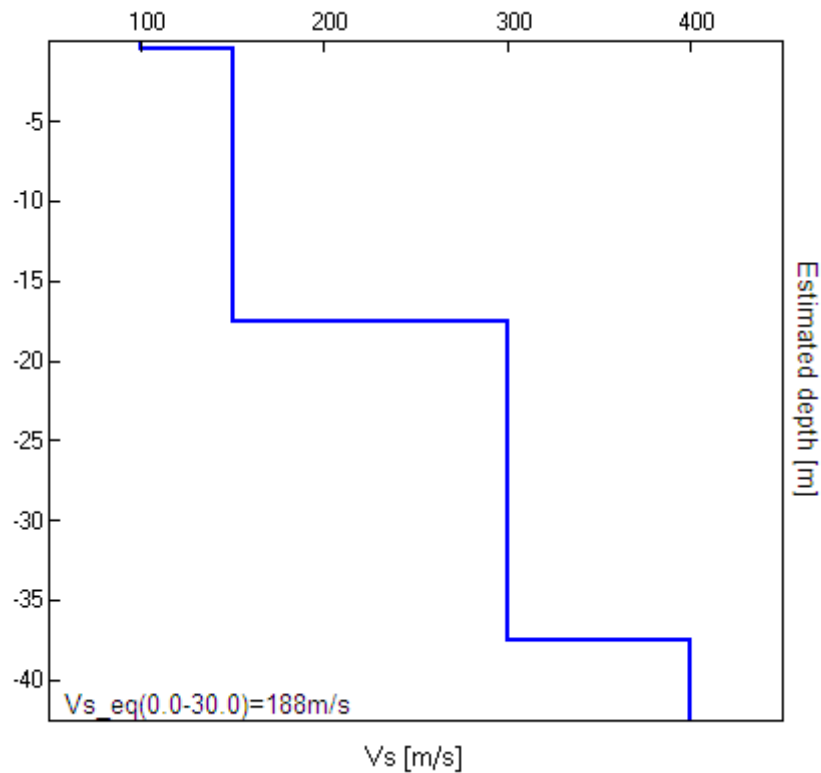


Figura 5 – Modello di velocità delle onde Vs nel sito **Tr1**.

Poiché il valore di velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo equivalente ai 30 metri soprastanti il substrato sismico ($V_{s,eq}$) viene calcolato secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

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.

$$V_{s,eq. (0.0-30.0)} = 188 \text{ m/s}$$

Secondo le NTC 2018 il sito va attribuito alla categoria di **sottosuolo D**.

È bene evidenziare comunque la risonanza a 1.97 Hz legata alla presenza di un riflettore sismico posto alla profondità di circa 17.50 metri.

5.2 – MISURA DEL MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA Tr2

Strumento: TRZ-0175/01-12

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 15/09/18 09:08:42. Fine registrazione: 15/09/18 09:28:42

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

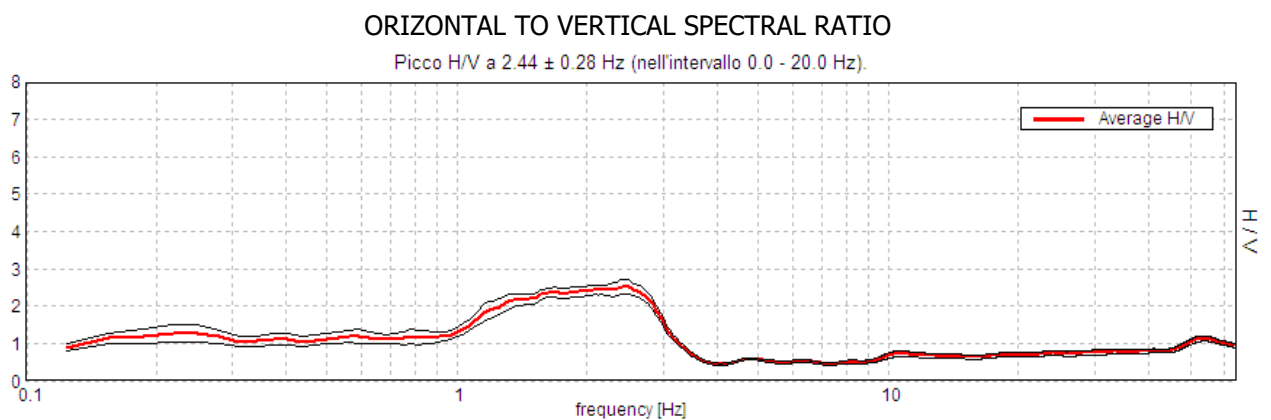


Figura 6 – Curva H/V sperimentale registrata nel sito.

La risonanza registrata appare significativa all'analisi statistica secondo i criteri SESAME [2005]. In tabella I si riportano gli esiti dei test Sesame relativamente al picco registrato a **2.44 Hz** nel sito.

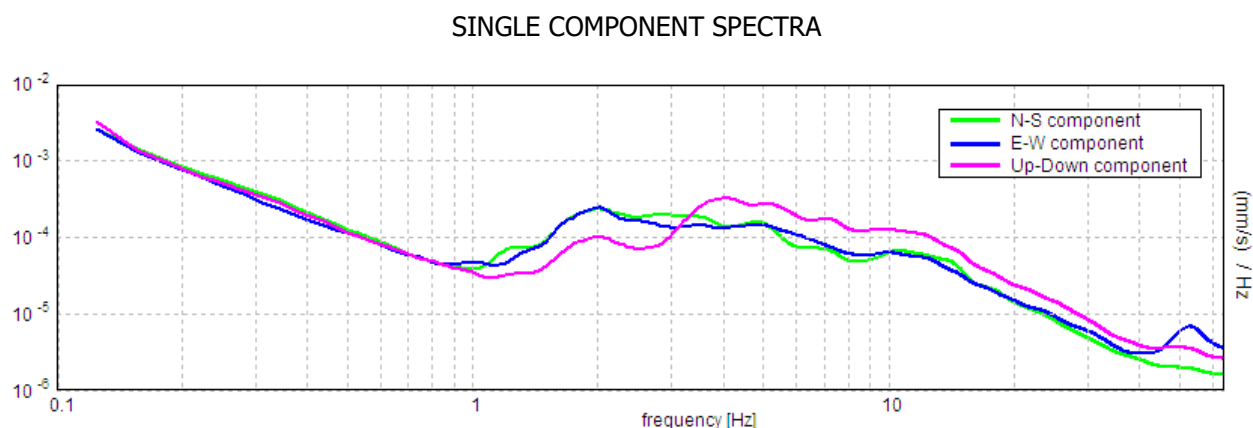
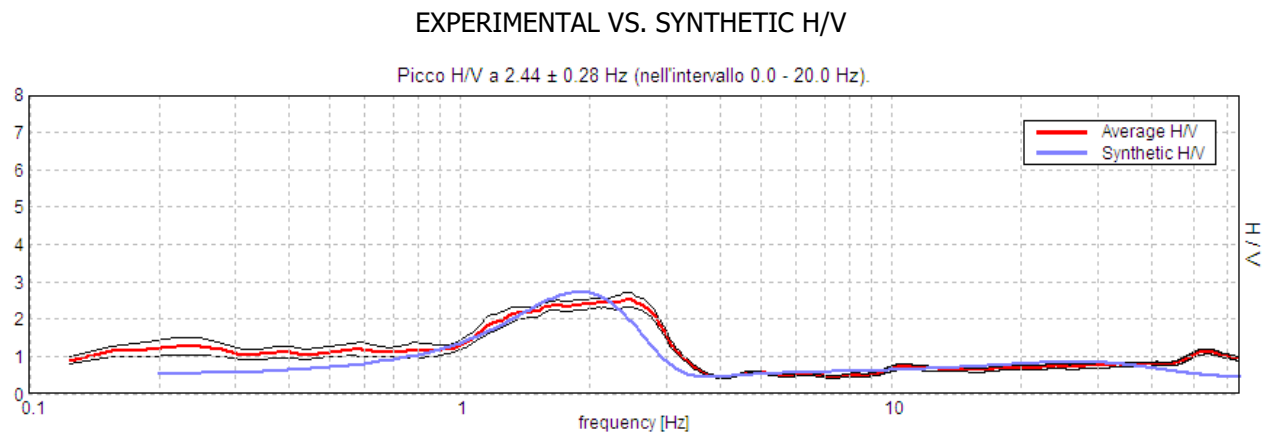


Figura 7 – ALTO: confronto tra la curva H/V sperimentale (rosso) registrata nel sito **Tr2** e teorica (blu).
 BASSO: spettri delle tre componenti del moto di velocità. Si evince che la natura del picco di risonanza è stratigrafica (minimo locale della componente verticale e massimo locale delle componenti orizzontali).

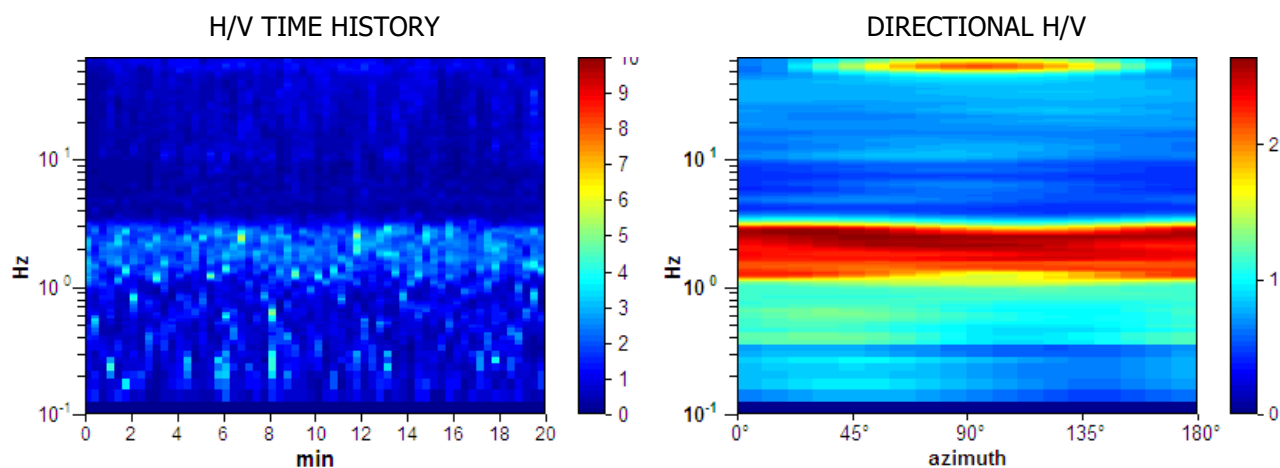


Figura 8 – SINISTRA: stabilità temporale della curva H/V durante i 20 minuti di misura (in nero sono rappresentati i transienti eliminati).
 DESTRA: grafico direzionale della composizione del tremore (componenti orizzontali) nello stesso sito.

T A B E L L A I I I

Picco H/V a 2.44 ± 0.28 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.44 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2925.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 118	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.969 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.125 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.51 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11376 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.27729 < 0.12188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1976 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

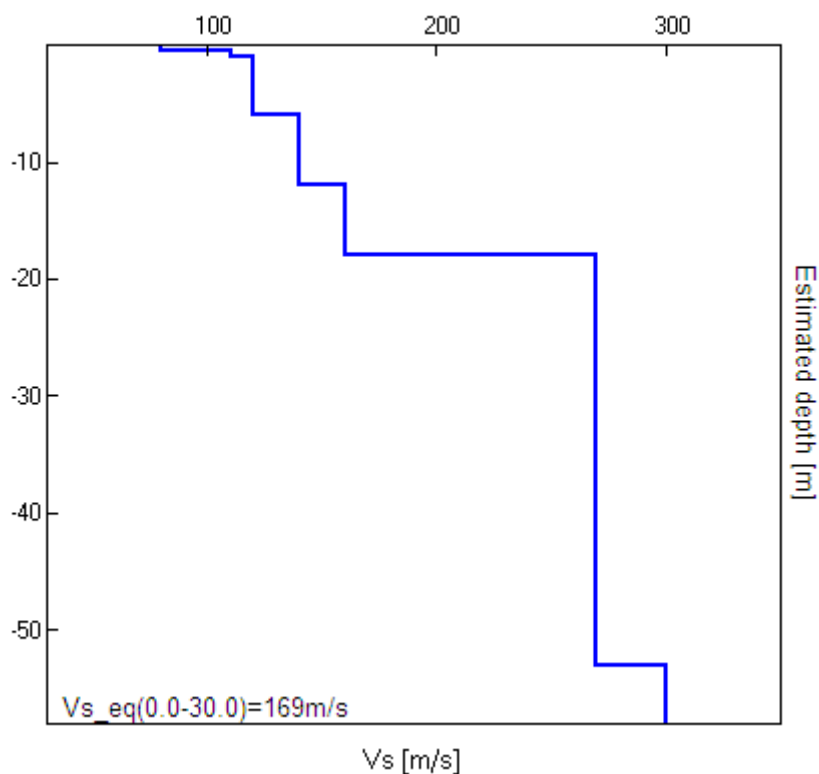
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tabella 3 – Test di significatività dei picchi di risonanza individuati nel sito.

TABELLA IV

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	80	0.42
1.00	0.50	110	0.42
6.00	5.00	120	0.42
12.00	6.00	140	0.42
18.00	6.00	160	0.42
53.00	35.00	270	0.42
inf.	inf.	300	0.42

Tabella 4 – Modello di sottosuolo nel sito **Tr2**. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs. Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure di questo parametro.

Figura 9 – Modello di velocità delle onde Vs nel sito **Tr2**.

Poiché il valore di velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo equivalente ai 30 metri soprastanti il substrato sismico ($V_{s,eq}$) viene calcolato secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

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.

$$V_{s,eq. (0.0-30.0)} = 169 \text{ m/s}$$

Secondo le NTC 2018 il sito va attribuito alla categoria di **sottosuolo D.**

È bene evidenziare comunque la risonanza a 2.44 Hz legata alla presenza di un riflettore sismico posto alla profondità di circa 18.00 metri.

5.3 - MISURA DEL MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA Tr3

Strumento: TRZ-0175/01-12

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 15/09/18 09:34:40. Fine registrazione: 15/09/18 09:54:40

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

ORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

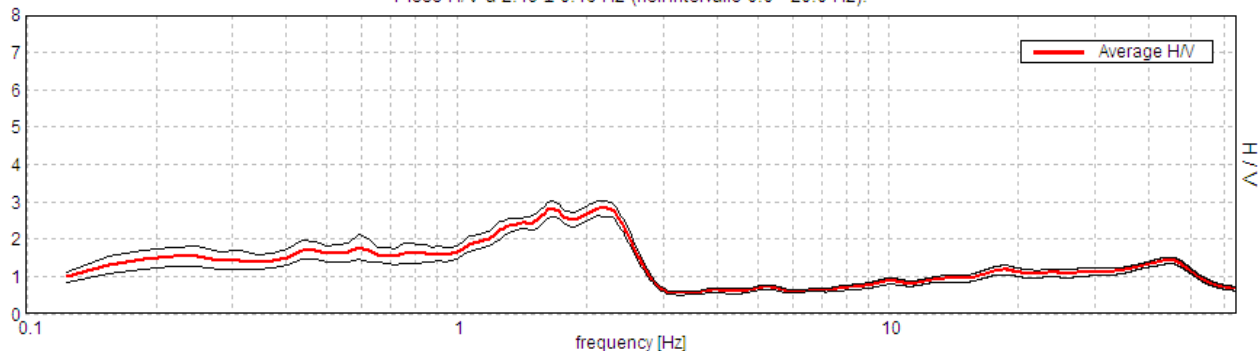
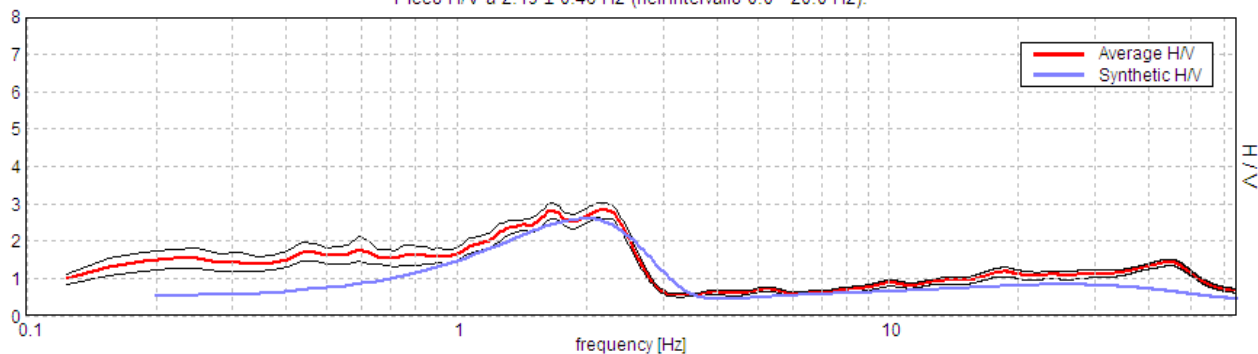
Picco H/V a 2.19 ± 0.46 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

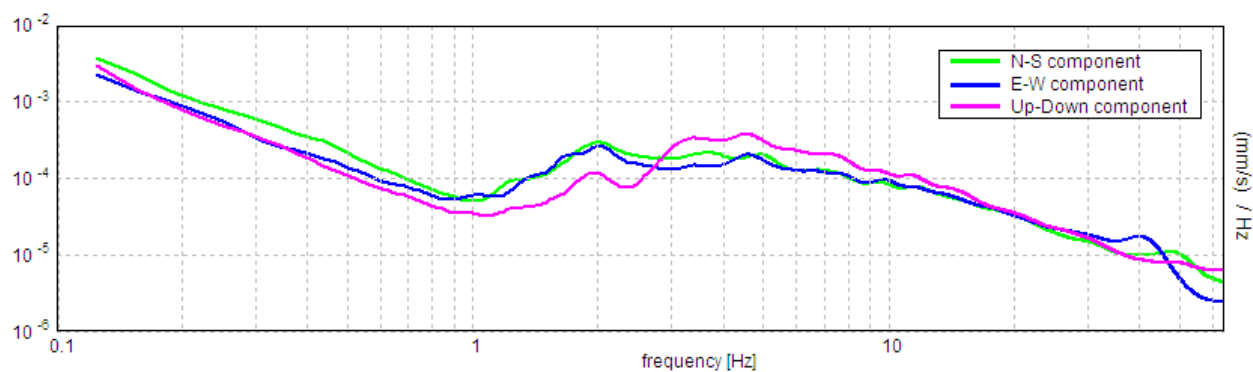
Figura 10 – Curva H/V sperimentale registrata nel sito.

La risonanza registrata appare significativa all'analisi statistica secondo i criteri SESAME [2005]. In tabella I si riportano gli esiti dei test Sesame relativamente al picco registrato a **2.19 Hz** nel sito.

EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Picco H/V a 2.19 ± 0.46 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

SINGLE COMPONENT SPECTRA

Figura 11 – ALTO: confronto tra la curva H/V sperimentale (rosso) registrata nel sito **Tr3** e teorica (blu).

BASSO: spettri delle tre componenti del moto di velocità. Si evince che la natura del picco di risonanza è stratigrafica (minimo locale della componente verticale e massimo locale delle componenti orizzontali).

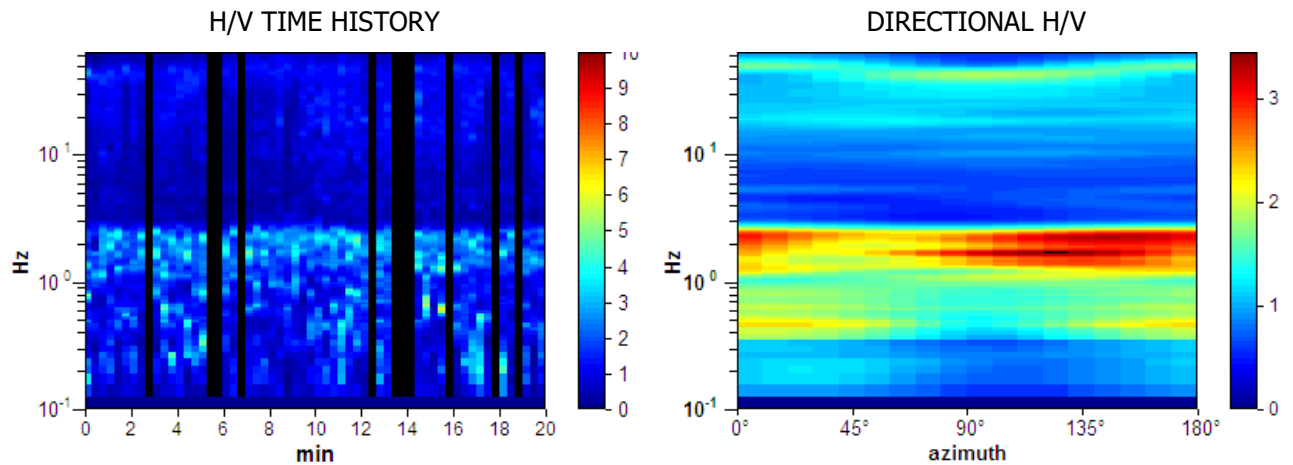


Figura 12 – SINISTRA: stabilità temporale della curva H/V durante i 20 minuti di misura (in nero sono rappresentati i transienti eliminati).
DESTRA: grafico direzionale della composizione del tremore (componenti orizzontali) nello stesso sito.

TABELLA V

Picco H/V a 2.19 ± 0.46 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.19 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2143.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 106	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.82 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.2087 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.45654 < 0.10938$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2147 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tabella 5 – Test di significatività dei picchi di risonanza individuati nel sito.

TABELLA VI

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.50	0.50	80	0.45
1.50	1.00	110	0.45
6.50	5.00	120	0.45
12.50	6.00	140	0.45
18.50	6.00	180	0.45
53.50	35.00	260	0.45
inf.	inf.	300	0.45

Tabella 6 – Modello di sottosuolo nel sito **Tr3**. Si noti che le prove effettuate forniscono una stima delle sole Vs.

Il rapporto di Poisson indicato è quello adottato nella modellazione ma le prove geofisiche basate su onde di superficie non possono fornire misure di questo parametro.

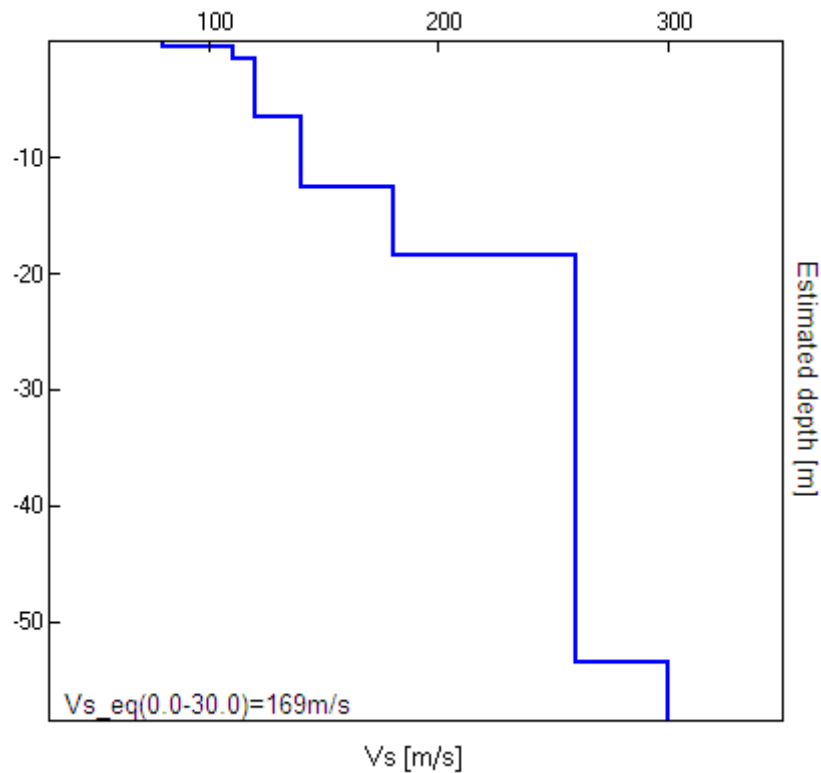


Figura 13 – Modello di velocità delle onde Vs nel sito **Tr3**.

Poiché il valore di velocità delle onde di taglio nello strato omogeneo equivalente ai 30 metri soprastanti il substrato sismico ($V_{s,eq}$) viene calcolato secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (2018) come:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

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.

$$\mathbf{V_{s,eq. (0.0-30.0) = 169 \text{ m/s}}$$

Secondo le NTC 2018 il sito va attribuito alla categoria di **sottosuolo D**.

È bene evidenziare comunque la risonanza a 2.19 Hz legata alla presenza di un riflettore sismico posto alla profondità di circa 18.50 metri.

6 - CONCLUSIONI

Nell'area interessata dalla verifica di vulnerabilità sismica della palestra scolastica, sita in località Piè di Gualdo nel comune di Pioraco (MC), sono state eseguite tre misure del microtremore, a stazione singola, al fine di caratterizzare la frequenza di risonanza del terreno e di stimare le V_{s30} [velocità delle onde di taglio nei primi trenta metri di sottosuolo] e le $V_{s,eq}$.

L'indagine ha evidenziato un suolo caratterizzato da un riflettore sismico compreso tra 17.50 (Tr1) e 18.50 (Tr3) di profondità, responsabile di una frequenza di risonanza rispettivamente di circa **1.97 Hz** (Tr1), **2.44 Hz** (Tr2) e **2.19 Hz** (Tr3).

Dalle misurazioni effettuate emerge inoltre un valore di velocità compreso tra $V_{s,eq} = 169 \text{ m/s}$ (Tr2 e Tr3) e $V_{s,eq} = 188 \text{ m/s}$ (Tr1) [D.M. 17 gennaio 2018]

Quindi è possibile ascrivere il suolo sottostante l'area in esame alla **categoria D.**

Matelica, ottobre 2018

Il Tecnico

Dott. Geol. Paolo Boldrini

Dott.Geol. Paolo Boldrini

Via Roma, 20
62024 Matelica (MC)
Tel: 0737 85483
Cell: 3391966697

Email: geo.paolo@libero.it



Nr. Lic. D2MNS-EKA5C-8TKKH-CEEXU

Web: www.geostru.eu

COMUNE DI PIORACO

Provincia di Macerata

VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA PALESTRA SCOLASTICA DI PIORACO SITA IN LOCALITÀ PIÈ DI GUALDO

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PIORACO

RISPOSTA SISMICA LOCALE

Pericolosità sismica di base

STATO LIMITE DI DANNO [SLD]



Matelica, novembre 2018

Il Tecnico

Indice

1 - Introduzione	pag. 3
2 - Dati generali	pag. 8
3 - Terreni	pag. 8
3.1 - EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri	pag. 8
3.2 - Rollins et al (1998) (GW, GP, GM, GC)	pag. 9
3.3 - Curva n.6 Terremoto Marche 2016	pag. 10
4 - Stratigrafia	pag. 11
5 - Elaborazione	pag. 12
5.1 - Fattori di amplificazione ICMS 2008	pag. 12
5.2 - Fattori di amplificazione su intensità spettrale	pag. 12
6 - Spettro normalizzato di risposta elastico	pag. 14
7 - Confronto tra gli spettri	pag. 16
8 - Confronto spettro normativa	pag. 17
9 - Profilo a max	pag. 18
10 - Spettro verticale di progetto	pag. 19

1. 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).

$$\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$$

Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt, 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:

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

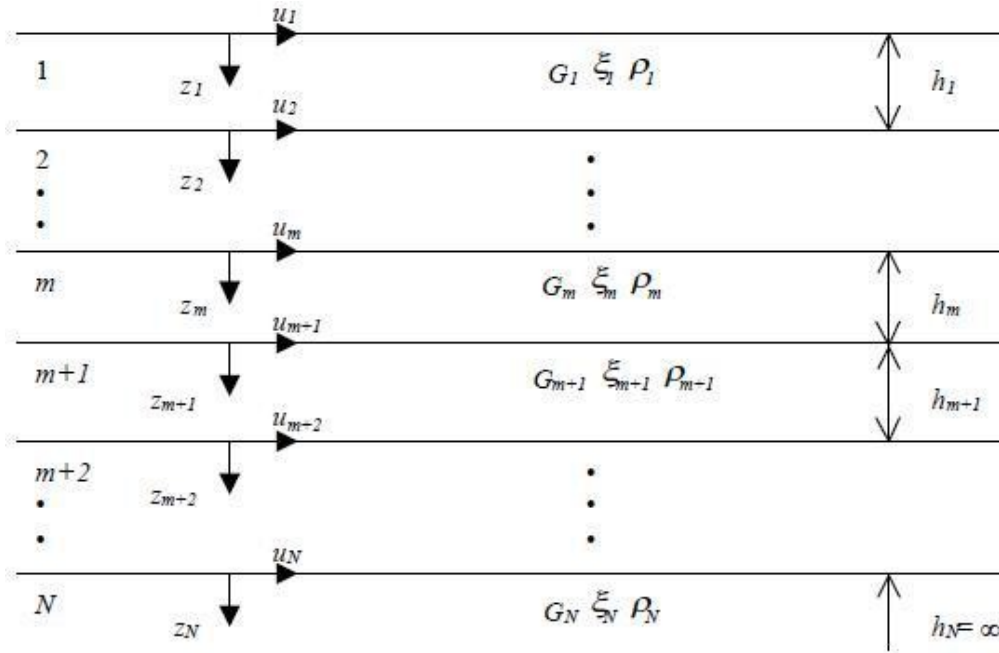


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

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

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

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

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

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:

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

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 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.

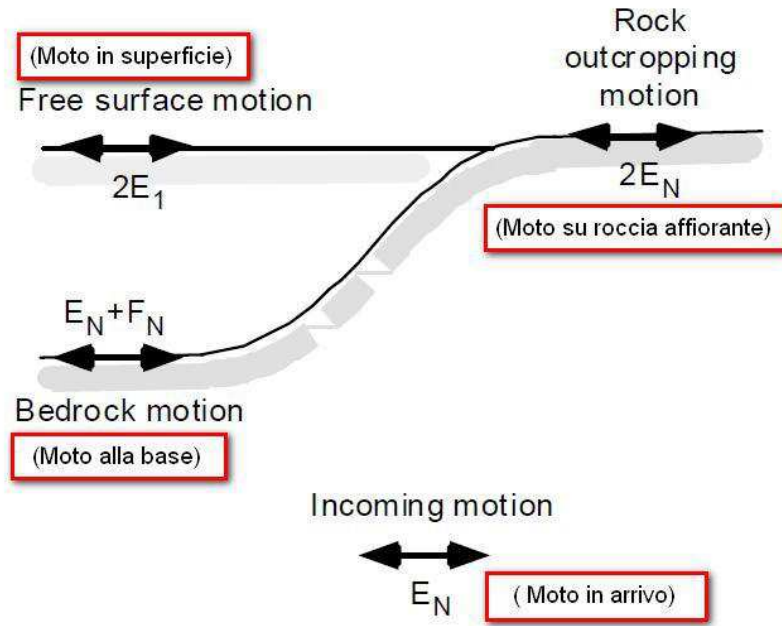


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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:

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

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

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

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

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.

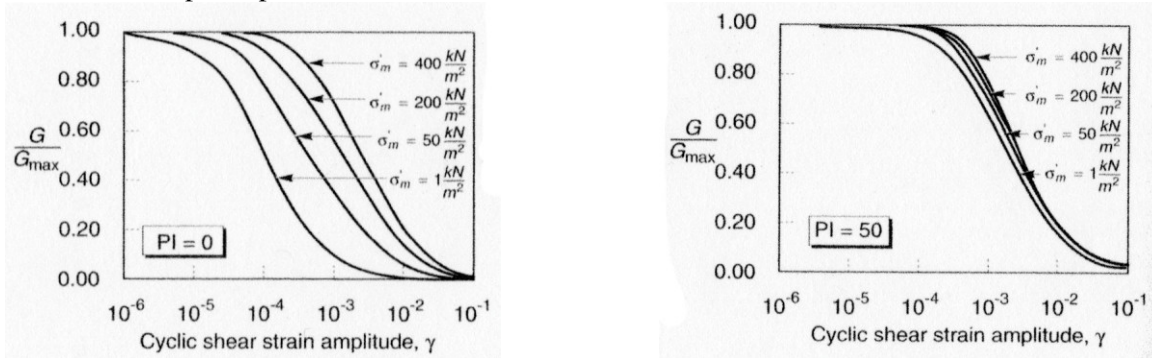


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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.

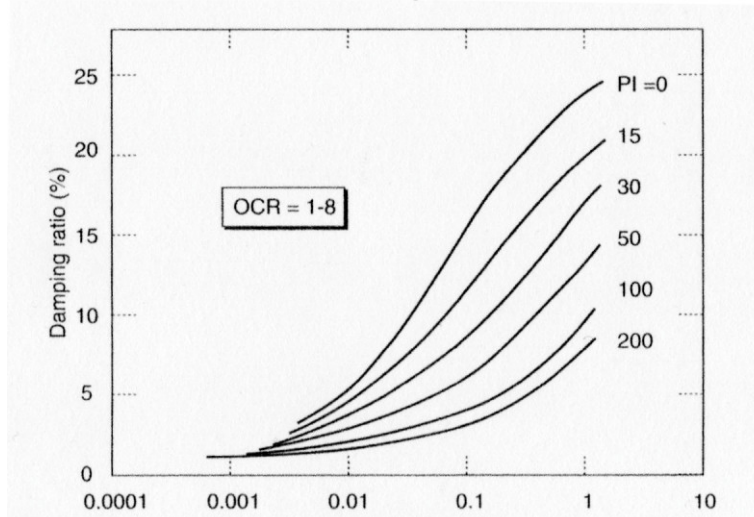


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

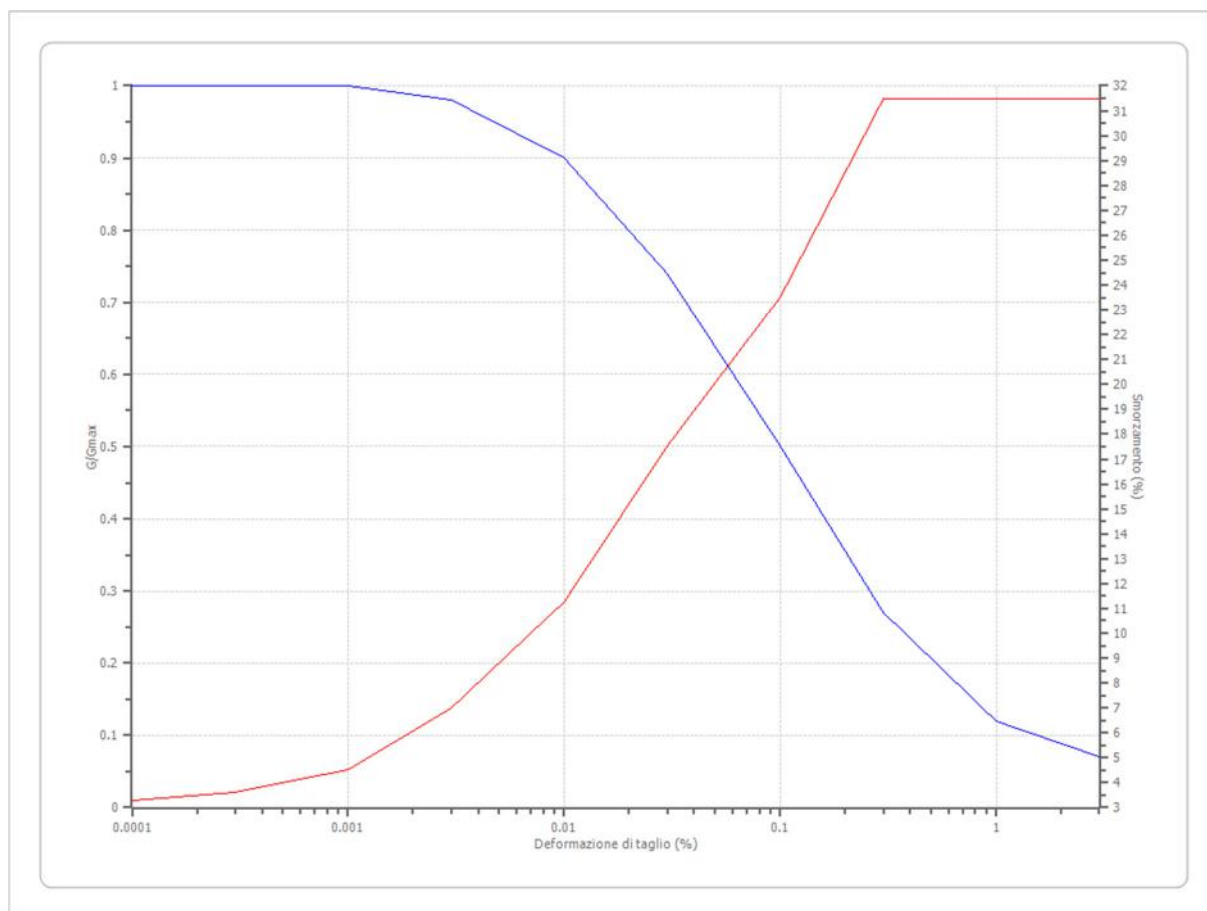
2. DATI GENERALI

Data della prova d.C./11/2018
 Via Loc. Piè di Gualdo PIORACO
 Latitudine 43,17821[°]
 Longitudine 12,9772673[°]

3. TERRENI

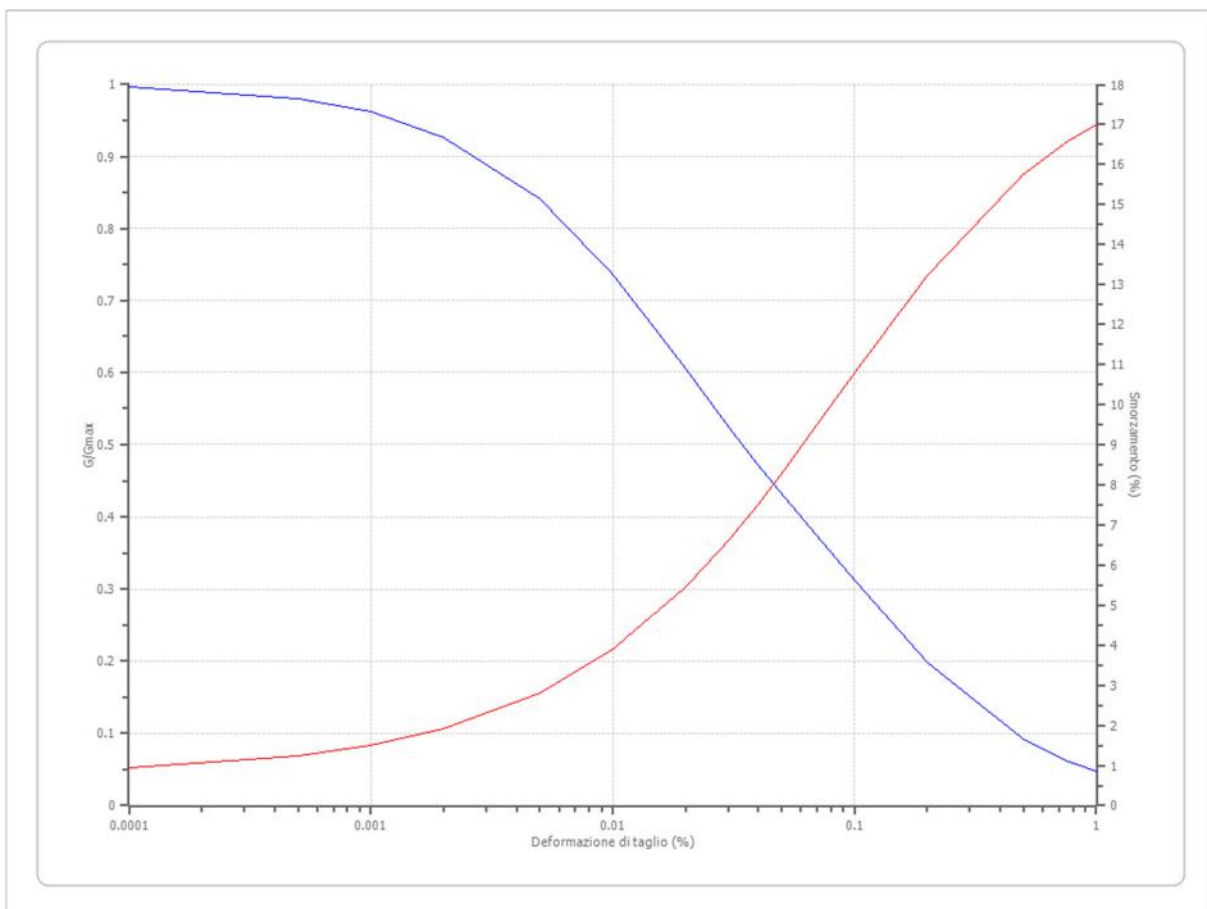
3.1 - EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri

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



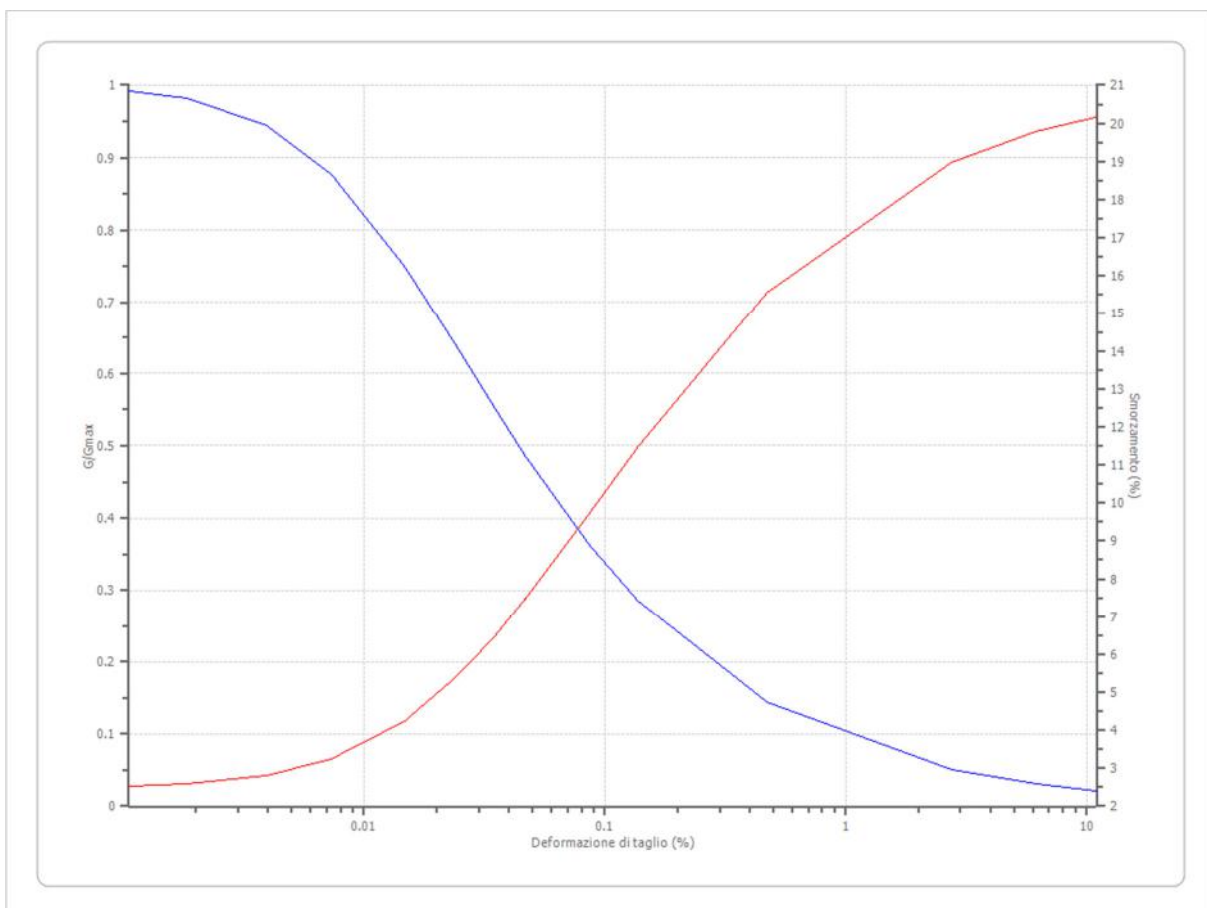
3.2 - Rollins et al (1998) (GW, GP, GM, GC)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.996	0.0001	0.949
0.0005	0.981	0.0005	1.239
0.001	0.962	0.001	1.498
0.002	0.927	0.002	1.905
0.005	0.841	0.005	2.805
0.010	0.736	0.010	3.894
0.020	0.605	0.020	5.454
0.030	0.526	0.030	6.605
0.040	0.472	0.040	7.523
0.050	0.432	0.050	8.282
0.075	0.361	0.075	9.737
0.100	0.313	0.100	10.793
0.200	0.198	0.200	13.229
0.500	0.091	0.500	15.758
0.750	0.062	0.750	16.555
1.000	0.048	1.000	17.009



3.3 - Curva n.6 Terremoto Marche 2016

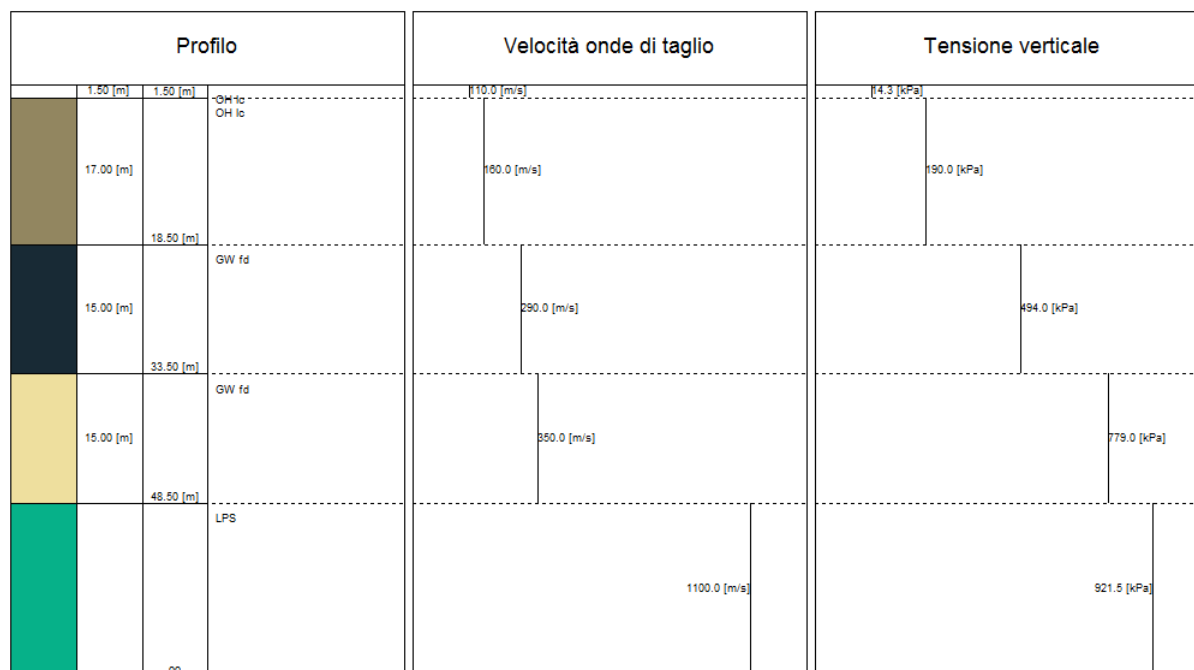
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.001057	0.992191	0.001057	2.528715
0.001843	0.9816	0.001843	2.586684
0.003939	0.944256	0.003939	2.801886
0.007316	0.876728	0.007316	3.237503
0.014769	0.749131	0.014769	4.254001
0.023686	0.642525	0.023686	5.344119
0.034303	0.556301	0.034303	6.427055
0.04673	0.4867	0.04673	7.459308
0.086102	0.363349	0.086102	9.71268
0.137763	0.284747	0.137763	11.49188
0.472443	0.143213	0.472443	15.5572
2.759657	0.0504	2.759657	18.97541
6.180209	0.030958	6.180209	19.78157
11.00517	0.021799	11.00517	20.17312



4. 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	OH lc	--	1.5	Curva n.6 Terremoto Marche 2016	0	23.44	--	19.0	110.0	14.3
2	OH lc	1.5	17.0	Curva n.6 Terremoto Marche 2016	0	49.58	--	19.0	160.0	190.0
3	GW fd	18.5	15.0	Rollins et al (1998) (GW, GP, GM, GC)	0	162.88	--	19.0	290.0	494.0
4	GW fd	33.5	15.0	Rollins et al (1998) (GW, GP, GM, GC)	0	237.26	--	19.0	350.0	779.0
5	LPS	oo	--	EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri	0	2713.56	--	22.0	1100.0	921.5

Strato rilevamento accelerogramma: 5 Affiorante



5. 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	3.93 E-05	

5.1 - Fattori di amplificazione ICMS 2008

Tai	0.170 [s]
Tvi	0.680 [s]
Tao	0.220 [s]
Tvo	0.960 [s]
Sami	2.691 [m/s ²]
Svmi	0.142 [m/s]
Samo	4.260 [m/s ²]
Svmo	0.444 [m/s]
Fa	1.583 [-]
Fv	3.117 [-]
TB	0.218 [s]
TC	0.655 [s]
TD	2.004 [s]
SA(0)	0.203 [g]
SA(TB)	0.434 [g]

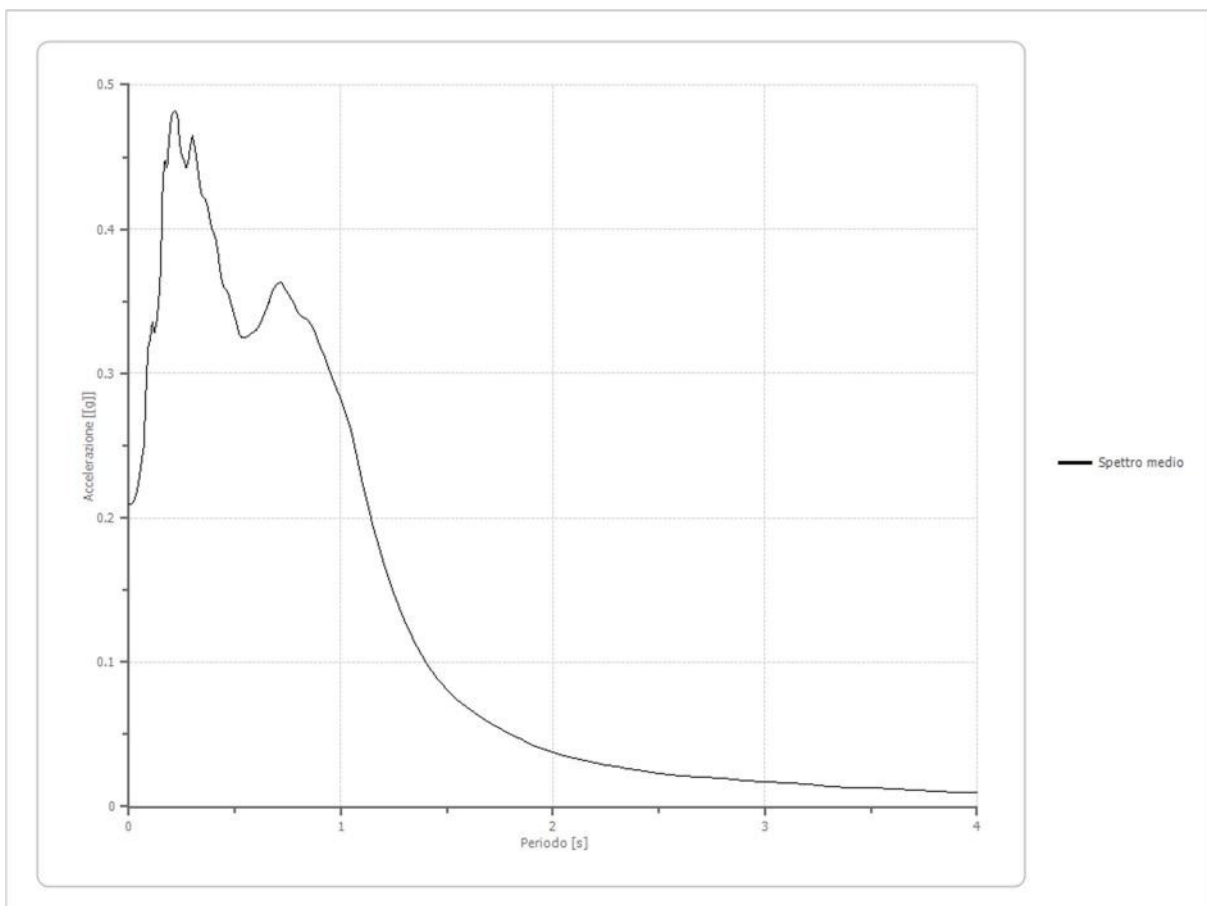
5.2 Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.038	0.067	0.200	1.751
0.400	0.800	0.053	0.124	0.500	2.343
0.700	1.100	0.058	0.176	0.636	3.043

Spettro medio di risposta elastico

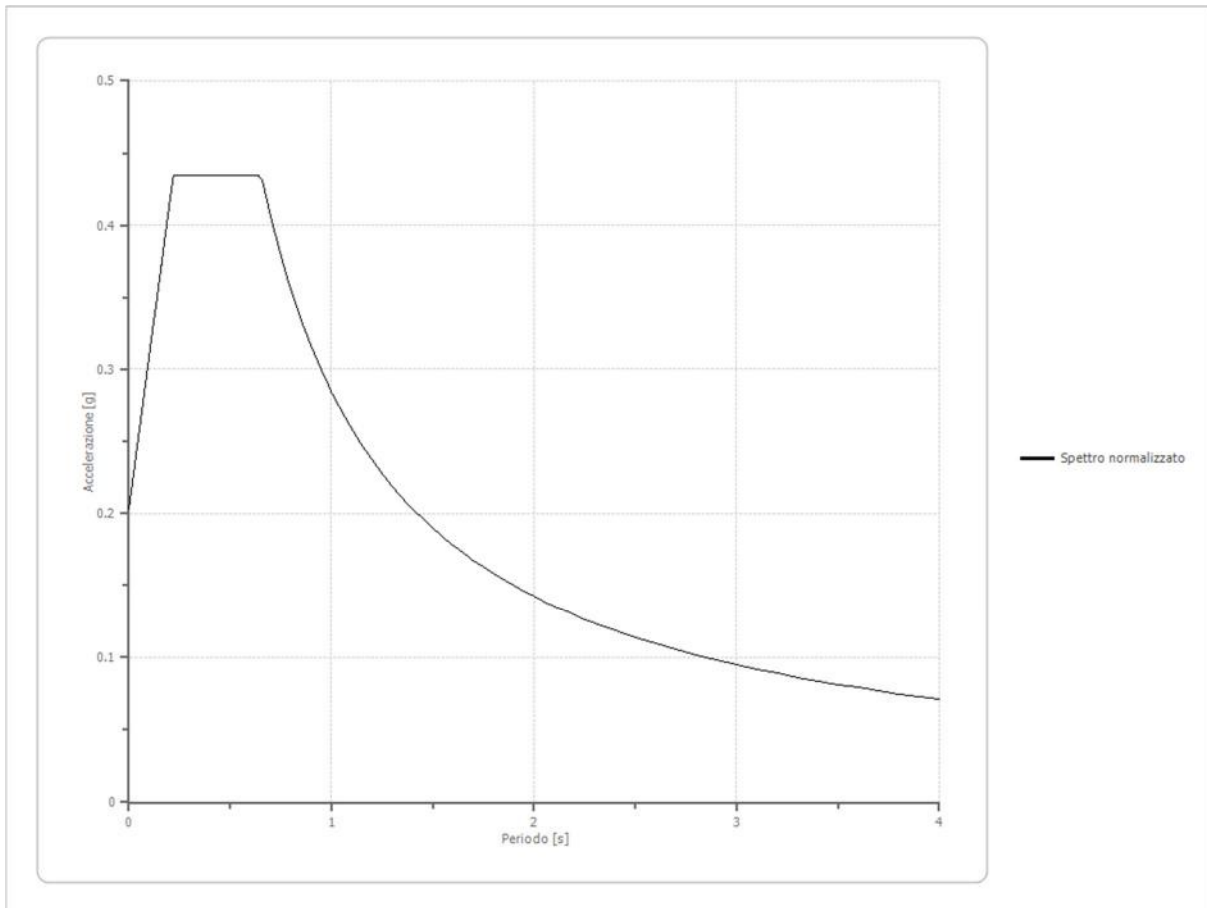
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2099	0.26	0.4473	0.52	0.3273	0.98	0.2885	2.25	0.0290
0.01	0.2099	0.27	0.4431	0.53	0.3250	1.00	0.2824	2.30	0.0276
0.02	0.2114	0.28	0.4469	0.54	0.3251	1.05	0.2592	2.35	0.0263
0.03	0.2143	0.29	0.4584	0.55	0.3248	1.10	0.2253	2.40	0.0251
0.04	0.2190	0.30	0.4650	0.56	0.3255	1.15	0.1950	2.50	0.0228
0.05	0.2289	0.31	0.4568	0.57	0.3269	1.20	0.1694	2.60	0.0210
0.06	0.2401	0.32	0.4475	0.58	0.3285	1.25	0.1474	2.70	0.0202
0.07	0.2486	0.33	0.4352	0.60	0.3294	1.30	0.1285	2.80	0.0193

0.08	0.2861	0.34	0.4250	0.62	0.3348	1.35	0.1127	2.90	0.0183
0.09	0.3172	0.35	0.4222	0.64	0.3423	1.40	0.0997	3.00	0.0172
0.10	0.3232	0.36	0.4204	0.66	0.3494	1.45	0.0895	3.10	0.0162
0.11	0.3354	0.37	0.4163	0.68	0.3581	1.50	0.0807	3.20	0.0152
0.12	0.3280	0.38	0.4084	0.70	0.3624	1.55	0.0739	3.30	0.0143
0.13	0.3350	0.39	0.4008	0.72	0.3634	1.60	0.0682	3.40	0.0134
0.14	0.3495	0.40	0.3981	0.74	0.3579	1.65	0.0632	3.50	0.0127
0.15	0.3728	0.41	0.3930	0.76	0.3536	1.70	0.0584	3.60	0.0120
0.16	0.4345	0.42	0.3840	0.78	0.3477	1.75	0.0540	3.70	0.0113
0.17	0.4475	0.43	0.3717	0.80	0.3410	1.80	0.0499	3.80	0.0107
0.18	0.4423	0.44	0.3632	0.82	0.3388	1.85	0.0462	3.90	0.0101
0.19	0.4628	0.45	0.3596	0.84	0.3372	1.90	0.0428	4.00	0.0096
0.20	0.4780	0.46	0.3574	0.86	0.3335	1.95	0.0400		
0.21	0.4815	0.47	0.3555	0.88	0.3274	2.00	0.0375		
0.22	0.4821	0.48	0.3497	0.90	0.3191	2.05	0.0354		
0.23	0.4790	0.49	0.3449	0.92	0.3125	2.10	0.0337		
0.24	0.4581	0.50	0.3391	0.94	0.3047	2.15	0.0321		
0.25	0.4507	0.51	0.3330	0.96	0.2965	2.20	0.0306		



6. SPETTRO NORMALIZZATO DI RISPOSTA ELASTICO

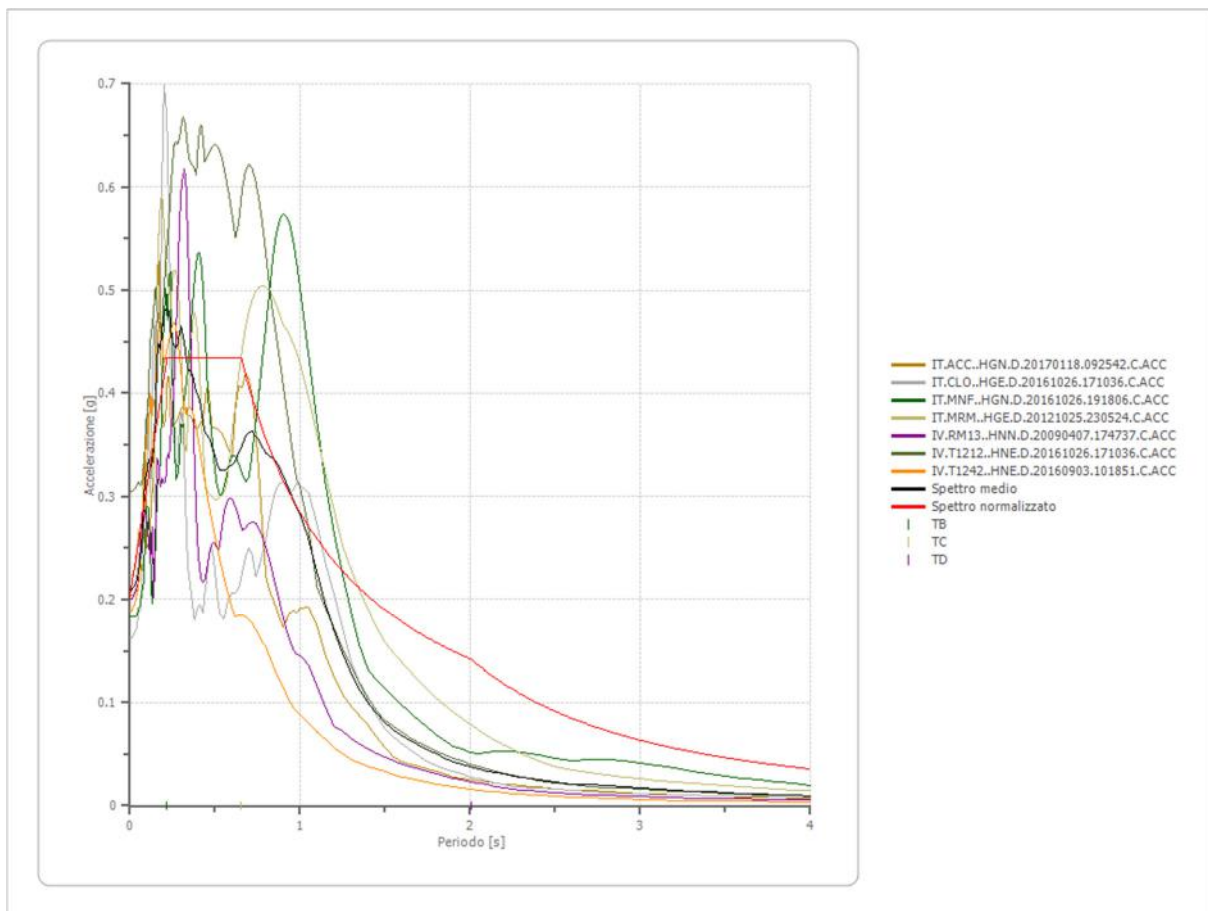
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2033	0.26	0.4342	0.52	0.4342	0.98	0.2901	2.25	0.1264
0.01	0.2139	0.27	0.4342	0.53	0.4342	1.00	0.2843	2.30	0.1236
0.02	0.2245	0.28	0.4342	0.54	0.4342	1.05	0.2708	2.35	0.1210
0.03	0.2351	0.29	0.4342	0.55	0.4342	1.10	0.2585	2.40	0.1185
0.04	0.2456	0.30	0.4342	0.56	0.4342	1.15	0.2473	2.50	0.1137
0.05	0.2562	0.31	0.4342	0.57	0.4342	1.20	0.2370	2.60	0.1094
0.06	0.2668	0.32	0.4342	0.58	0.4342	1.25	0.2275	2.70	0.1053
0.07	0.2774	0.33	0.4342	0.60	0.4342	1.30	0.2187	2.80	0.1016
0.08	0.2879	0.34	0.4342	0.62	0.4342	1.35	0.2106	2.90	0.0980
0.09	0.2985	0.35	0.4342	0.64	0.4342	1.40	0.2031	3.00	0.0948
0.10	0.3091	0.36	0.4342	0.66	0.4308	1.45	0.1961	3.10	0.0917
0.11	0.3197	0.37	0.4342	0.68	0.4182	1.50	0.1896	3.20	0.0889
0.12	0.3302	0.38	0.4342	0.70	0.4062	1.55	0.1834	3.30	0.0862
0.13	0.3408	0.39	0.4342	0.72	0.3949	1.60	0.1777	3.40	0.0836
0.14	0.3514	0.40	0.4342	0.74	0.3842	1.65	0.1723	3.50	0.0812
0.15	0.3620	0.41	0.4342	0.76	0.3741	1.70	0.1673	3.60	0.0790
0.16	0.3726	0.42	0.4342	0.78	0.3645	1.75	0.1625	3.70	0.0768
0.17	0.3831	0.43	0.4342	0.80	0.3554	1.80	0.1580	3.80	0.0748
0.18	0.3937	0.44	0.4342	0.82	0.3468	1.85	0.1537	3.90	0.0729
0.19	0.4043	0.45	0.4342	0.84	0.3385	1.90	0.1497	4.00	0.0711
0.20	0.4149	0.46	0.4342	0.86	0.3306	1.95	0.1458		
0.21	0.4254	0.47	0.4342	0.88	0.3231	2.00	0.1422		
0.22	0.4342	0.48	0.4342	0.90	0.3159	2.05	0.1387		
0.23	0.4342	0.49	0.4342	0.92	0.3091	2.10	0.1354		
0.24	0.4342	0.50	0.4342	0.94	0.3025	2.15	0.1323		
0.25	0.4342	0.51	0.4342	0.96	0.2962	2.20	0.1292		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.203	2.136	--	0.218	0.655	2.004	0.203	0.434

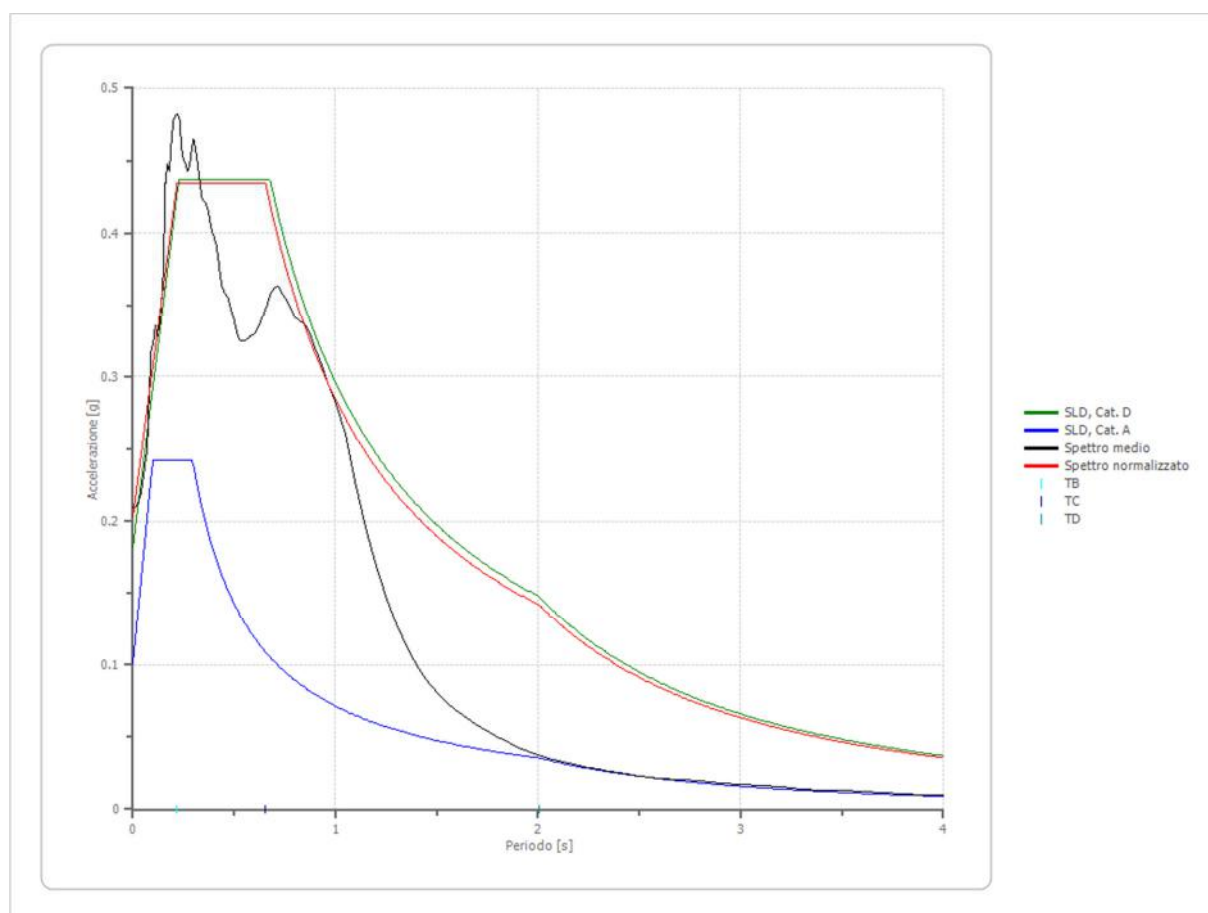
7. CONFRONTO TRA GLI SPETTRI



8. CONFRONTO SPETTRO NORMATIVA

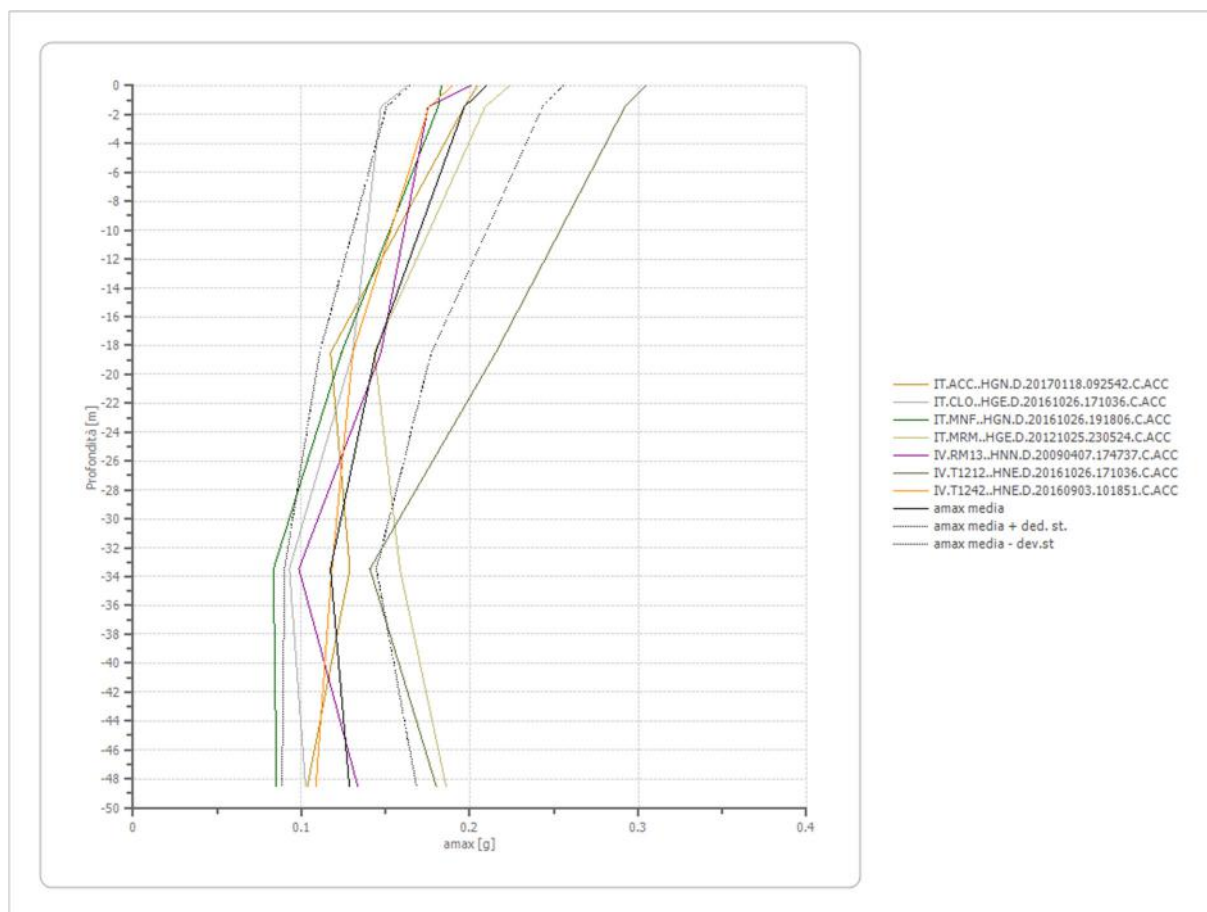
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operativit à SLO Cat. D	Danno SLD Cat. D	Salvagnar dia vita SLV Cat. D	Prev. collasso SLC Cat. D	Operativit à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvagnar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.081	0.101	0.232	0.292	0.081	0.101	0.232	0.292
Fo	2.412	2.402	2.507	2.532	2.412	2.402	2.507	2.532
Tc* [s]	0.285	0.294	0.328	0.337	0.285	0.294	0.328	0.337
Ss	1.80	1.80	1.53	1.29	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	2.34	2.31	2.18	2.15	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.222	0.226	0.239	0.242	0.095	0.098	0.109	0.112
TC [s]	0.667	0.678	0.716	0.726	0.285	0.294	0.328	0.337
TD [s]	1.924	2.004	2.528	2.768	1.924	2.004	2.528	2.768
Se(0) [g]	0.146	0.182	0.354	0.377	0.081	0.101	0.232	0.292
Se(TB) [g]	0.352	0.437	0.888	0.954	0.195	0.243	0.582	0.739



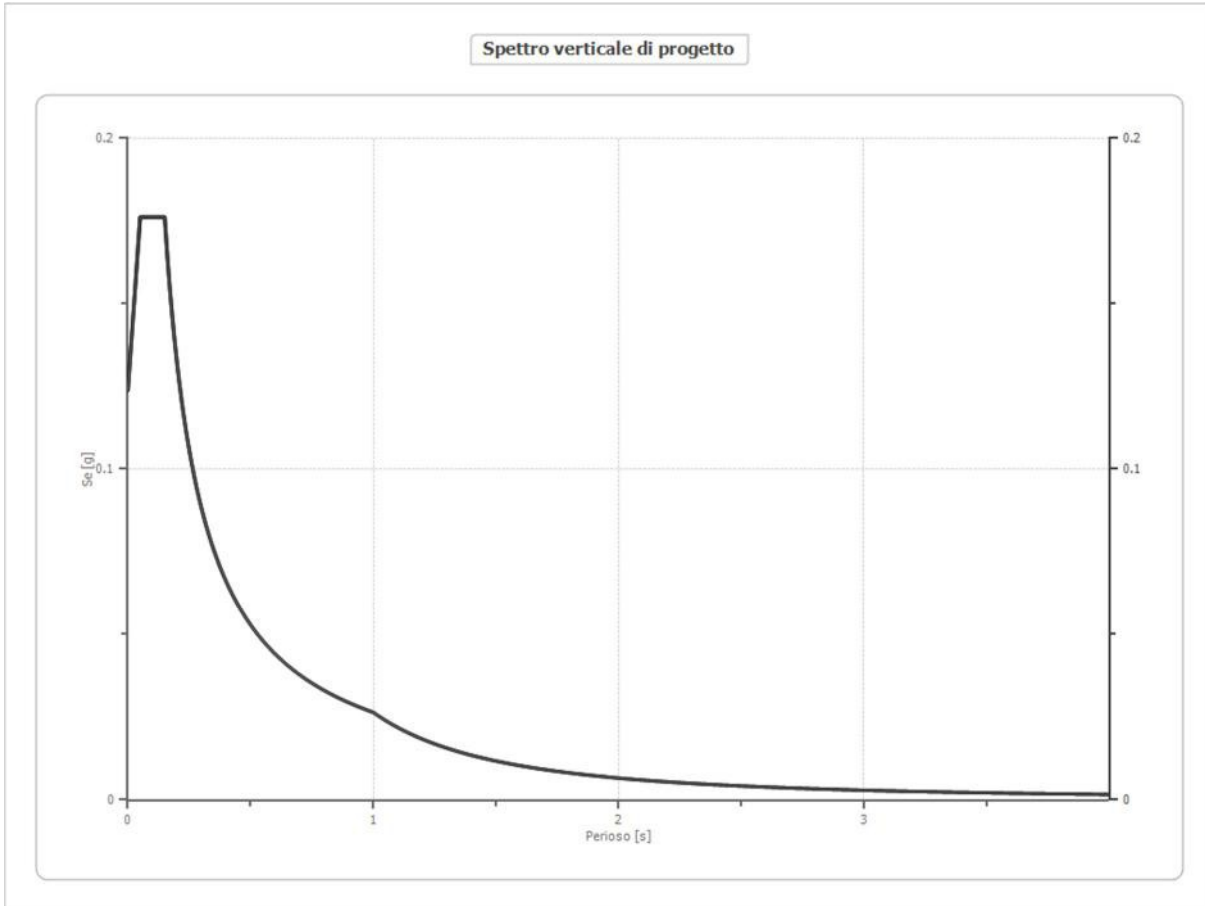
9. PROFILO A MAX

	0.0 [m]	1.5 [m]	18.5 [m]	33.5 [m]	48.5 [m]
IT.ACC..HGN.D.2 0170118.092542. C.ACC [g]	0.204	0.197	0.117	0.129	0.104
IT.CLO..HGE.D.2 0161026.171036. C.ACC [g]	0.163	0.147	0.130	0.093	0.102
IT.MNF..HGN.D. 20161026.191806. C.ACC [g]	0.183	0.181	0.124	0.083	0.085
IT.MRM..HGE.D. 20121025.230524. C.ACC [g]	0.224	0.209	0.143	0.158	0.186
IV.RM13..HNN.D .20090407.174737 .C.ACC [g]	0.201	0.175	0.147	0.098	0.133
IV.T1212..HNE.D .20161026.171036 .C.ACC [g]	0.305	0.292	0.215	0.141	0.180
IV.T1242..HNE.D .20160903.101851 .C.ACC [g]	0.190	0.176	0.131	0.118	0.109
media [g]	0.210	0.197	0.144	0.117	0.128
Dev. St. [g]	0.046	0.046	0.033	0.027	0.040



10. SPETTRO VERTICALE DI PROGETTO

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.203	2.136	0.150	1.300	1.5	0.050	0.150	1.000	0.124	0.176



Dott.Geol. Paolo Boldrini

Via Roma, 20
62024 Matelica (MC)
Tel: 0737 85483
Cell: 3391966697

Email: geo.paolo@libero.it



Nr. Lic. D2MNS-EKA5C-8TKKH-CEEXU

Web: www.geostru.eu

COMUNE DI PIORACO

Provincia di Macerata

VERIFICA DELLA VULNERABILITA' SISMICA DELLA PALESTRA SCOLASTICA DI PIORACO SITA IN LOCALITÀ PIÈ DI GUALDO

Committente: AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PIORACO

RISPOSTA SISMICA LOCALE

Pericolosità sismica di base

STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA [SLV]



Matelica, novembre 2018

Il Tecnico

Indice

1 - Introduzione	pag. 3
2 - Dati generali	pag. 8
3 - Terreni	pag. 8
3.1 - EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri	pag. 8
3.2 - Rollins et al (1998) (GW, GP, GM, GC)	pag. 9
3.3 - Curva n.6 Terremoto Marche 2016	pag. 10
4 - Stratigrafia	pag. 11
5 - Elaborazione	pag. 12
5.1 - Fattori di amplificazione ICMS 2008	pag. 12
5.2 - Fattori di amplificazione su intensità spettrale	pag. 12
6 - Spettro normalizzato di risposta elastico	pag. 14
7 - Confronto tra gli spettri	pag. 16
8 - Confronto spettro normativa	pag. 17
9 - Profilo a max	pag. 18
10 - Spettro verticale di progetto	pag. 19

1. 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).

$$\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$$

Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt, 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:

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

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:

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

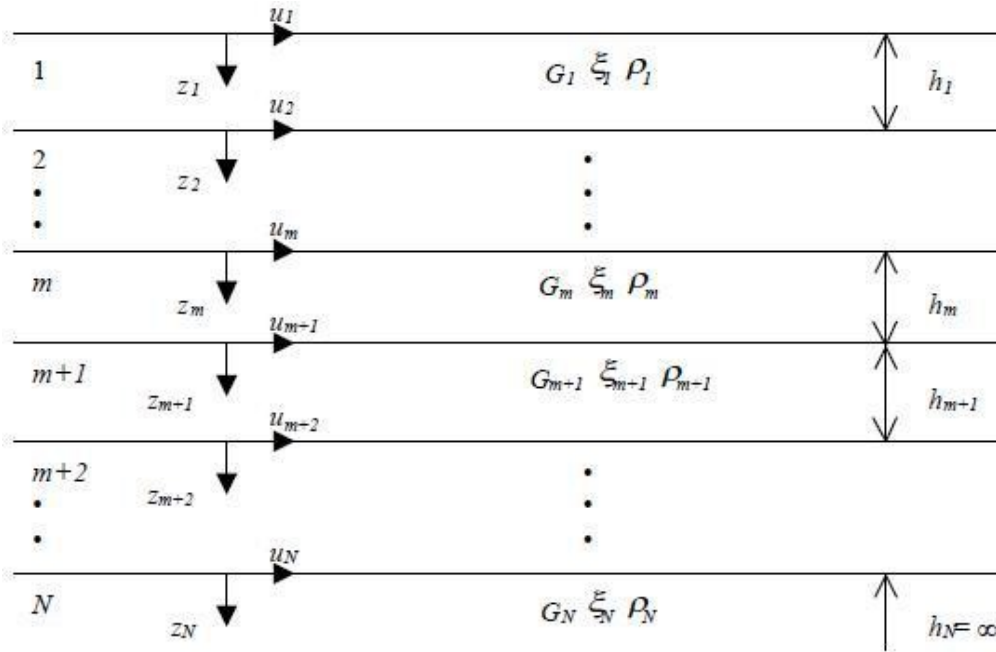


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

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

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

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

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

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:

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

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 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.

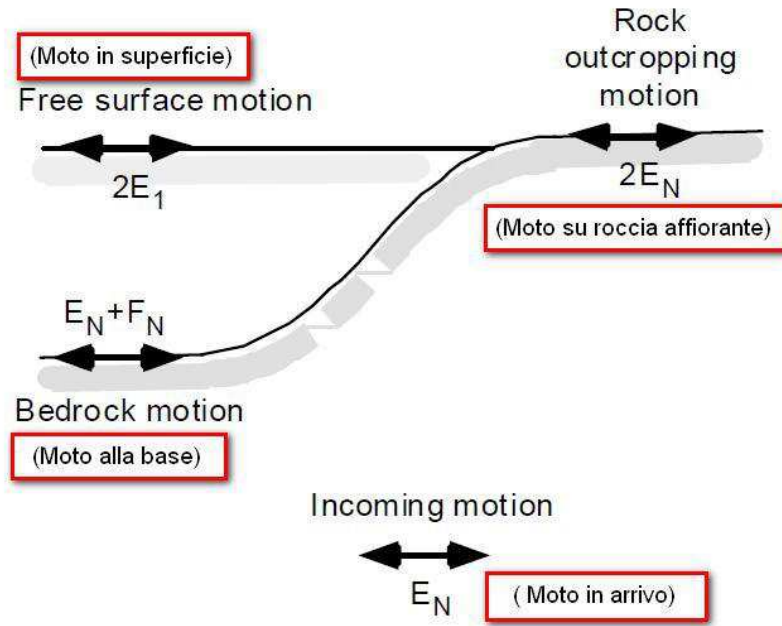


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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:

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

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

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

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

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.

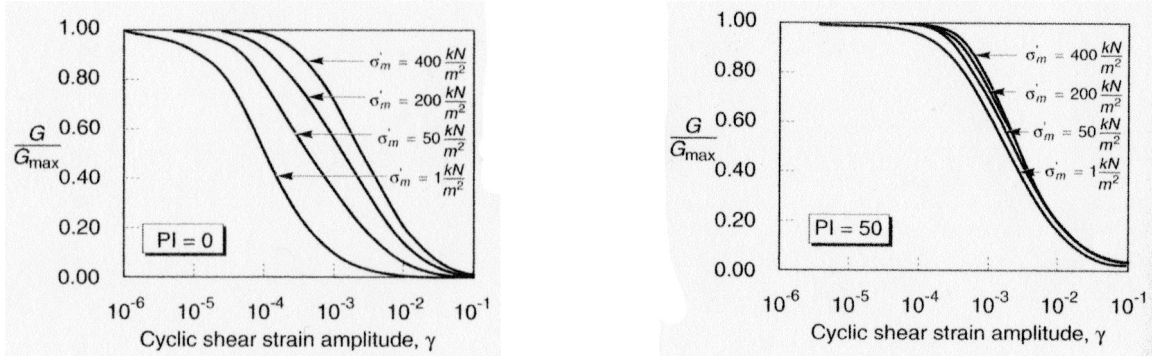


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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.

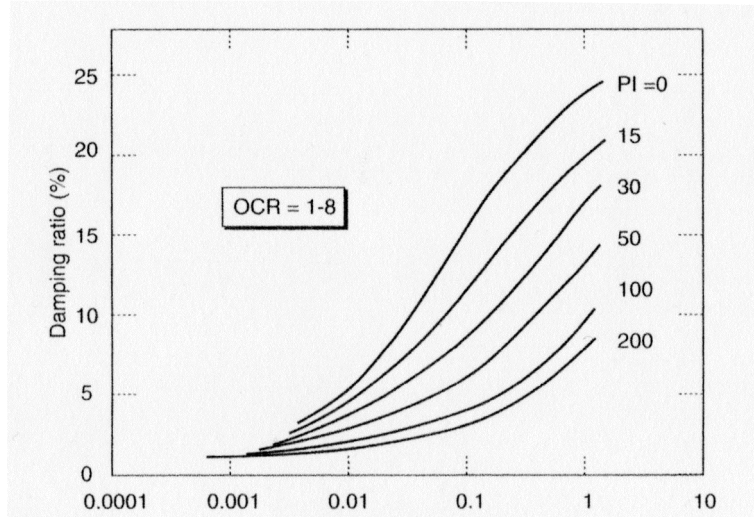


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

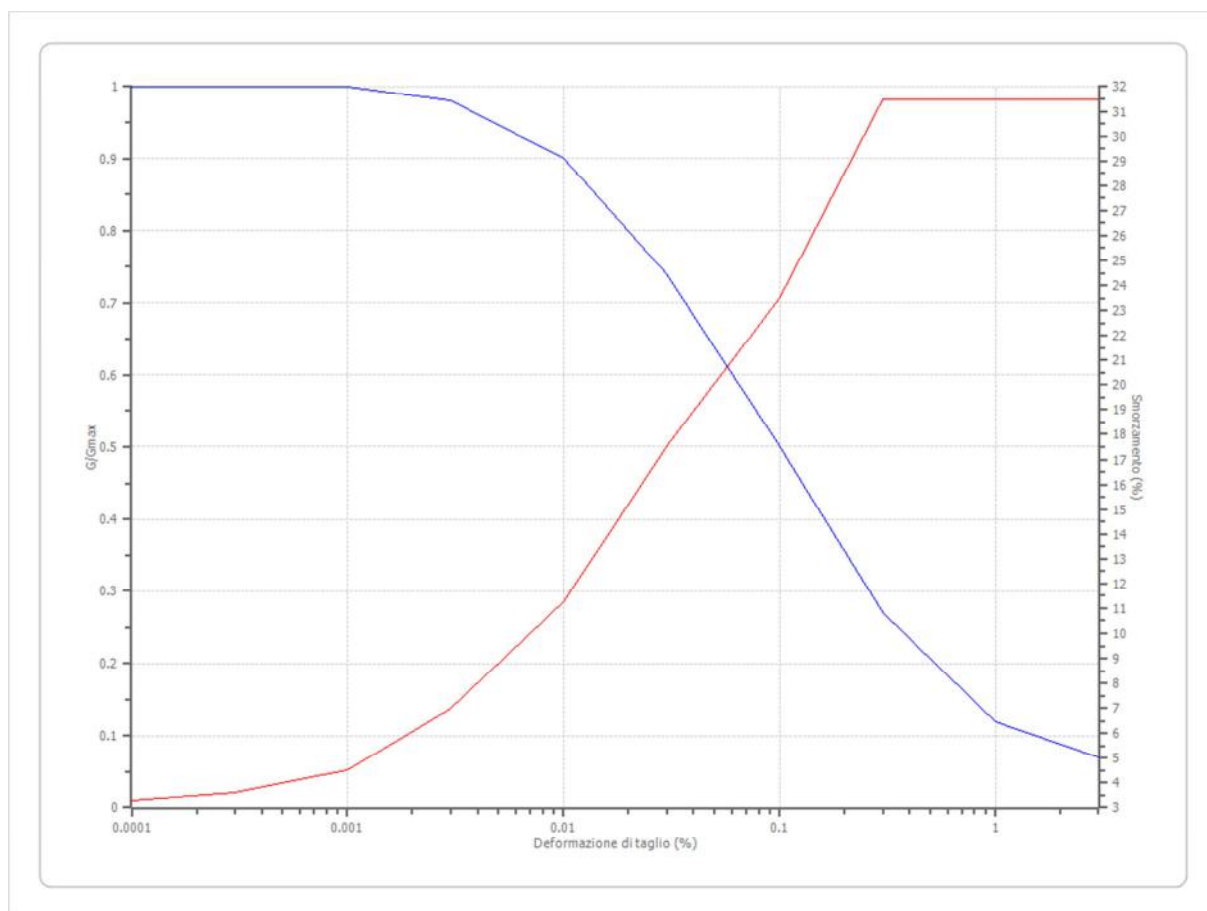
2. DATI GENERALI

Data della prova d.C./11/2018
 Via Loc. Piè di Gualdo PIORACO
 Latitudine 43,17821[°]
 Longitudine 12,9772673[°]

3. TERRENI

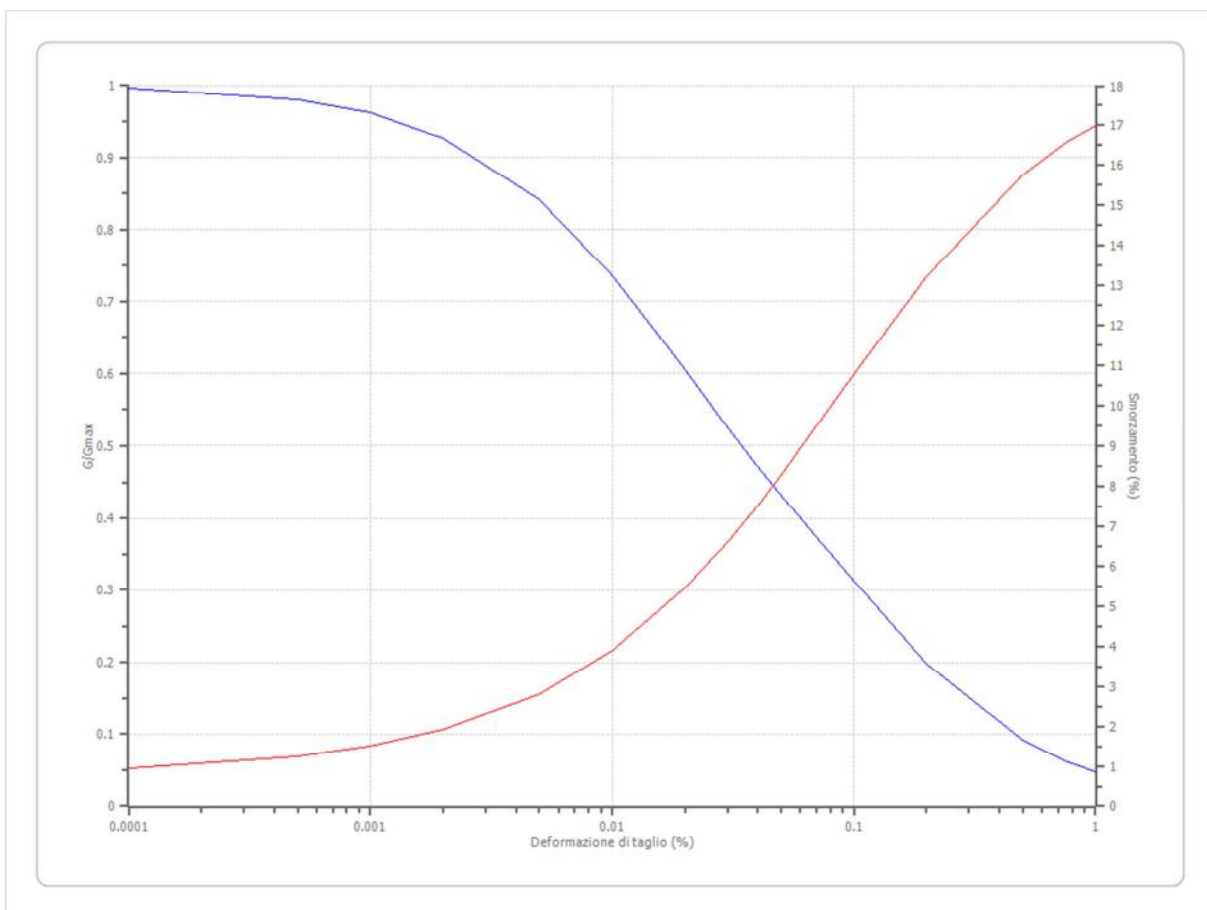
3.1 - EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri

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



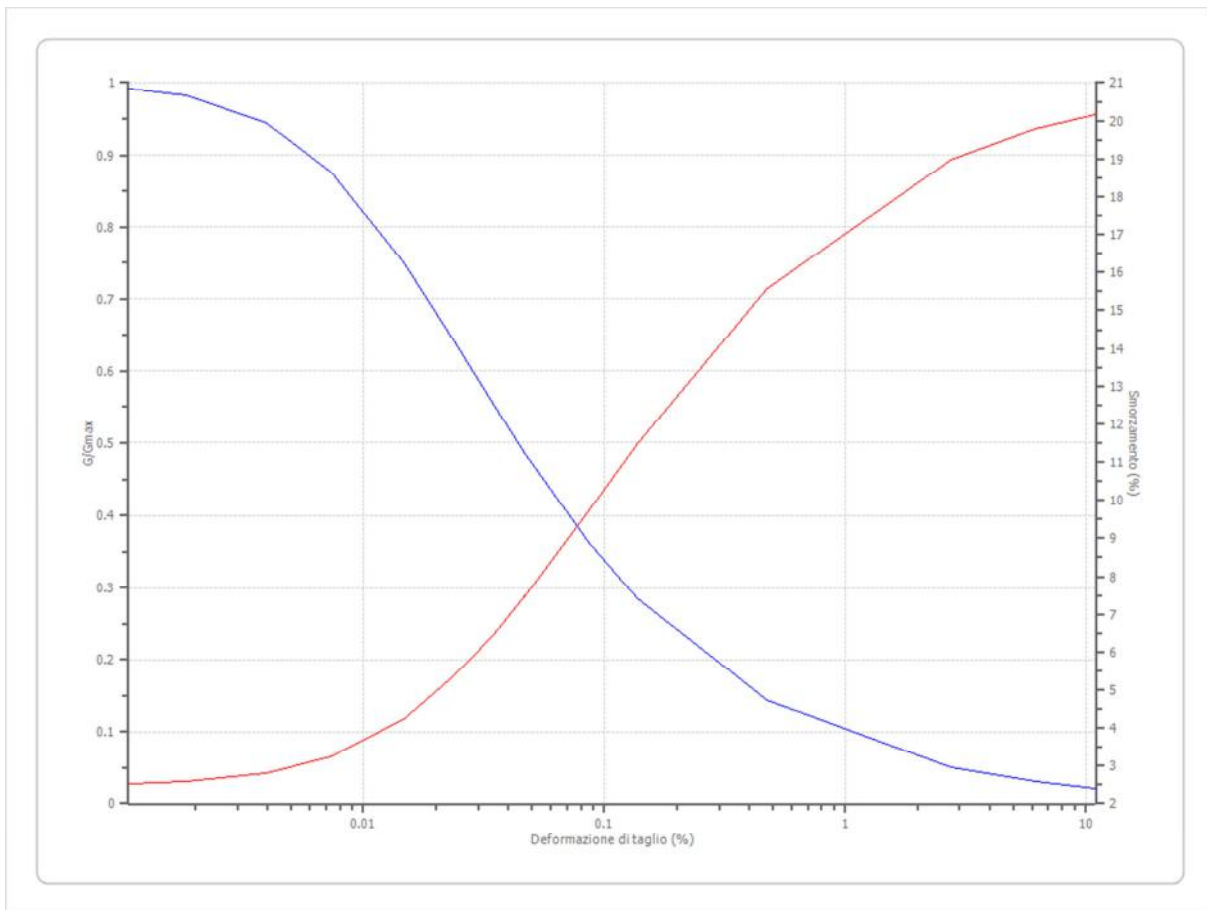
3.2 - Rollins et al (1998) (GW, GP, GM, GC)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	0.996	0.0001	0.949
0.0005	0.981	0.0005	1.239
0.001	0.962	0.001	1.498
0.002	0.927	0.002	1.905
0.005	0.841	0.005	2.805
0.010	0.736	0.010	3.894
0.020	0.605	0.020	5.454
0.030	0.526	0.030	6.605
0.040	0.472	0.040	7.523
0.050	0.432	0.050	8.282
0.075	0.361	0.075	9.737
0.100	0.313	0.100	10.793
0.200	0.198	0.200	13.229
0.500	0.091	0.500	15.758
0.750	0.062	0.750	16.555
1.000	0.048	1.000	17.009



3.3 - Curva n.6 Terremoto Marche 2016

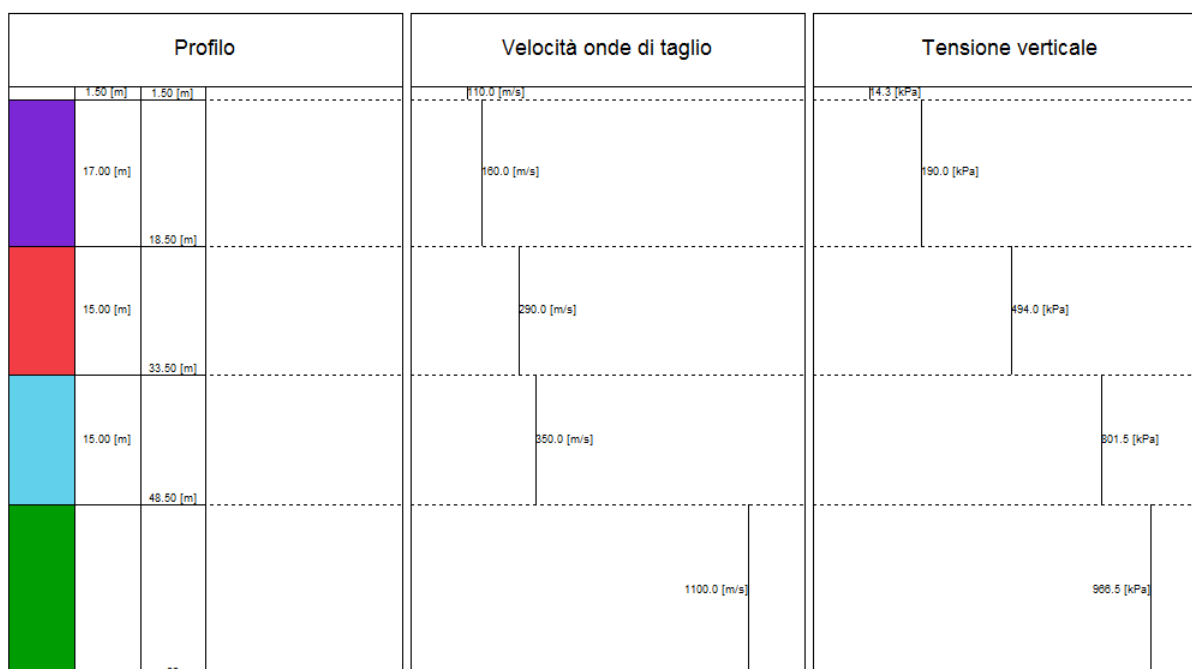
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.001057	0.992191	0.001057	2.528715
0.001843	0.9816	0.001843	2.586684
0.003939	0.944256	0.003939	2.801886
0.007316	0.876728	0.007316	3.237503
0.014769	0.749131	0.014769	4.254001
0.023686	0.642525	0.023686	5.344119
0.034303	0.556301	0.034303	6.427055
0.04673	0.4867	0.04673	7.459308
0.086102	0.363349	0.086102	9.71268
0.137763	0.284747	0.137763	11.49188
0.472443	0.143213	0.472443	15.5572
2.759657	0.0504	2.759657	18.97541
6.180209	0.030958	6.180209	19.78157
11.00517	0.021799	11.00517	20.17312



4. STRATIGRAFIA

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	1.5	Curva n.6 Terremoto Marche 2016	0	23.44	--	19.0	110.0	14.3
2		1.5	17.0	Curva n.6 Terremoto Marche 2016	0	49.58	--	19.0	160.0	190.0
3		18.5	15.0	Rollins et al (1998) (GW, GP, GM, GC)	0	162.88	--	19.0	290.0	494.0
4		33.5	15.0	Rollins et al (1998) (GW, GP, GM, GC)	0	274.72	--	22.0	350.0	801.5
5		∞	--	EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri	0	2713.56	--	22.0	1100.0	966.5

Strato rilevamento accelerogramma: 5 Affiorante



5. 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 2.95 E-05

5.1 - Fattori di amplificazione ICMS 2008

Tai	0.280 [s]
Tvi	1.150 [s]
Tao	0.300 [s]
Tvo	1.200 [s]
Sami	4.757 [m/s ²]
Svmi	0.334 [m/s]
Samo	7.119 [m/s ²]
Svmo	1.065 [m/s]
Fa	1.497 [-]
Fv	3.190 [-]
TB	0.313 [s]
TC	0.940 [s]
TD	2.528 [s]
SA(0)	0.336 [g]
SA(TB)	0.726 [g]

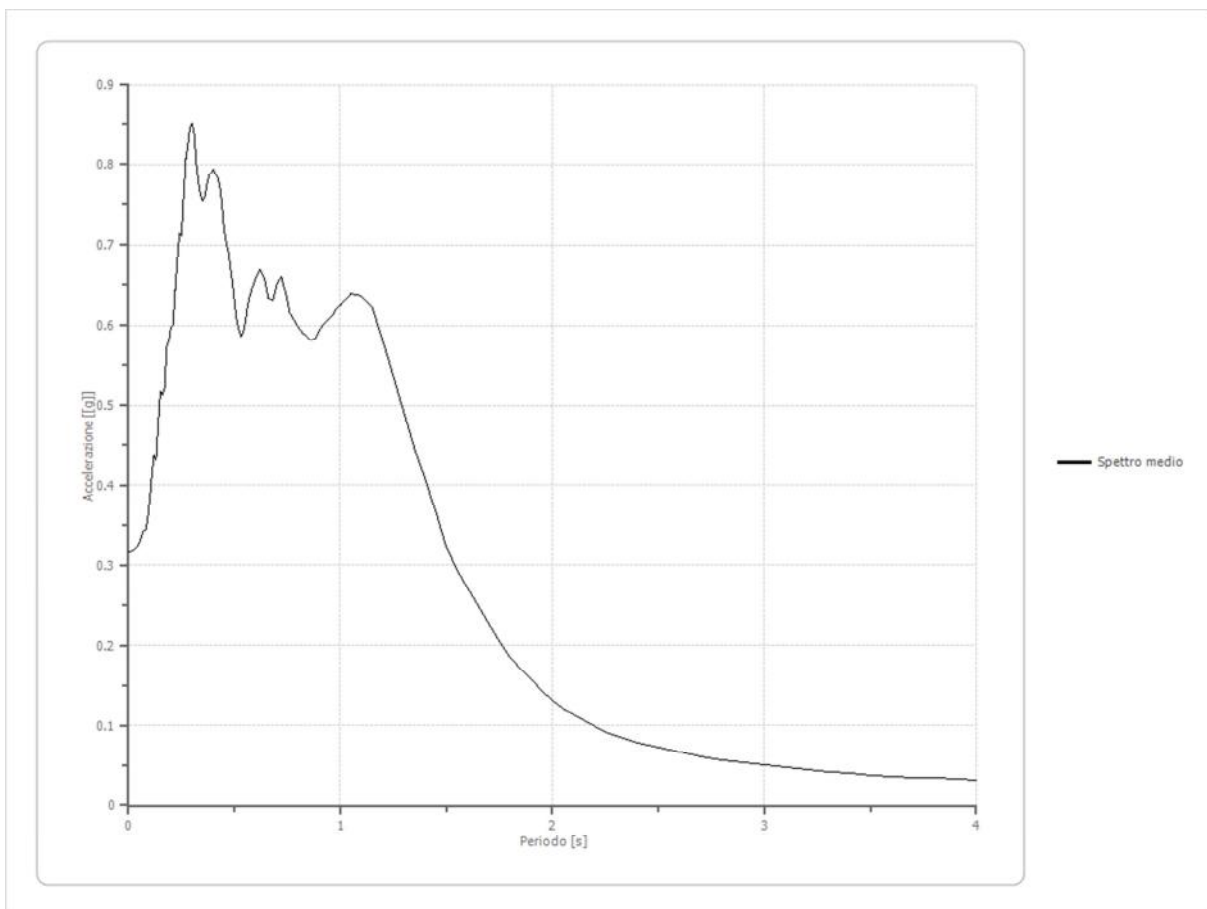
5.2 Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.078	0.115	0.200	1.476
0.400	0.800	0.115	0.224	0.500	1.944
0.700	1.100	0.129	0.338	0.636	2.628

Spettro medio di risposta elastico

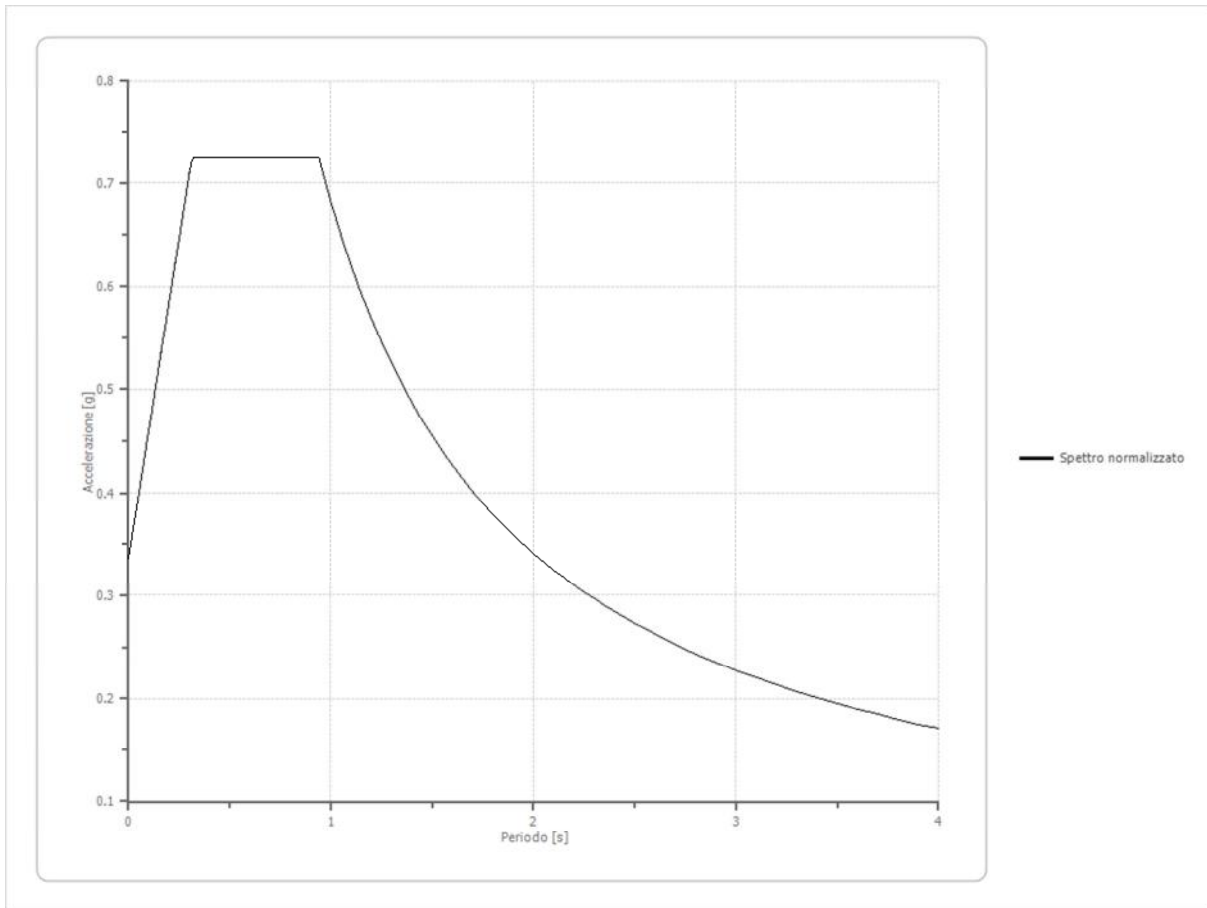
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3172	0.26	0.7611	0.52	0.5952	0.98	0.6206	2.25	0.0918
0.01	0.3172	0.27	0.8066	0.53	0.5862	1.00	0.6247	2.30	0.0864
0.02	0.3182	0.28	0.8253	0.54	0.5902	1.05	0.6387	2.35	0.0822
0.03	0.3196	0.29	0.8463	0.55	0.6043	1.10	0.6369	2.40	0.0786
0.04	0.3224	0.30	0.8515	0.56	0.6220	1.15	0.6227	2.50	0.0724
0.05	0.3265	0.31	0.8360	0.57	0.6351	1.20	0.5805	2.60	0.0667
0.06	0.3338	0.32	0.7994	0.58	0.6432	1.25	0.5368	2.70	0.0606
0.07	0.3428	0.33	0.7766	0.60	0.6578	1.30	0.4910	2.80	0.0561
0.08	0.3437	0.34	0.7594	0.62	0.6683	1.35	0.4455	2.90	0.0530
0.09	0.3560	0.35	0.7546	0.64	0.6581	1.40	0.4073	3.00	0.0500
0.10	0.3832	0.36	0.7596	0.66	0.6337	1.45	0.3670	3.10	0.0471
0.11	0.4127	0.37	0.7743	0.68	0.6310	1.50	0.3225	3.20	0.0444
0.12	0.4374	0.38	0.7862	0.70	0.6514	1.55	0.2942	3.30	0.0418

0.13	0.4317	0.39	0.7897	0.72	0.6594	1.60	0.2711	3.40	0.0394
0.14	0.4793	0.40	0.7945	0.74	0.6414	1.65	0.2490	3.50	0.0372
0.15	0.5170	0.41	0.7870	0.76	0.6161	1.70	0.2265	3.60	0.0355
0.16	0.5130	0.42	0.7831	0.78	0.6073	1.75	0.2041	3.70	0.0345
0.17	0.5215	0.43	0.7734	0.80	0.5986	1.80	0.1855	3.80	0.0334
0.18	0.5723	0.44	0.7517	0.82	0.5905	1.85	0.1704	3.90	0.0322
0.19	0.5801	0.45	0.7210	0.84	0.5863	1.90	0.1570	4.00	0.0310
0.20	0.5981	0.46	0.7047	0.86	0.5813	1.95	0.1436		
0.21	0.6007	0.47	0.6929	0.88	0.5828	2.00	0.1305		
0.22	0.6433	0.48	0.6718	0.90	0.5939	2.05	0.1212		
0.23	0.6801	0.49	0.6520	0.92	0.6003	2.10	0.1132		
0.24	0.7142	0.50	0.6294	0.94	0.6068	2.15	0.1059		
0.25	0.7114	0.51	0.6072	0.96	0.6109	2.20	0.0985		



6. SPETTRO NORMALIZZATO DI RISPOSTA ELASTICO

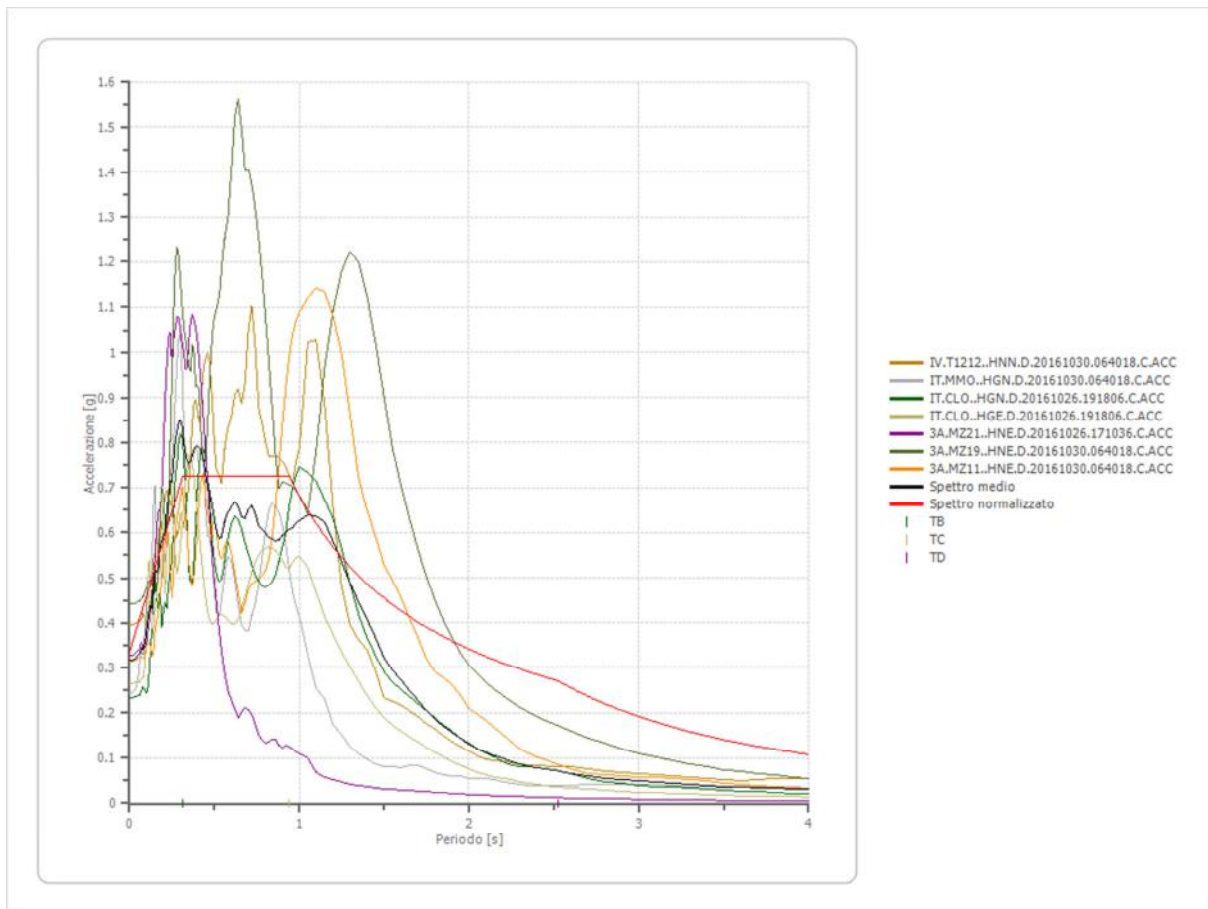
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3359	0.26	0.6593	0.52	0.7257	0.98	0.6961	2.25	0.3032
0.01	0.3484	0.27	0.6718	0.53	0.7257	1.00	0.6821	2.30	0.2966
0.02	0.3608	0.28	0.6842	0.54	0.7257	1.05	0.6497	2.35	0.2903
0.03	0.3733	0.29	0.6966	0.55	0.7257	1.10	0.6201	2.40	0.2842
0.04	0.3857	0.30	0.7091	0.56	0.7257	1.15	0.5932	2.50	0.2729
0.05	0.3981	0.31	0.7215	0.57	0.7257	1.20	0.5684	2.60	0.2624
0.06	0.4106	0.32	0.7257	0.58	0.7257	1.25	0.5457	2.70	0.2526
0.07	0.4230	0.33	0.7257	0.60	0.7257	1.30	0.5247	2.80	0.2436
0.08	0.4354	0.34	0.7257	0.62	0.7257	1.35	0.5053	2.90	0.2352
0.09	0.4479	0.35	0.7257	0.64	0.7257	1.40	0.4872	3.00	0.2274
0.10	0.4603	0.36	0.7257	0.66	0.7257	1.45	0.4704	3.10	0.2200
0.11	0.4728	0.37	0.7257	0.68	0.7257	1.50	0.4548	3.20	0.2132
0.12	0.4852	0.38	0.7257	0.70	0.7257	1.55	0.4401	3.30	0.2067
0.13	0.4976	0.39	0.7257	0.72	0.7257	1.60	0.4263	3.40	0.2006
0.14	0.5101	0.40	0.7257	0.74	0.7257	1.65	0.4134	3.50	0.1949
0.15	0.5225	0.41	0.7257	0.76	0.7257	1.70	0.4013	3.60	0.1895
0.16	0.5349	0.42	0.7257	0.78	0.7257	1.75	0.3898	3.70	0.1844
0.17	0.5474	0.43	0.7257	0.80	0.7257	1.80	0.3790	3.80	0.1795
0.18	0.5598	0.44	0.7257	0.82	0.7257	1.85	0.3687	3.90	0.1749
0.19	0.5723	0.45	0.7257	0.84	0.7257	1.90	0.3590	4.00	0.1705
0.20	0.5847	0.46	0.7257	0.86	0.7257	1.95	0.3498		
0.21	0.5971	0.47	0.7257	0.88	0.7257	2.00	0.3411		
0.22	0.6096	0.48	0.7257	0.90	0.7257	2.05	0.3327		
0.23	0.6220	0.49	0.7257	0.92	0.7257	2.10	0.3248		
0.24	0.6344	0.50	0.7257	0.94	0.7257	2.15	0.3173		
0.25	0.6469	0.51	0.7257	0.96	0.7106	2.20	0.3101		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.336	2.160	--	0.313	0.940	2.528	0.336	0.726

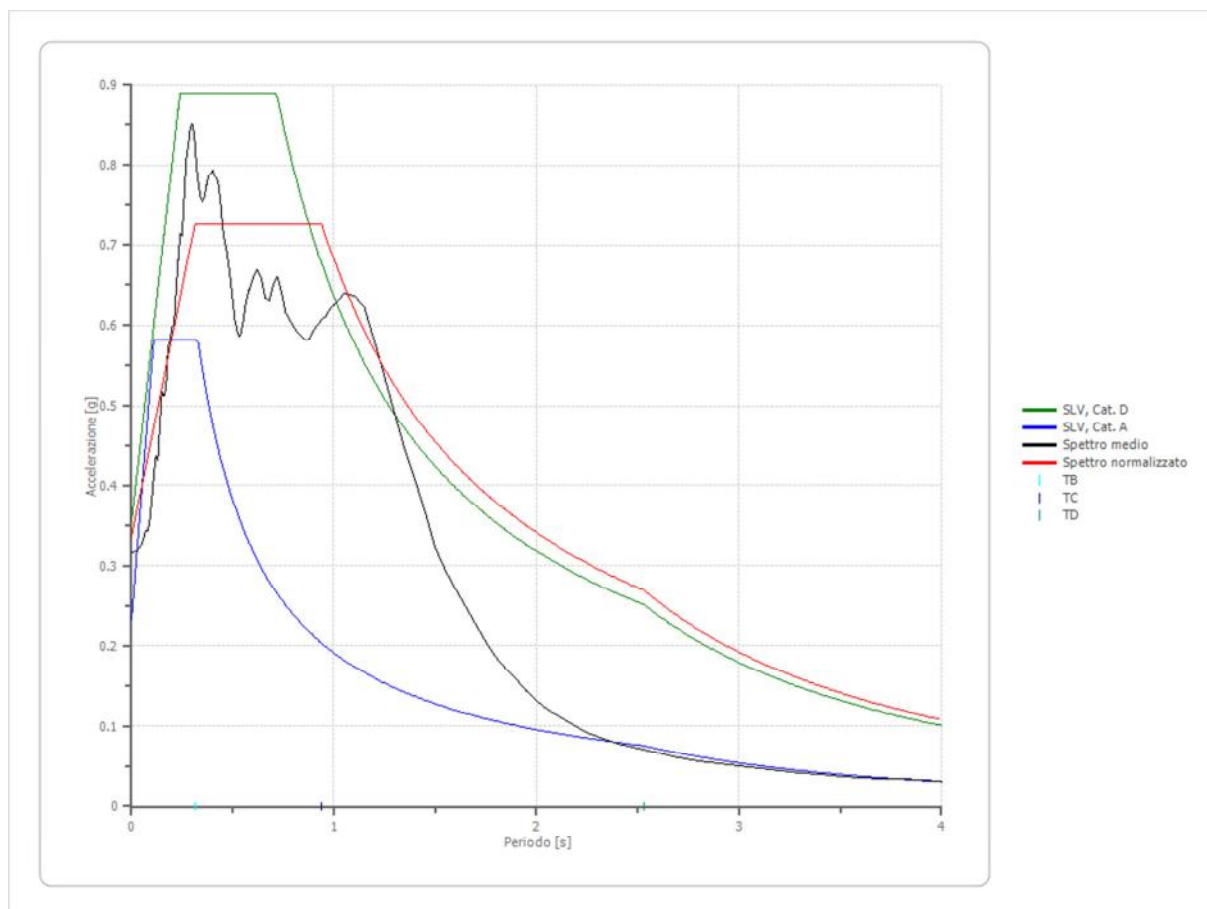
7. CONFRONTO TRA GLI SPETTRI



8. CONFRONTO SPETTRO NORMATIVA

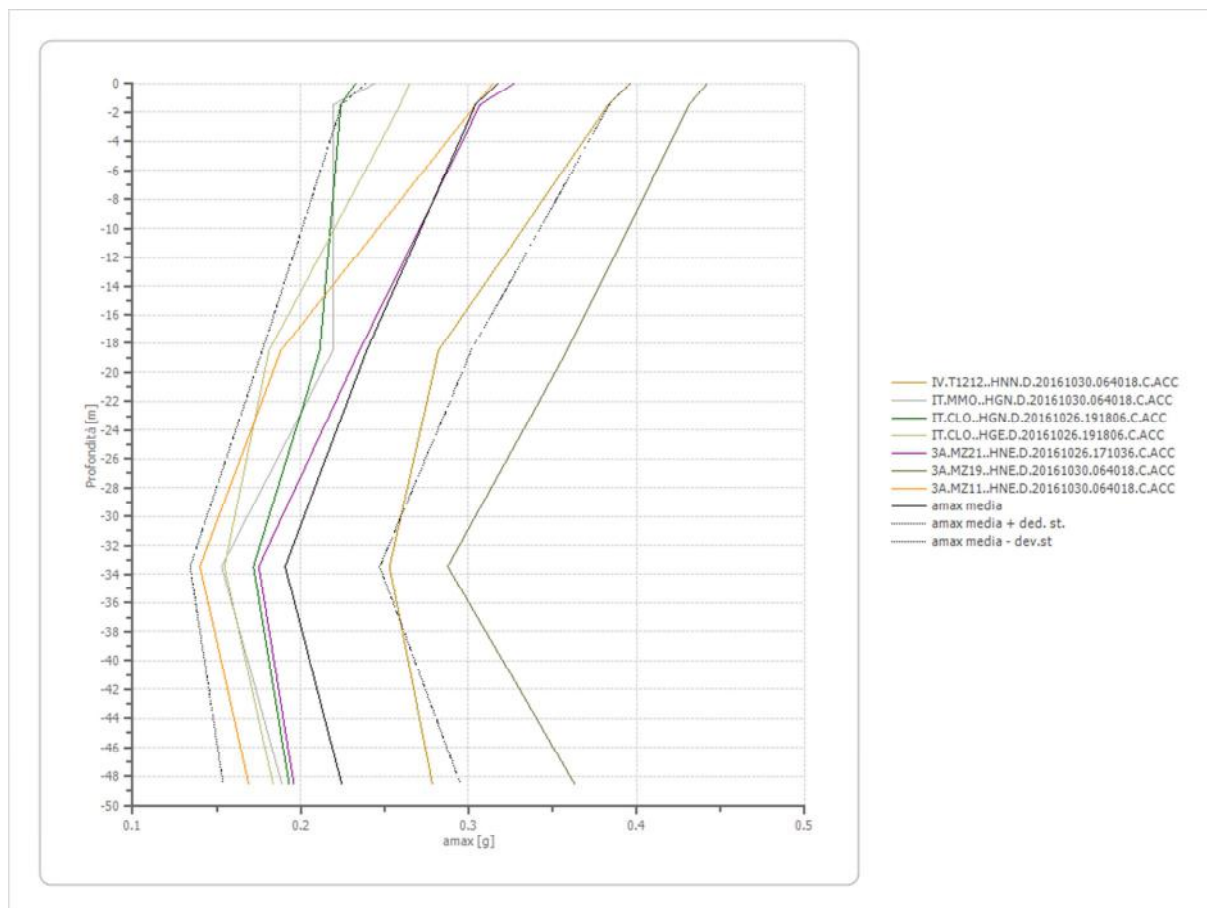
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operativit à SLO Cat. D	Danno SLD Cat. D	Salvaguar dia vita SLV Cat. D	Prev. collasso SLC Cat. D	Operativit à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.081	0.101	0.232	0.292	0.081	0.101	0.232	0.292
Fo	2.412	2.402	2.507	2.532	2.412	2.402	2.507	2.532
Tc* [s]	0.285	0.294	0.328	0.337	0.285	0.294	0.328	0.337
Ss	1.80	1.80	1.53	1.29	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	2.34	2.31	2.18	2.15	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.222	0.226	0.239	0.242	0.095	0.098	0.109	0.112
TC [s]	0.667	0.678	0.716	0.726	0.285	0.294	0.328	0.337
TD [s]	1.924	2.004	2.528	2.768	1.924	2.004	2.528	2.768
Se(0) [g]	0.146	0.182	0.354	0.377	0.081	0.101	0.232	0.292
Se(TB) [g]	0.352	0.437	0.888	0.955	0.195	0.243	0.582	0.739



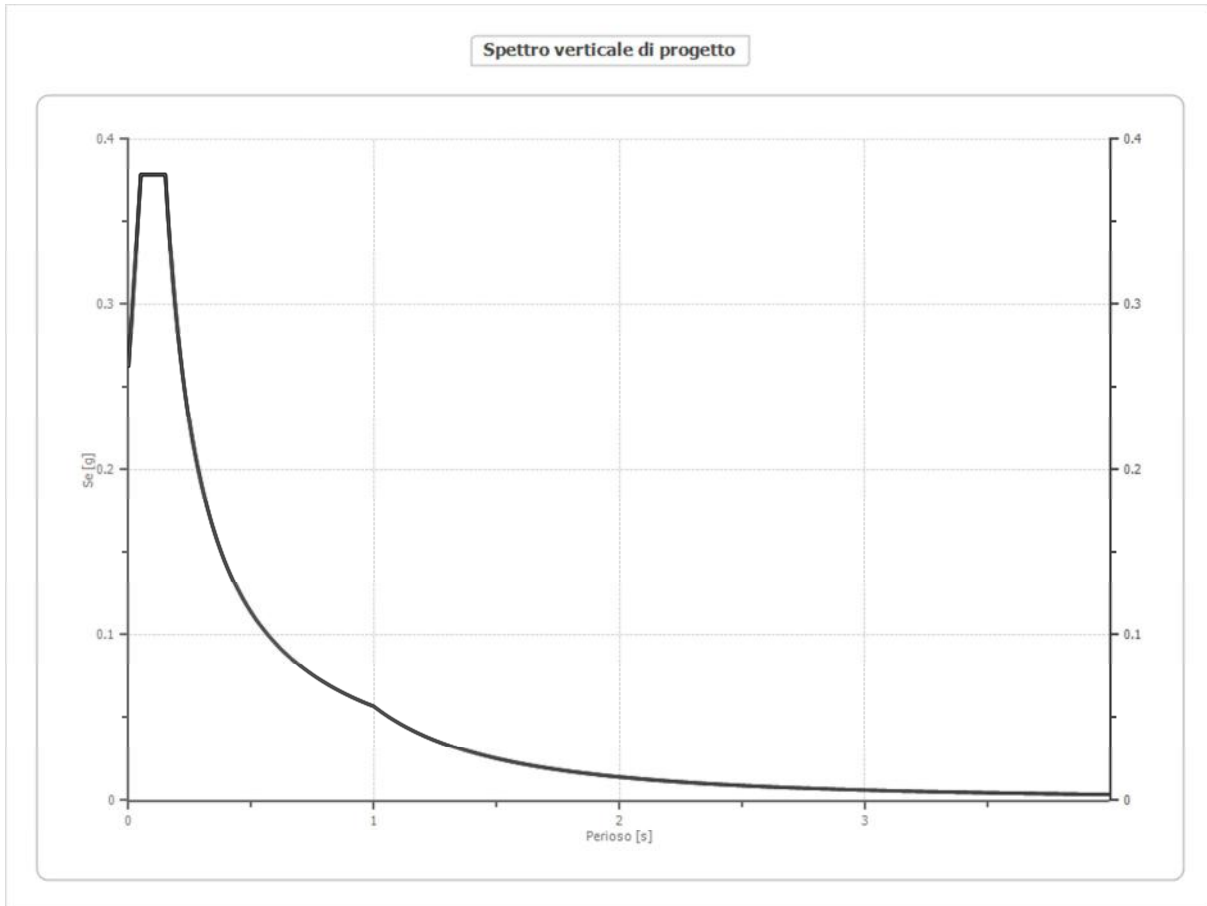
9. PROFILO A MAX

	0.0 [m]	1.5 [m]	18.5 [m]	33.5 [m]	48.5 [m]
IV.T1212..HN N.D.20161030. 064018.C.ACC [g]	0.396	0.383	0.282	0.253	0.278
IT.MMO..HGN.D. 20161030.064018. C.ACC [g]	0.244	0.220	0.219	0.153	0.189
IT.CLO..HGN.D.2 0161026.191806. C.ACC [g]	0.233	0.224	0.212	0.172	0.193
IT.CLO..HGE.D.2 0161026.191806. C.ACC [g]	0.265	0.259	0.181	0.155	0.183
3A.MZ21..HNE.D .20161026.171036 .C.ACC [g]	0.327	0.307	0.235	0.175	0.196
3A.MZ19..HNE.D .20161030.064018 .C.ACC [g]	0.442	0.431	0.359	0.288	0.363
3A.MZ11..HNE.D .20161030.064018 .C.ACC [g]	0.314	0.304	0.188	0.140	0.169
media [g]	0.317	0.304	0.239	0.191	0.224
Dev. St. [g]	0.079	0.080	0.062	0.057	0.071



10. CONFRONTO SPETTRO NORMATIVA

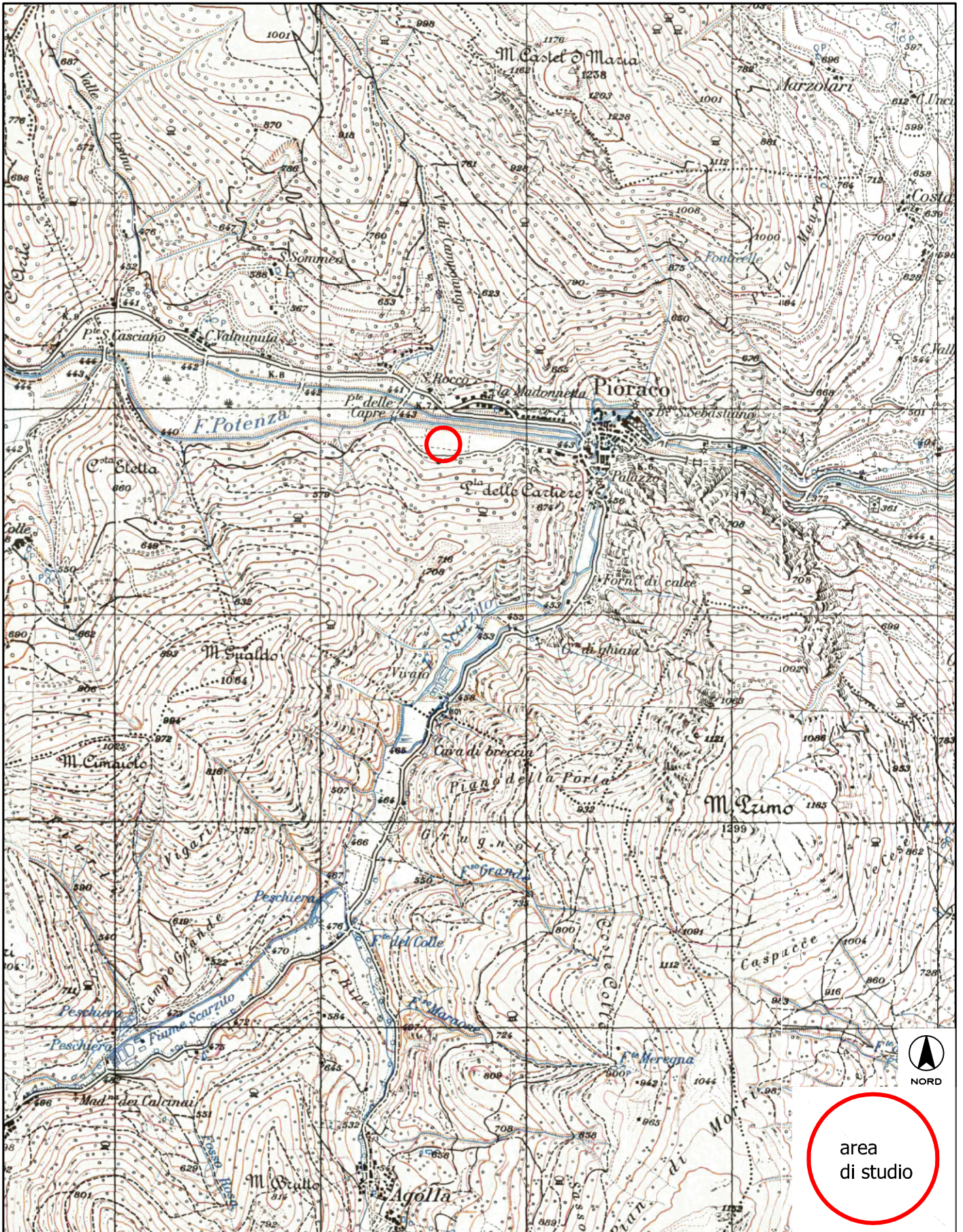
Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.336	2.160	0.150	1.690	1.5	0.050	0.150	1.000	0.263	0.379



COROGRAFIA

CARTOGRAFIA I.G.M.

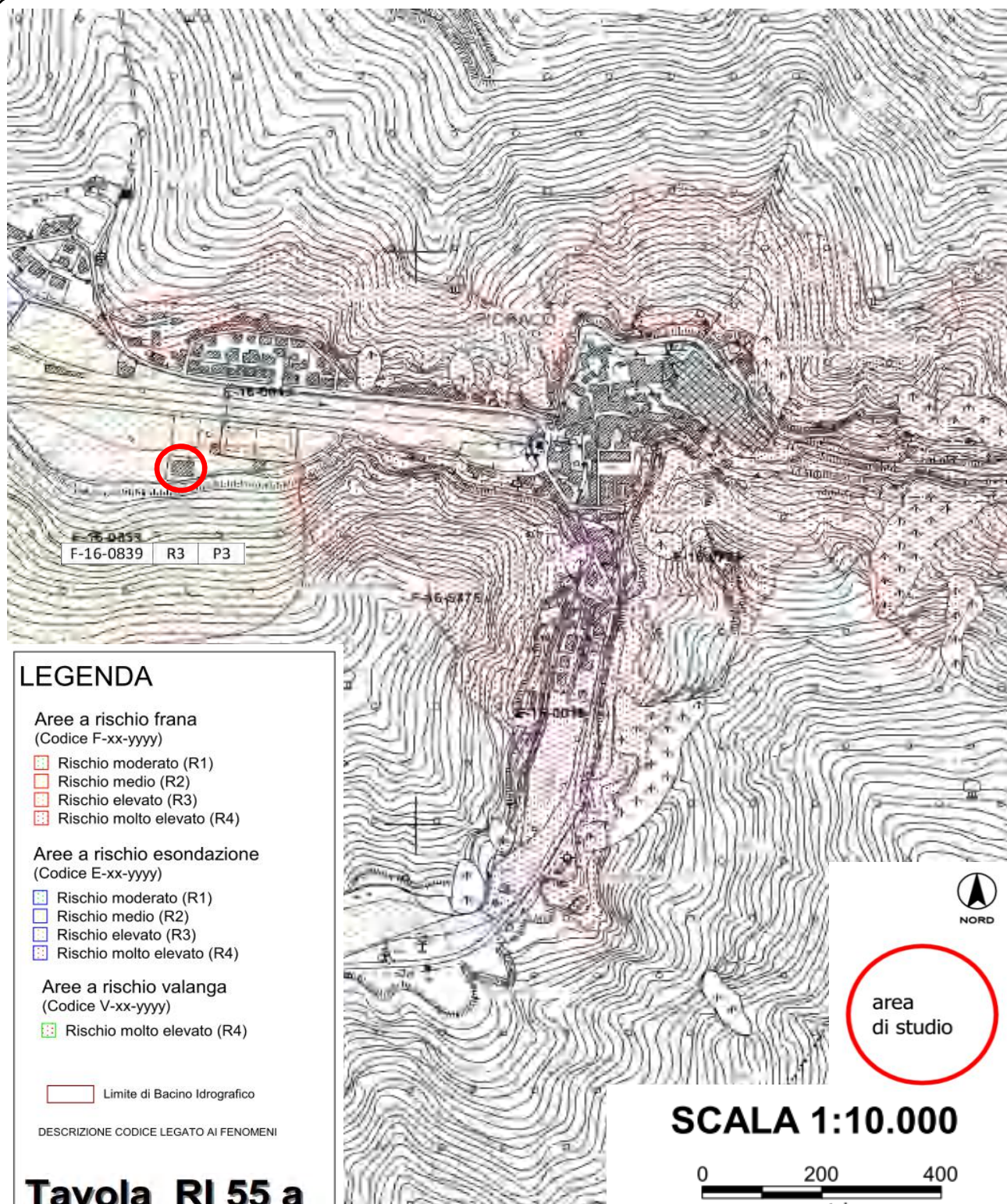
scala 1:25000



Piano Assetto Idrogeologico (PAI)

- AGGIORNAMENTO 2016 -
ALLEGATO SABFEV20160718 AL DECRETO DEL SEGRETARIO
GENERALE DELL'AUTORITA' DI BACINO REGIONALE

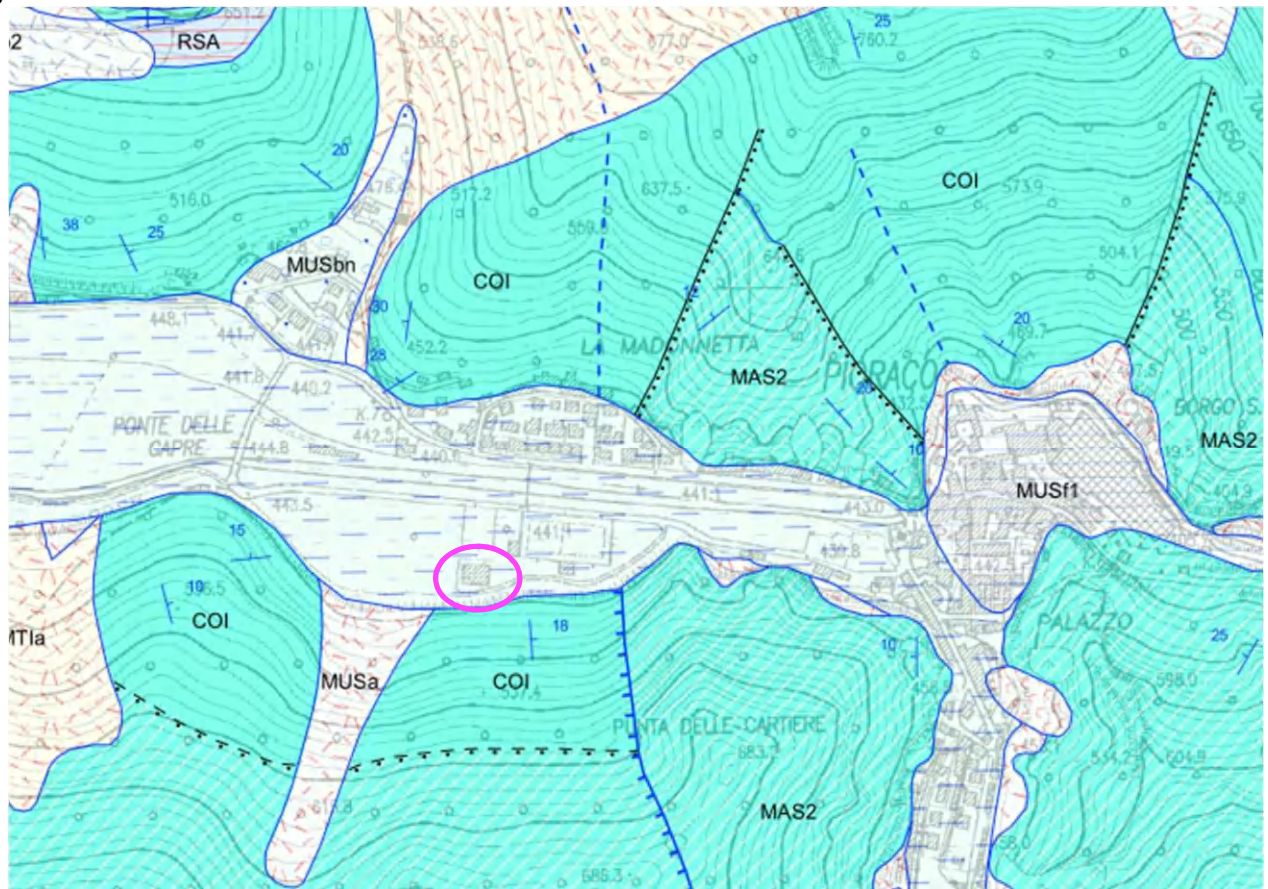
CARTA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO



STRALCIO CARTA GEOLOGICA REGIONALE

SCALA 1:10000

SEZIONE 312040 PIORACO



LEGENDA GEOLOGICA

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI VERSANTE MARCHIGIANO

SISTEMA DEL MUSONE (OLOCENE)

	MUSa1	Frane in evoluzione
	MUSa	Depositi di versante
	MUSb2	Depositi eluvio-colluviali
	MUSb	Depositi alluvionali attuali (ghiaia, sabbia, limo)
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)
	MUSe2	Depositi lacustri
	MUSf1	Travertino

SISTEMA DI MATELICA (PLEISTOCENE SUPERIORE)

	MTIa	Depositi di versante
	MTIbn	Depositi alluvionali terrazzati (ghiaia, sabbia, limo)

SUCCESSIONE GIURASSICA COMPLETA

	RSA	ROSSO AMMONITICO Toarciano p.p.
--	-----	------------------------------------

	COI	CORNIOLA Sinemuriano inf. p.p.- Toarciano inf. p.p.
--	-----	--

SUCCESSIONE GIURASSICA CONDENSATA

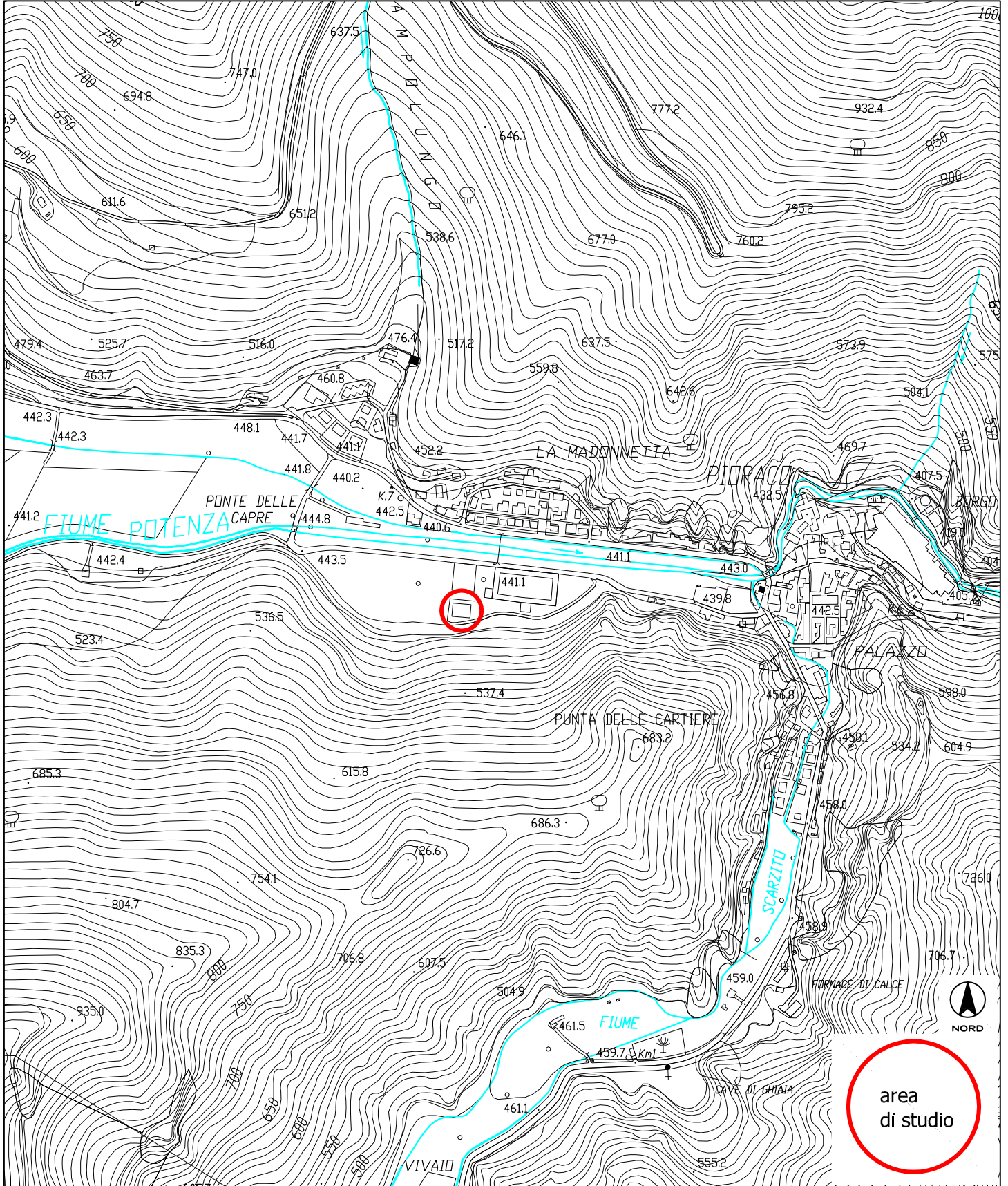
	MAS2	CALCARE MASSICCIO DEL M. NERONE Calcere massiccio A, membro inferiore ciclotemico Hettangiano - Carixiano p.p.
		Contatto stratigrafico e/o litologico
		Contatto stratigrafico inconforme
		Faglia
		Faglia diretta
		Faglia inversa
		Faglia con prevalente componente trascorrente (destra)
		Faglia sinsedimentaria
		Sovrascorrimento principale
		Stratificazione diritta
		Stratificazione orizzontale diritta
		Stratificazione verticale con indicazione della polarità
		Stratificazione rovesciata
		Specchio di faglia inclinato

Ubicazione area di studio

PLANIMETRIA

CARTOGRAFIA C.T.R. sezione 312040 PIORACO

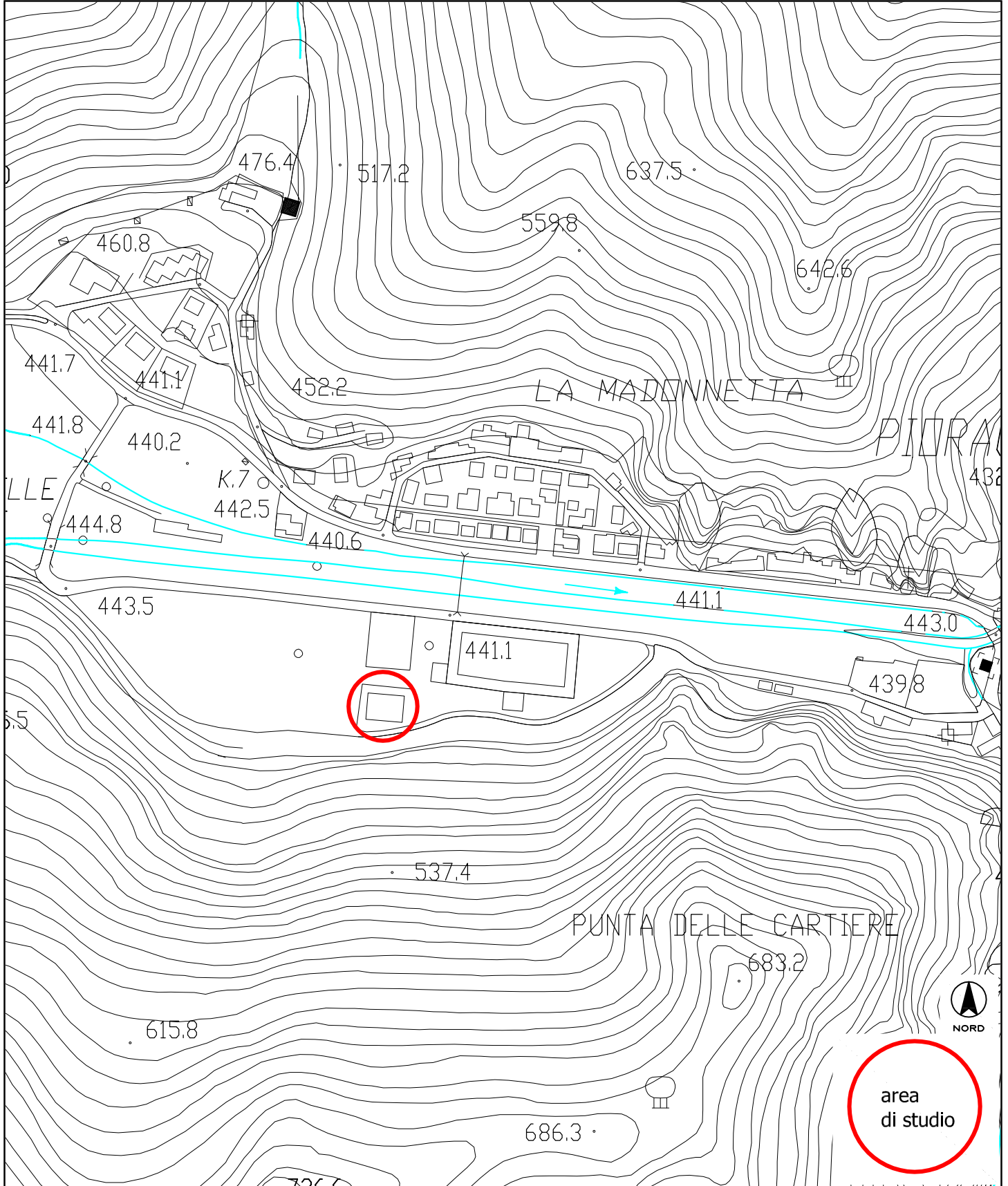
scala 1:10000



PLANIMETRIA

CARTOGRAFIA C.T.R. sezione 312040 PIORACO

scala 1:5000





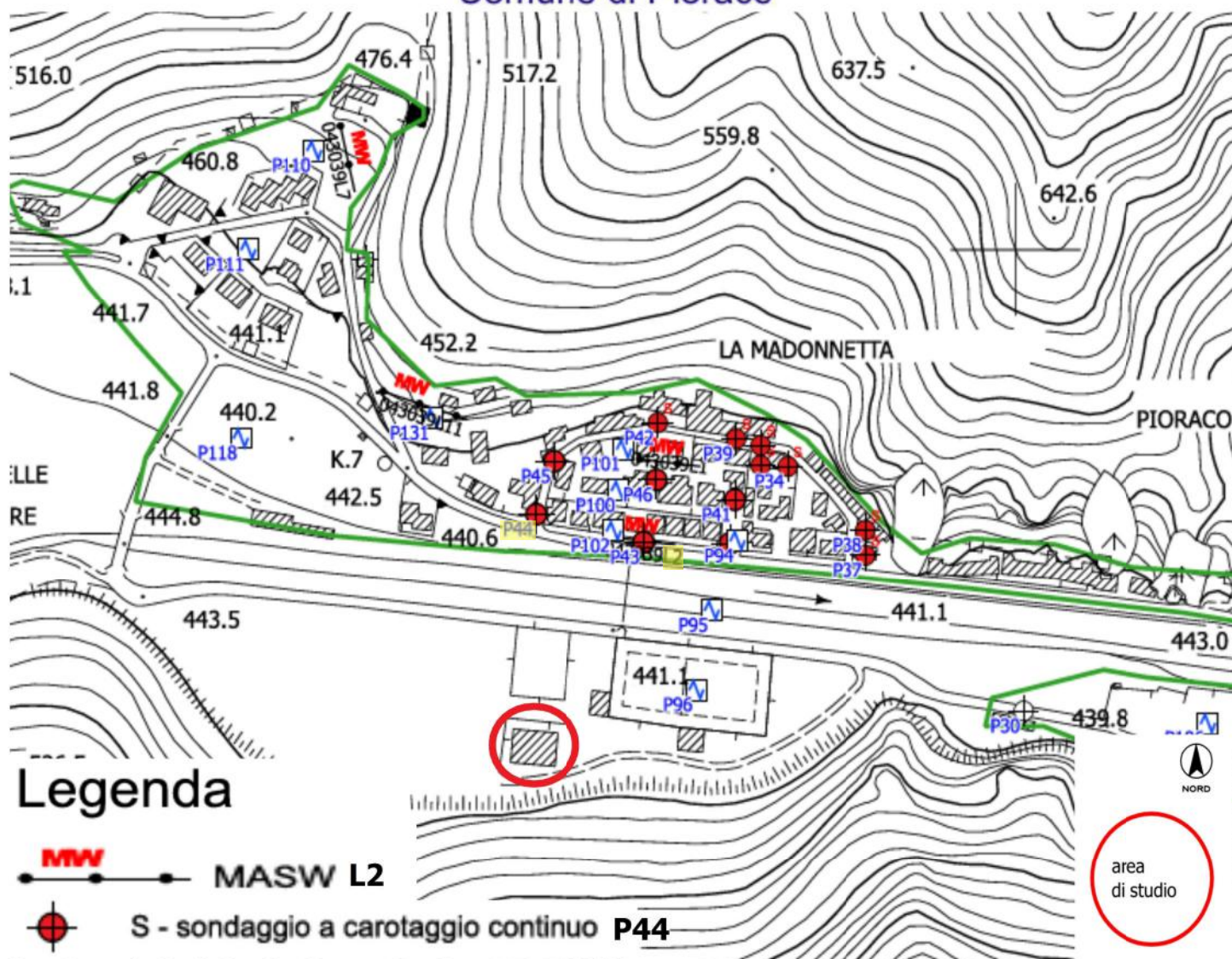
**COMMISSARIO STRAORDINARIO
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Pioraco ai sensi
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata
il 15 maggio 2017 al n. 1065

MICROZONAZIONE SISMICA Carta delle indagini

Scala 1: 5.000

Regione Marche
Comune di Pioraco





**COMMISSARIO STRAORDINARIO
RICOSTRUZIONE SISMA - 2016**

Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Pioraco ai sensi
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata
il 15 maggio 2017 al n. 1065

MICROZONAZIONE SISMICA


Carta geologico-tecnica

Scala 1: 5.000

Regione Marche
Comune di Pioraco

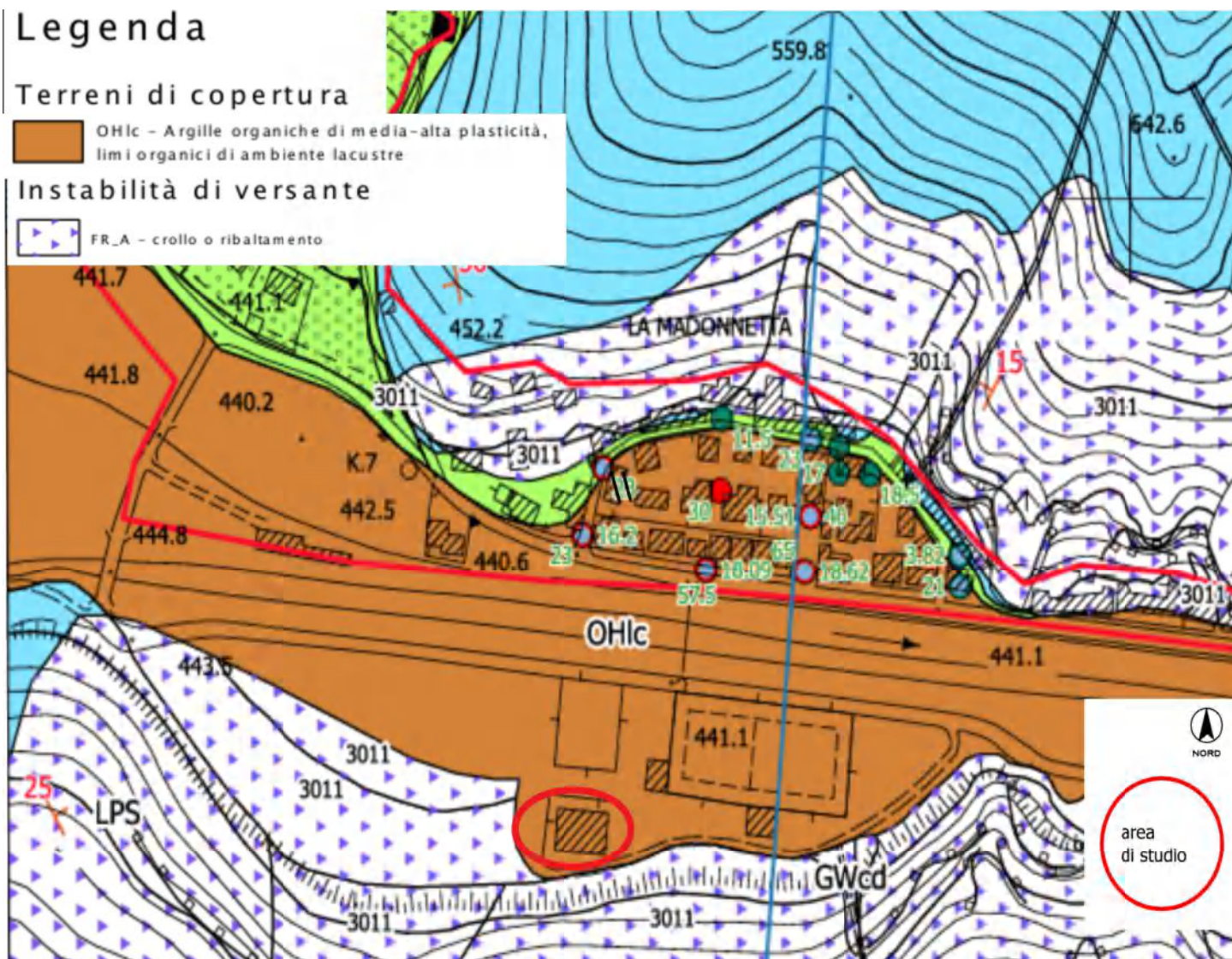
Legenda

Terreni di copertura

 OHlc - Argille organiche di media-alta plasticità,
limi organici di ambiente lacustre

Instabilità di versante

 FR_A - crollo o ribaltamento





COMMISSARIO STRAORDINARIO RICOSTRUZIONE SISMA - 2016

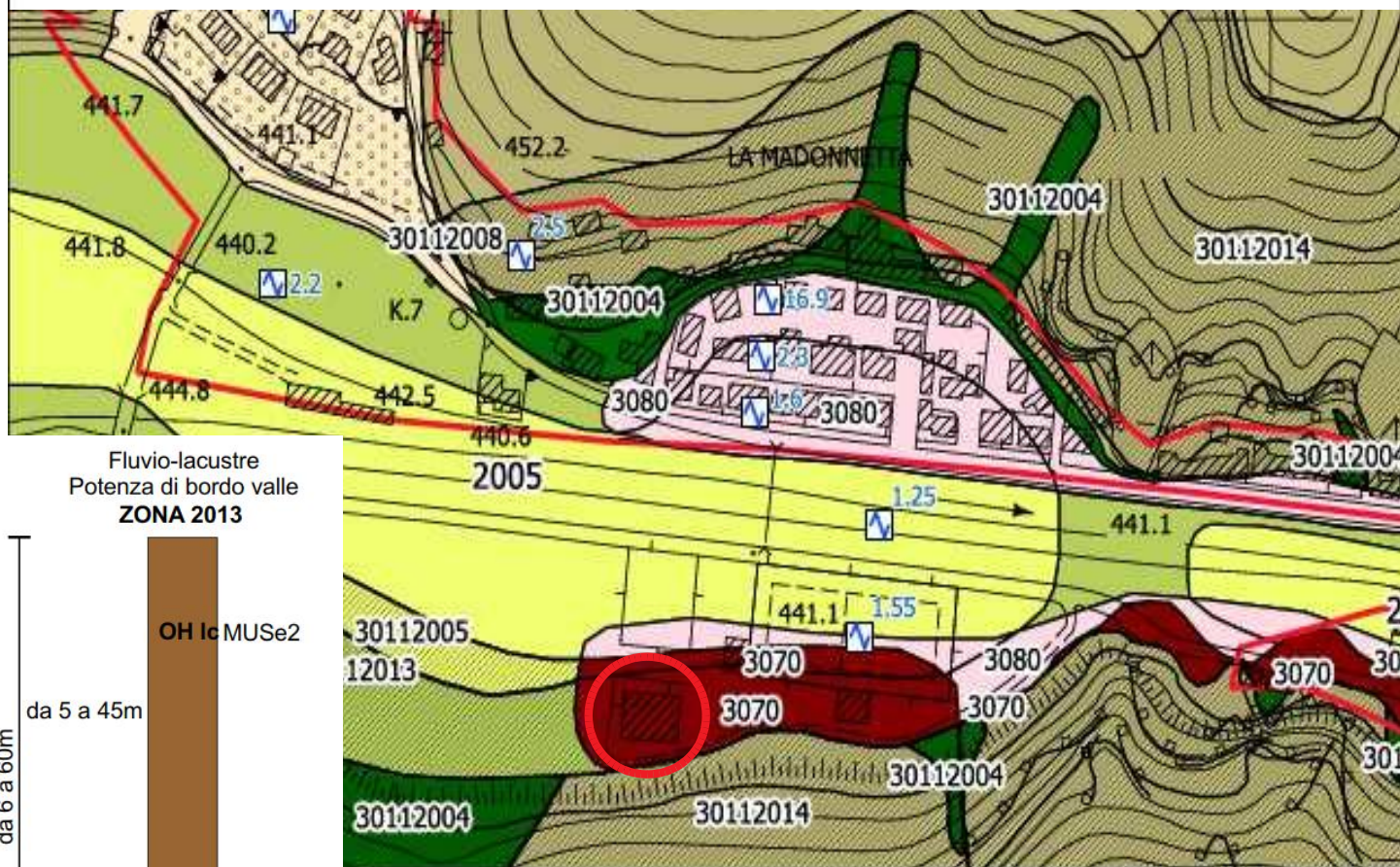
Microzonazione Sismica di Livello 3 del Comune di Pioraco ai sensi
dell'Ordinanza del Commissario Straordinario n. 24 registrata
il 15 maggio 2017 al n. 1065

MICROZONAZIONE SISMICA

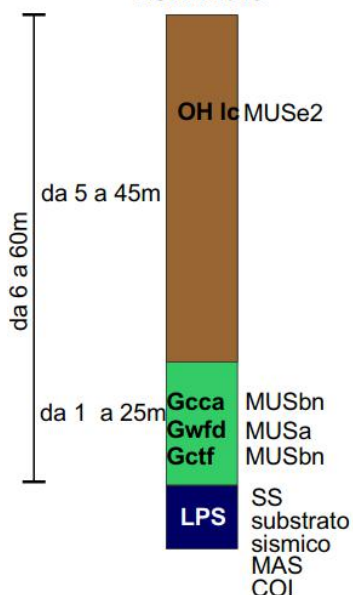
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Scala 1: 5.000

Regione Marche
Comune di Pioraco




Fluvio-lacustre
Potenza di bordo valle
ZONA 2013



Legenda

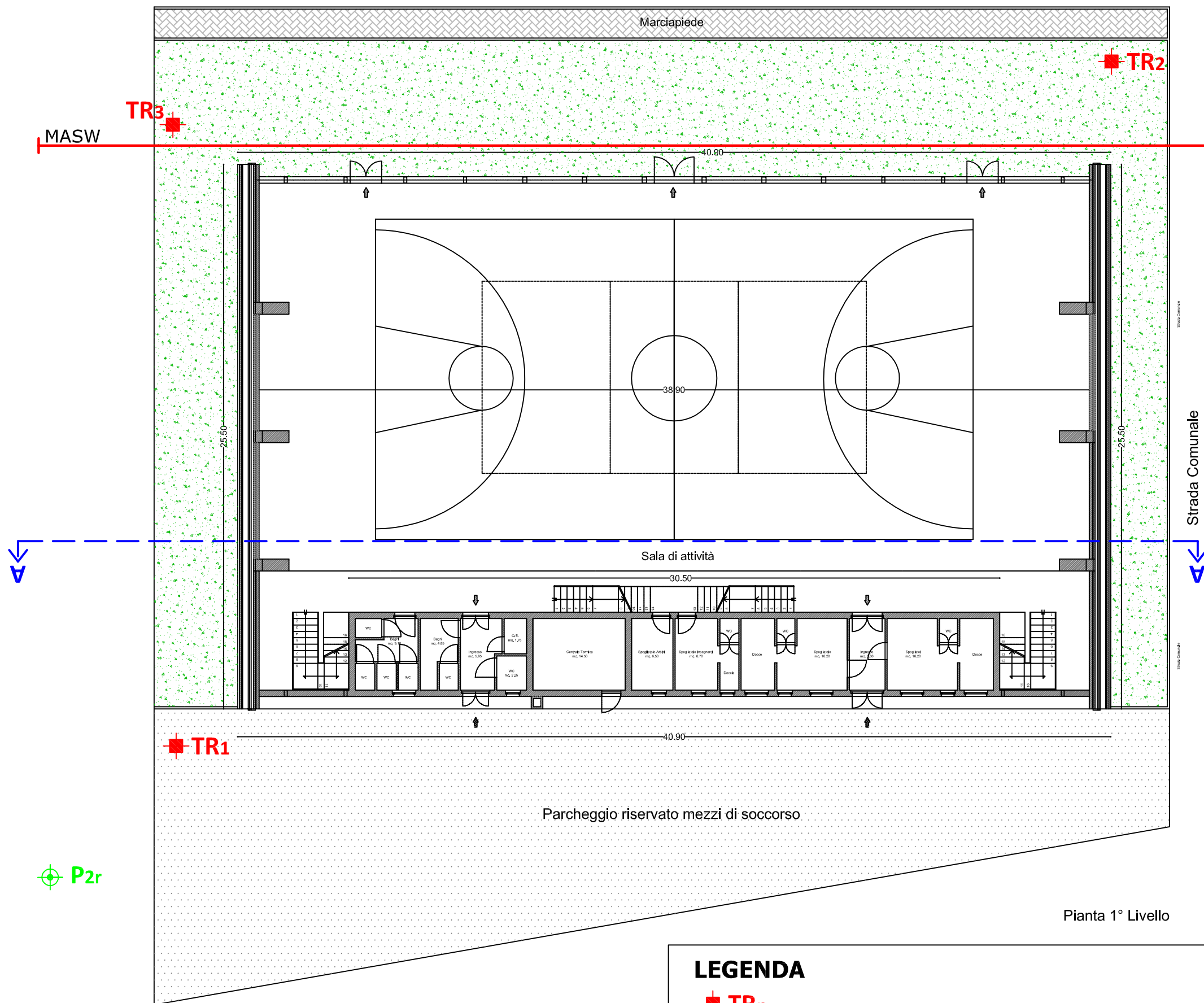
Zone di attenzione per instabilità

 ZA id - Zona di attenzione per instabilità differenti
Zona 30702005 - Zona 30702013

area
di studio

NORD

PLANIMETRIA scala 1:200



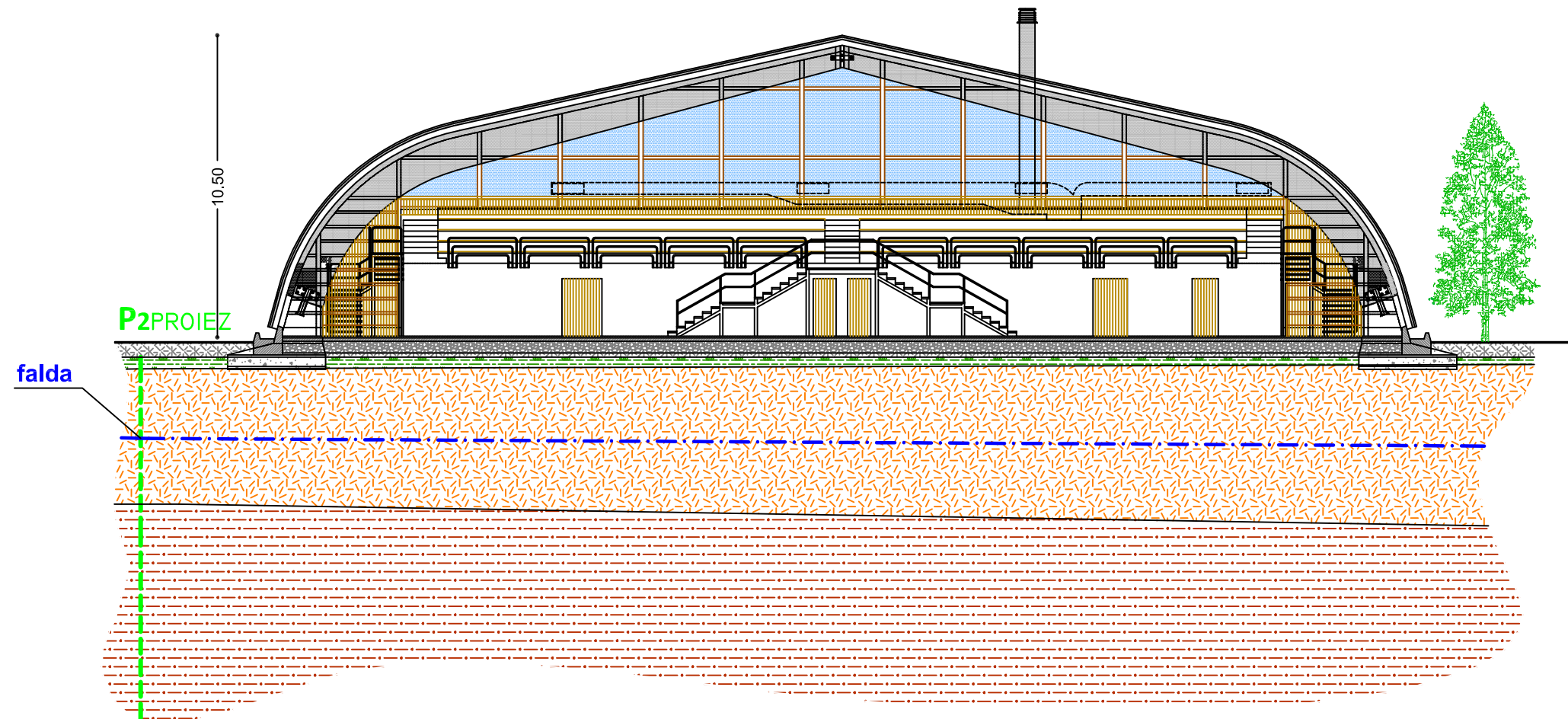
Pianta 1° Livello

LEGENDA

- TR_n Ubicazione indagine sismica passiva: misura dei microtremori
- + P_{nr} Ubicazione prova penetrometrica reperita
- MASW Ubicazione stendimento MASW
- A↑ _ ↑A Traccia sezione stratigrafica

SEZIONE STRATIGRAFICA A-A

scala 1:100



LEGENDA

- | | |
|--|---|
| | Terreno di riporto - litotipo a
Pietrisco calcareo |
| | Terreno vegetale - litotipo b
Limi argillosi, di colore marrone, con ghiaia |
| | Depositi fluvio-lacustri - litotipo c
Limi argilloso-sabbiosi; <i>Olocene</i> |
| | Depositi fluvio-lacustri - litotipo d
Argille con intercalati livelli di limi sabbiosi; <i>Olocene</i> |



geoequipe

STUDIO TECNICO ASSOCIATO
GEOLOGIA ED INGEGNERIA AMBIENTALE

Sede legale:
Via V. Varano, 10 - CAMERINO (MC)
P.IVA 00817900432
(tel./fax 0737/636591)

Sede operativa e contabile:
Via del Vallato, 2 - TOLENTINO (MC)
(tel./fax 0733/968606 - 958098)

Sondaggio reperito 44

QUOTA s.l.m.: 439 mt.

DATA INIZIO-FINE PERFORAZIONE: 26/04/99 - 26/04/99

METODO DI PERFORAZIONE: carotaggio continuo (wire line)

CIRCOLAZIONE FLUIDO: diretta TIPO FLUIDO: acqua con polimeri

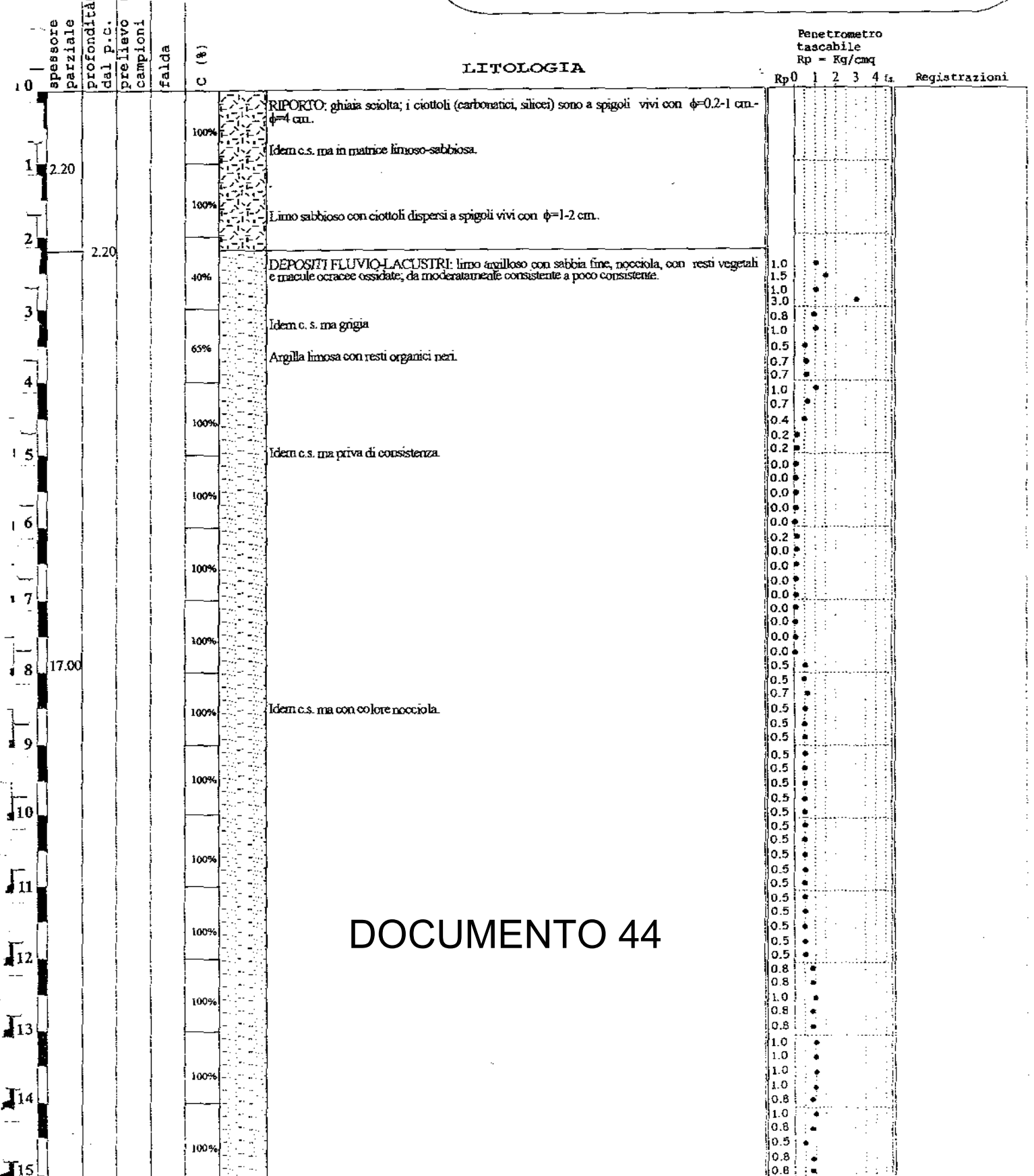
DIAMETRO PERFORAZIONE: 150 mm.

DIAMETRO CAROTIERE: mm.

COMMITTENTE: Amministrazione Comunale di Pioraco

LOCALITA': Via Madonnetta, Pioraco

RESPONSABILE: Dott. Geol. DOMENICO VENANEZINI



DOCUMENTO 44

**Geodrill**

Dr. Geol. David Grillini

PROVE PENETROMETRICHE
LETTURE INCLINOMETRICHE,
PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Via Verdi, 12/A 80043 Cerreto d'Esi (AN)
tel. e fax 0732/678888 p.iva 01531180428

COMMITTENTE: Architetto Giuseppe Bocci

CANTIERE: Palestra Pioraco

PROVA E-CPT: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

DOCUMENTAZIONE REPERITA

caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: penetrometro statico carrellato autoancorante standard

Capacità di spinta: 200 kN

Caratteristiche della punta: in acciaio sensibilizzata con estensimetri elettrici

Dimensioni punta: area = 10 cm² angolo = 60°

Dimensioni manicotto: area = 150 cm²

Centralina di misura: digitale a 3 canali

legenda per la rappresentazione grafica

f_s = resistenza specifica locale al manicotto

q_c = resistenza specifica al cono statico

R_f = rapporto della resistenza (f_s/q_c)

legenda per la caratterizzazione geomeccanica

q_c = resistenza specifica al cono statico

q_{cm} = resistenza specifica al cono statico media per quel determinato strato

$\sigma_{v\text{eff}}$ = pressione verticale efficace (stima)

D_r = densità relativa (Lancellotta, 1983)

ϕ = angolo di attrito (Bolton, 1986)

E = modulo di Young calcolato al 50% del carico di rottura (per terreni non coesivi: ISOPT-1, 1988)

c_u = coesione non drenata ($(q_{cm} - \sigma_{v\text{eff}})/N_k$)

M = modulo di deformazione edometrica (per terreni coesivi: Mitchell e Gardner, 1975)

OCR = grado di sovraconsolidazione



Geodrill

Dr. Geol. David Grillari

PROVE PENETROMETRICHE,
LETTURE INCLINOMETRICHE,
PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Via Verdi, 12/A 60043 Cerreto d'Esi (AN)
tel. e fax 0732/678988 p.iva 01531180428

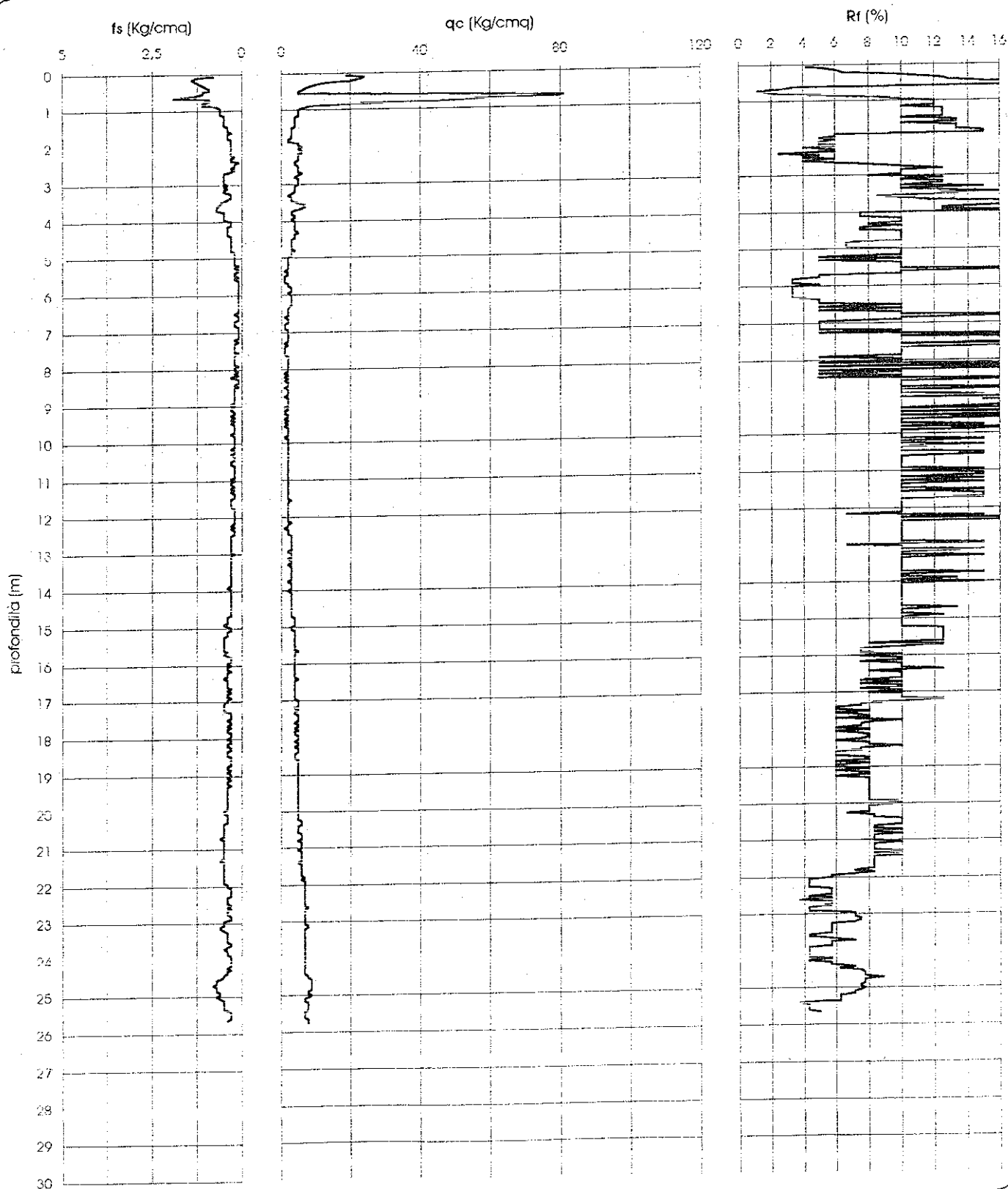
COMMITTENTE: Architetto Giuseppe Bocci

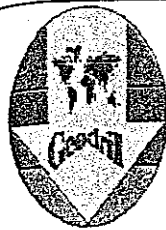
CANTIERE: Palestra Pioraco

PROVA N. 1 del 19/05/2003

PROF.: 25,75m

PROVA PENETROMETRICA STATICA E-CPT: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA



**Geodrill**

Dr. Geol. David Gritti

PROVE PENETROMETRICHE
LETTURE INCLINOMETRICHE
PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Via Verdi, 12/A 60045 Carreto (ES) (AN)
tel. e fax 0732678988 p.iva 01531180428

COMMITENTE: Architetto Giuseppe Bocci
CANTIERE: Palestra Pioraco

Legenda: Prof.-profondità; Qc-resistenza specifica alla punta; Ri-resistenza laterale totale
Fs-resistenza specifica al manicotto; Qc/Fs- rapporto tra la resistenza alla punta
e la resistenza unitaria per attrito laterale espresso in percentuale

Tabella dei dati acquisiti nella prova E-CPT nr.1 del 19/05/03

(pag.1 di 5)

Prof. (m.)	Qc (MPa)	Ri (MPa)	FS (Mpa)	Qc/Fs %
0.05	1.90	2.10	0.08	4.21
0.10	2.40	3.00	0.13	5.56
0.15	2.30	3.50	0.14	6.09
0.20	2.00	4.00	0.13	6.33
0.25	1.30	3.40	0.12	9.23
0.30	1.00	2.90	0.11	10.67
0.35	0.80	2.80	0.10	12.50
0.40	0.70	2.30	0.09	12.38
0.45	0.60	2.10	0.09	14.44
0.50	0.50	1.80	0.11	22.67
0.55	0.50	1.80	0.11	22.67
0.60	3.50	5.20	0.13	3.62
0.65	8.10	9.80	0.19	2.39
0.70	8.00	9.90	0.09	1.17
0.75	5.60	8.50	0.09	1.55
0.80	4.50	5.90	0.11	2.52
0.85	2.00	3.50	0.11	5.67
0.90	0.80	2.50	0.07	8.33
0.95	0.60	2.30	0.06	10.00
1.00	0.50	1.50	0.05	12.00
1.05	0.50	1.40	0.06	12.00
1.10	0.50	1.40	0.06	12.00
1.15	0.50	1.40	0.06	12.00
1.20	0.40	1.30	0.05	11.67
1.25	0.40	1.20	0.05	11.67
1.30	0.40	1.10	0.05	13.33
1.35	0.40	1.10	0.05	11.67
1.40	0.40	1.20	0.05	11.67
1.45	0.40	1.10	0.04	10.00
1.50	0.30	1.00	0.04	13.33
1.55	0.30	0.90	0.04	13.33
1.60	0.30	0.90	0.03	11.11
1.65	0.30	0.90	0.04	13.33
1.70	0.30	0.80	0.04	13.33
1.75	0.30	0.90	0.04	13.33
1.80	0.20	0.80	0.03	13.33
1.85	0.20	0.80	0.03	16.67
1.90	0.50	0.90	0.03	5.33
1.95	0.50	1.00	0.03	6.67
2.00	0.60	1.00	0.03	4.44
2.05	0.50	1.00	0.03	5.33
2.10	0.60	1.00	0.03	5.56
2.15	0.60	1.00	0.03	4.44
2.20	0.50	1.00	0.03	5.33
2.25	0.50	0.90	0.02	4.30
2.30	0.50	0.90	0.03	5.33
2.35	0.50	0.80	0.03	5.33
2.40	0.40	0.80	0.01	3.33
2.45	0.40	0.80	0.02	5.00
2.50	0.50	0.70	0.02	4.00
2.55	0.50	0.80	0.02	5.33
2.60	0.50	0.80	0.02	4.00
2.65	0.50	0.80	0.03	6.67
2.70	0.60	0.90	0.05	8.89
2.75	0.50	1.00	0.05	9.33
2.80	0.40	1.20	0.05	13.33
2.85	0.50	1.20	0.05	9.33
2.90	0.50	1.30	0.05	9.33
2.95	0.50	1.20	0.05	9.33
3.00	0.50	1.20	0.04	8.00

Prof. (m.)	Qc (MPa)	Ri (MPa)	FS (Mpa)	Qc/Fs %
3.05	0.40	1.10	0.05	11.67
3.10	0.40	1.00	0.04	10.00
3.15	0.40	1.10	0.05	11.67
3.20	0.40	1.00	0.05	11.67
3.25	0.30	1.00	0.03	11.11
3.30	0.20	0.90	0.03	13.33
3.35	0.30	0.80	0.03	11.11
3.40	0.30	0.70	0.04	13.33
3.45	0.30	0.80	0.05	15.56
3.50	0.50	1.10	0.06	12.00
3.55	0.70	1.40	0.06	8.57
3.60	0.70	1.60	0.07	10.48
3.65	0.60	1.50	0.07	12.22
3.70	0.40	1.50	0.07	16.67
3.75	0.30	1.40	0.05	17.78
3.80	0.30	1.30	0.05	15.56
3.85	0.40	1.20	0.05	13.33
3.90	0.40	1.10	0.05	11.67
3.95	0.30	1.10	0.05	15.56
4.00	0.40	1.10	0.03	8.33
4.05	0.40	1.10	0.03	8.33
4.10	0.40	0.90	0.03	8.33
4.15	0.40	0.90	0.04	10.00
4.20	0.40	0.90	0.04	10.00
4.25	0.40	1.00	0.04	10.00
4.30	0.50	1.10	0.04	8.00
4.35	0.40	1.00	0.04	10.00
4.40	0.40	1.00	0.03	8.33
4.45	0.40	1.00	0.03	8.33
4.50	0.30	0.60	0.03	11.11
4.55	0.30	0.80	0.03	11.11
4.60	0.30	0.80	0.03	11.11
4.65	0.30	0.60	0.03	11.11
4.70	0.30	0.80	0.03	8.89
4.75	0.30	0.80	0.03	8.89
4.80	0.40	0.80	0.03	6.67
4.85	0.30	0.70	0.02	6.67
4.90	0.30	0.70	0.02	6.67
4.95	0.30	0.60	0.02	6.67
5.00	0.20	0.50	0.02	10.00
5.05	0.20	0.50	0.02	10.00
5.10	0.20	0.50	0.02	10.00
5.15	0.20	0.50	0.02	10.00
5.20	0.20	0.50	0.01	6.67
5.25	0.20	0.50	0.02	10.00
5.30	0.20	0.40	0.01	6.67
5.35	0.10	0.40	0.01	13.33
5.40	0.20	0.40	0.02	10.00
5.45	0.20	0.40	0.02	10.00
5.50	0.10	0.40	0.01	13.33
5.55	0.10	0.40	0.02	20.00
5.60	0.10	0.30	0.01	6.67
5.65	0.10	0.40	0.01	13.33
5.70	0.20	0.50	0.01	6.67
5.75	0.20	0.40	0.01	6.67
5.80	0.30	0.50	0.01	2.22
5.85	0.30	0.50	0.01	4.44
5.90	0.30	0.40	0.01	2.22
5.95	0.20	0.40	0.01	3.33
6.00	0.30	0.40	0.01	2.22



COMMITTENTE: Architetto Giuseppe Bocci
CANTIERE: Palestra Pioraco

Legenda: Prof.-profondità; Qc-resistenza specifica alla punta; Ri-resistenza laterale totale
Fs-resistenza specifica al manicotto; Qc/Fs- rapporto tra la resistenza alla punta
e la resistenza unitaria per attrito laterale espresso in percentuale

Tabella dei dati acquisiti nella prova E-CPT nr.1 del 19/05/03

(pag.2 di 5)

Prof. (m.)	Qc (MPa)	Ri (MPa)	FS (Mpa)	Qc/Fs %
8.05	0.30	0.40	0.01	2.22
6.10	0.30	0.40	0.01	2.22
6.15	0.30	0.40	0.01	2.22
6.20	0.30	0.40	0.01	2.22
6.25	0.30	0.40	0.01	4.44
6.30	0.30	0.40	0.01	4.44
6.35	0.20	0.40	0.01	6.67
6.40	0.20	0.40	0.01	6.67
6.45	0.20	0.40	0.01	6.67
6.50	0.20	0.40	0.02	10.00
6.55	0.20	0.40	0.01	6.67
6.60	0.10	0.40	0.01	13.33
6.65	0.20	0.40	0.01	6.67
6.70	0.20	0.40	0.02	10.00
6.75	0.20	0.40	0.02	10.00
6.80	0.10	0.40	0.02	20.00
6.85	0.10	0.40	0.01	13.33
6.90	0.10	0.40	0.01	13.33
6.95	0.20	0.40	0.01	6.67
7.00	0.20	0.40	0.01	6.67
7.05	0.20	0.40	0.01	6.67
7.10	0.20	0.40	0.01	6.67
7.15	0.20	0.40	0.01	6.67
7.20	0.20	0.40	0.02	10.00
7.25	0.20	0.40	0.01	6.67
7.30	0.10	0.40	0.02	20.00
7.35	0.20	0.40	0.02	10.00
7.40	0.10	0.40	0.02	20.00
7.45	0.10	0.40	0.02	20.00
7.50	0.10	0.40	0.02	20.00
7.55	0.10	0.40	0.01	13.33
7.60	0.10	0.40	0.02	20.00
7.65	0.20	0.40	0.02	10.00
7.70	0.20	0.50	0.02	10.00
7.75	0.20	0.50	0.02	10.00
7.80	0.20	0.50	0.02	10.00
7.85	0.20	0.50	0.02	10.00
7.90	0.20	0.50	0.01	6.67
7.95	0.20	0.50	0.02	10.00
8.00	0.20	0.40	0.02	10.00
8.05	0.20	0.50	0.01	6.67
8.10	0.10	0.40	0.02	20.00
8.15	0.20	0.40	0.01	6.67
8.20	0.10	0.40	0.03	26.67
8.25	0.20	0.40	0.01	6.67
8.30	0.10	0.50	0.01	13.33
8.35	0.20	0.40	0.01	6.67
8.40	0.20	0.40	0.02	10.00
8.45	0.20	0.40	0.01	6.67
8.50	0.10	0.40	0.02	20.00
8.55	0.20	0.40	0.02	10.00
8.60	0.20	0.50	0.02	10.00
8.65	0.20	0.50	0.02	10.00
8.70	0.20	0.50	0.02	10.00
8.75	0.10	0.40	0.02	20.00
8.80	0.20	0.50	0.02	10.00
8.85	0.20	0.50	0.02	10.00
8.90	0.20	0.50	0.02	10.00
8.95	0.20	0.50	0.03	13.33
9.00	0.20	0.50	0.02	10.00

Prof. (m.)	Qc (MPa)	Ri (MPa)	FS (Mpa)	Qc/Fs %
9.05	0.10	0.50	0.03	26.67
9.10	0.20	0.50	0.03	13.33
9.15	0.10	0.50	0.02	20.00
9.20	0.10	0.50	0.02	20.00
9.25	0.20	0.50	0.03	13.33
9.30	0.20	0.50	0.02	10.00
9.35	0.10	0.50	0.03	26.67
9.40	0.20	0.50	0.02	10.00
9.45	0.10	0.50	0.03	26.67
9.50	0.20	0.50	0.02	10.00
9.55	0.10	0.50	0.02	20.00
9.60	0.20	0.50	0.02	10.00
9.65	0.20	0.50	0.02	10.00
9.70	0.20	0.50	0.02	10.00
9.75	0.20	0.50	0.03	13.33
9.80	0.20	0.50	0.02	10.00
9.85	0.10	0.50	0.02	20.00
9.90	0.20	0.50	0.02	10.00
9.95	0.20	0.50	0.02	10.00
10.00	0.20	0.50	0.02	10.00
10.05	0.20	0.50	0.02	10.00
10.10	0.20	0.50	0.02	10.00
10.15	0.20	0.50	0.03	13.33
10.20	0.20	0.50	0.02	10.00
10.25	0.20	0.60	0.02	10.00
10.30	0.20	0.50	0.03	13.33
10.35	0.20	0.50	0.02	10.00
10.40	0.20	0.60	0.02	10.00
10.45	0.20	0.50	0.02	10.00
10.50	0.20	0.50	0.03	13.33
10.55	0.20	0.50	0.03	13.33
10.60	0.20	0.60	0.02	10.00
10.65	0.20	0.60	0.02	10.00
10.70	0.20	0.50	0.02	10.00
10.75	0.20	0.50	0.02	10.00
10.80	0.20	0.50	0.02	10.00
10.85	0.20	0.50	0.02	10.00
10.90	0.20	0.50	0.02	10.00
10.95	0.20	0.50	0.03	13.33
11.00	0.20	0.50	0.02	10.00
11.05	0.20	0.60	0.03	13.33
11.10	0.20	0.50	0.03	13.33
11.15	0.20	0.60	0.02	10.00
11.20	0.20	0.60	0.03	13.33
11.25	0.20	0.50	0.02	10.00
11.30	0.20	0.60	0.03	13.33
11.35	0.20	0.50	0.02	10.00
11.40	0.20	0.60	0.02	10.00
11.45	0.20	0.50	0.02	10.00
11.50	0.20	0.50	0.03	13.33
11.55	0.20	0.50	0.03	13.33
11.60	0.20	0.60	0.03	13.33
11.65	0.20	0.60	0.03	13.33
11.70	0.20	0.60	0.03	13.33
11.75	0.20	0.60	0.02	10.00
11.80	0.20	0.60	0.02	10.00
11.85	0.20	0.50	0.02	10.00
11.90	0.20	0.50	0.02	10.00
11.95	0.20	0.50	0.02	10.00
12.00	0.20	0.50	0.02	10.00



COMMITTENTE: Architetto Giuseppe Bocci
CANTIERE: Palestra Pioraco

Legenda: Prof.-profondità; Qc-resistenza specifica alla punta; Ri-resistenza laterale totale
Fs-resistenza specifica al manicotto; Qc/Fs- rapporto tra la resistenza alla punta
e la resistenza unitaria per attrito laterale espresso in percentuale

Tabella dei dati acquisiti nella prova E-CPT nr.1 del 19/05/03 (pag.3 di 5)

Prof.	Qc	Ri	FS	Qc/Fs
(m.)	(MPa)	(MPa)	(Mpa)	%
12.05	0.20	0.50	0.02	10.00
12.10	0.20	0.50	0.02	10.00
12.15	0.30	0.60	0.02	6.67
12.20	0.20	0.50	0.03	16.67
12.25	0.20	0.50	0.02	10.00
12.30	0.10	0.60	0.03	26.67
12.35	0.20	0.50	0.02	10.00
12.40	0.20	0.60	0.02	10.00
12.45	0.20	0.50	0.02	10.00
12.50	0.30	0.60	0.03	8.89
12.55	0.30	0.60	0.03	8.89
12.60	0.30	0.70	0.03	8.89
12.65	0.30	0.70	0.03	8.89
12.70	0.30	0.70	0.03	11.11
12.75	0.30	0.70	0.03	8.89
12.80	0.30	0.80	0.03	11.11
12.85	0.30	0.70	0.03	11.11
12.90	0.30	0.80	0.03	8.89
12.95	0.20	0.70	0.03	13.33
13.00	0.30	0.70	0.02	6.67
13.05	0.30	0.70	0.03	11.11
13.10	0.30	0.60	0.03	8.89
13.15	0.20	0.70	0.03	13.33
13.20	0.30	0.70	0.03	11.11
13.25	0.30	0.70	0.03	8.89
13.30	0.20	0.70	0.03	16.67
13.35	0.30	0.70	0.03	8.89
13.40	0.30	0.60	0.03	8.89
13.45	0.30	0.70	0.03	11.11
13.50	0.30	0.70	0.03	11.11
13.55	0.30	0.60	0.03	8.89
13.60	0.30	0.80	0.03	11.11
13.65	0.30	0.70	0.03	11.11
13.70	0.30	0.60	0.03	8.89
13.75	0.20	0.70	0.03	16.67
13.80	0.30	0.70	0.03	8.89
13.85	0.30	0.80	0.03	11.11
13.90	0.30	0.70	0.04	13.33
13.95	0.30	0.60	0.03	11.11
14.00	0.20	0.80	0.03	16.67
14.05	0.30	0.80	0.03	11.11
14.10	0.30	0.50	0.03	8.89
14.15	0.30	0.80	0.03	11.11
14.20	0.30	0.70	0.03	8.89
14.25	0.30	0.60	0.03	8.89
14.30	0.30	0.70	0.03	8.89
14.35	0.30	0.70	0.03	8.89
14.40	0.30	0.70	0.03	8.89
14.45	0.30	0.70	0.03	11.11
14.50	0.30	0.70	0.03	8.89
14.55	0.30	0.90	0.03	11.11
14.60	0.30	0.70	0.03	11.11
14.65	0.30	0.80	0.03	8.89
14.70	0.30	0.60	0.04	13.33
14.75	0.40	0.80	0.04	10.00
14.80	0.40	1.00	0.04	10.00
14.85	0.40	1.00	0.04	10.00
14.90	0.40	1.00	0.05	11.67
14.95	0.40	1.00	0.04	10.00
15.00	0.30	1.00	0.03	11.11

Prof.	Qc	Ri	FS	Qc/Fs
(m.)	(MPa)	(MPa)	(Mpa)	%
15.05	0.30	0.90	0.03	11.11
15.10	0.40	0.90	0.04	10.00
15.15	0.40	0.90	0.04	10.00
15.20	0.40	1.00	0.04	10.00
15.25	0.40	1.00	0.05	11.67
15.30	0.40	1.00	0.05	11.67
15.35	0.40	1.10	0.05	11.57
15.40	0.40	1.10	0.05	11.67
15.45	0.40	1.10	0.05	11.67
15.50	0.40	1.10	0.05	11.67
15.55	0.40	1.10	0.05	11.67
15.60	0.40	1.10	0.05	11.67
15.65	0.50	1.20	0.04	8.00
15.70	0.40	1.10	0.05	11.67
15.75	0.40	1.00	0.04	10.00
15.80	0.40	1.10	0.03	8.33
15.85	0.40	1.00	0.03	8.33
15.90	0.40	0.90	0.03	8.33
15.95	0.40	0.90	0.04	10.00
16.00	0.40	0.90	0.03	8.33
16.05	0.40	1.00	0.04	10.00
16.10	0.40	0.90	0.04	10.00
16.15	0.40	1.00	0.03	8.33
16.20	0.40	1.00	0.04	10.00
16.25	0.40	0.90	0.04	10.00
16.30	0.40	1.00	0.04	10.00
16.35	0.40	1.00	0.05	11.67
16.40	0.50	1.10	0.04	8.00
16.45	0.40	1.10	0.04	10.00
16.50	0.40	1.00	0.04	10.00
16.55	0.40	1.00	0.04	10.00
16.60	0.40	1.00	0.04	10.00
16.65	0.40	1.00	0.03	8.33
16.70	0.40	1.00	0.04	10.00
16.75	0.40	0.90	0.03	8.33
16.80	0.40	1.00	0.04	10.00
16.85	0.40	0.90	0.04	10.00
16.90	0.40	1.00	0.03	8.33
16.95	0.40	1.00	0.04	10.00
17.00	0.50	1.00	0.04	8.00
17.05	0.50	1.10	0.05	9.33
17.10	0.50	1.10	0.05	10.57
17.15	0.50	1.20	0.05	9.33
17.20	0.40	1.20	0.05	11.67
17.25	0.50	1.20	0.05	9.33
17.30	0.40	1.10	0.03	8.33
17.35	0.40	1.10	0.03	8.33
17.40	0.50	1.00	0.03	6.67
17.45	0.50	1.00	0.03	6.67
17.50	0.50	1.00	0.04	8.00
17.55	0.50	1.00	0.03	6.67
17.60	0.40	1.00	0.03	8.33
17.65	0.50	1.00	0.04	8.00
17.70	0.50	1.00	0.03	6.67
17.75	0.40	1.00	0.04	10.00
17.80	0.50	1.00	0.04	8.00
17.85	0.40	1.00	0.03	8.33
17.90	0.40	1.00	0.03	8.33
17.95	0.50	1.00	0.03	6.67
18.00	0.50	1.00	0.04	8.00



COMMITTENTE: Architetto Giuseppe Bocci
CANTIERE: Palestra Pioraco

Legenda: Prof.-profondità; Qc-resistenza specifica alla punta; Ri-resistenza laterale totale
Fs-resistenza specifica al manicotto; Qc/Fs- rapporto tra la resistenza alla punta
e la resistenza unitaria per attrito laterale espresso in percentuale

Tabella dei dati acquisiti nella prova E-CPT nr.1 del 19/05/03

(pag.4 di 5)

Prof. (m.)	Qc (MPa)	Ri (MPa)	FS (Mpa)	Qc/Fs %
18.05	0.50	1.00	0.03	8.33
18.10	0.40	1.00	0.03	8.33
18.15	0.50	1.00	0.04	8.00
18.20	0.50	1.00	0.04	8.00
18.25	0.40	1.00	0.03	8.33
18.30	0.50	1.10	0.03	6.67
18.35	0.50	1.00	0.04	8.00
18.40	0.50	1.00	0.04	8.00
18.45	0.40	1.00	0.04	10.00
18.50	0.40	1.00	0.03	8.33
18.55	0.40	1.00	0.03	8.33
18.60	0.50	1.00	0.03	6.67
18.65	0.50	1.00	0.03	6.67
18.70	0.50	1.00	0.03	6.67
18.75	0.50	1.00	0.04	8.00
18.80	0.50	1.00	0.04	8.00
18.85	0.50	1.10	0.03	6.67
18.90	0.50	1.10	0.04	8.00
18.95	0.50	1.00	0.03	6.67
19.00	0.50	1.10	0.03	6.67
19.05	0.50	1.00	0.04	8.00
19.10	0.50	1.00	0.03	6.67
19.15	0.50	1.10	0.04	8.00
19.20	0.50	1.00	0.04	8.00
19.25	0.50	1.10	0.03	6.67
19.30	0.50	1.10	0.04	8.00
19.35	0.50	1.00	0.04	8.00
19.40	0.50	1.10	0.04	8.00
19.45	0.50	1.10	0.04	8.00
19.50	0.50	1.10	0.04	8.00
19.55	0.50	1.10	0.04	8.00
19.60	0.50	1.10	0.04	8.00
19.65	0.50	1.10	0.04	8.00
19.70	0.50	1.10	0.04	8.00
19.75	0.50	1.10	0.04	8.00
19.80	0.50	1.10	0.04	8.00
19.85	0.50	1.10	0.04	8.00
19.90	0.50	1.10	0.04	8.00
19.95	0.50	1.10	0.05	9.33
20.00	0.50	1.10	0.05	9.33
20.05	0.50	1.20	0.04	8.00
20.10	0.50	1.20	0.04	8.00
20.15	0.50	1.10	0.04	8.00
20.20	0.50	1.10	0.04	8.00
20.25	0.60	1.20	0.04	6.67
20.30	0.60	1.20	0.05	7.78
20.35	0.60	1.20	0.05	7.78
20.40	0.50	1.20	0.05	9.33
20.45	0.50	1.20	0.05	10.67
20.50	0.50	1.20	0.05	9.33
20.55	0.50	1.30	0.05	10.67
20.60	0.60	1.30	0.05	8.89
20.65	0.60	1.40	0.05	8.89
20.70	0.60	1.40	0.05	10.00
20.75	0.60	1.40	0.05	8.89
20.80	0.50	1.40	0.05	10.67
20.85	0.60	1.40	0.05	8.89
20.90	0.60	1.40	0.05	7.78
20.95	0.60	1.40	0.05	8.89
21.00	0.60	1.30	0.05	7.78

Prof. (m.)	Qc (MPa)	Ri (MPa)	FS (Mpa)	Qc/Fs %
21.05	0.50	1.30	0.05	8.33
21.10	0.60	1.30	0.05	8.89
21.15	0.60	1.30	0.05	8.89
21.20	0.60	1.40	0.05	8.89
21.25	0.60	1.40	0.05	8.89
21.30	0.60	1.40	0.05	10.00
21.35	0.60	1.40	0.05	7.78
21.40	0.50	1.40	0.05	9.33
21.45	0.60	1.30	0.05	7.78
21.50	0.60	1.30	0.05	7.78
21.55	0.60	1.30	0.05	7.78
21.60	0.60	1.30	0.05	7.78
21.65	0.60	1.30	0.05	8.89
21.70	0.60	1.30	0.05	7.78
21.75	0.60	1.40	0.05	8.89
21.80	0.70	1.40	0.05	6.67
21.85	0.60	1.40	0.05	7.78
21.90	0.70	1.40	0.05	6.67
21.95	0.70	1.40	0.04	5.71
22.00	0.70	1.40	0.04	5.71
22.05	0.70	1.30	0.03	4.76
22.10	0.70	1.30	0.03	4.76
22.15	0.70	1.20	0.03	4.76
22.20	0.70	1.20	0.03	4.76
22.25	0.70	1.20	0.03	4.76
22.30	0.70	1.20	0.04	5.71
22.35	0.70	1.20	0.04	5.71
22.40	0.70	1.30	0.04	5.71
22.45	0.70	1.30	0.04	5.71
22.50	0.70	1.30	0.03	4.76
22.55	0.70	1.30	0.04	5.71
22.60	0.80	1.30	0.03	4.17
22.65	0.70	1.30	0.04	5.71
22.70	0.70	1.20	0.04	5.71
22.75	0.70	1.30	0.04	5.71
22.80	0.70	1.30	0.03	4.76
22.85	0.70	1.30	0.03	4.76
22.90	0.70	1.20	0.03	4.76
22.95	0.70	1.20	0.05	6.67
23.00	0.70	1.20	0.05	6.67
23.05	0.70	1.40	0.05	7.82
23.10	0.60	1.50	0.06	7.50
23.15	0.80	1.60	0.06	7.50
23.20	0.70	1.60	0.05	7.82
23.25	0.70	1.60	0.04	5.71
23.30	0.70	1.50	0.04	5.71
23.35	0.70	1.30	0.04	5.71
23.40	0.70	1.30	0.04	5.71
23.45	0.70	1.30	0.04	5.71
23.50	0.70	1.30	0.04	5.71
23.55	0.70	1.30	0.03	4.76
23.60	0.70	1.30	0.03	4.76
23.65	0.70	1.20	0.04	5.71
23.70	0.70	1.20	0.05	6.07
23.75	0.70	1.30	0.04	5.71
23.80	0.70	1.40	0.04	5.71
23.85	0.70	1.50	0.04	5.71
23.90	0.70	1.30	0.03	4.76
23.95	0.70	1.30	0.03	4.76
24.00	0.70	1.20	0.03	4.76

**Geodrill**

Dr. Geol. David Oriani

PROVE PENETROMETRICHE
LETTURE INCLINOMETRICHE
PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Via Verdi, 12/A 60043 Carreto d'Esè (AN)
tel. e fax 0732679988 piva 01531180428

COMMITTENTE: Architetto Giuseppe Bocci
CANTIERE: Palestra Pioraco

Legenda: Prof.-profondità; Qc-resistenza specifica alla punta; Ri-resistenza laterale totale
Fs-resistenza specifica al manicotto; Qc/Fs- rapporto tra la resistenza alla punta
e la resistenza unitaria per attrito laterale espresso in percentuale

Tabella dei dati acquisiti nella prova E-CPT nr. 1 del 19/05/03

(pag. 5 di 5)

Prof.	Qc	Ri	FS	Qc/Fs
(m.)	(MPa)	(MPa)	(Mpa)	%
24.05	0.70	1.20	0.03	4.76
24.10	0.70	1.20	0.03	3.81
24.15	0.70	1.20	0.03	4.76
24.20	0.70	1.10	0.04	5.71
24.25	0.70	1.20	0.03	4.76
24.30	0.70	1.30	0.04	5.71
24.35	0.70	1.20	0.04	5.71
24.40	0.70	1.30	0.05	6.67
24.45	0.80	1.40	0.05	5.83
24.50	0.80	1.50	0.06	7.50
24.55	0.90	1.60	0.07	7.41
24.60	0.90	1.80	0.07	7.41
24.65	0.90	1.90	0.07	7.41
24.70	0.90	1.90	0.08	8.89
24.75	0.90	1.90	0.07	8.15
24.80	0.90	2.10	0.07	8.15
24.85	0.90	2.00	0.07	7.41
24.90	0.80	1.90	0.06	7.50
24.95	0.80	1.80	0.06	7.50
25.00	0.90	1.50	0.07	7.41
25.05	0.80	1.70	0.06	7.50
25.10	0.70	1.70	0.05	6.67
25.15	0.70	1.60	0.05	6.67
25.20	0.80	1.50	0.05	5.83
25.25	0.80	1.50	0.05	5.83
25.30	0.80	1.50	0.05	5.83
25.35	0.80	1.50	0.05	5.83
25.40	0.80	1.50	0.03	4.17
25.45	0.70	1.40	0.03	4.76
25.50	0.70	1.20	0.03	4.76
25.55	0.70	1.20	0.03	3.81
25.60	0.70	1.20	0.03	4.76
25.65	0.80	1.20	0.04	5.00
25.70	0.80	1.30	0.00	0.00
25.75	0.80	1.40	0.00	0.00

Cerreto d'Esti, 20 maggio 2003

**Geodrill**

Dr. Geol. David Grillini

PROVE PENETROMETRICHE,
LETTURE INCLINOMETRICHE,
PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Via Verdi, 12/A 60043 Cerreto d'Esti (AN)
tel. e fax 0732578888 p.liv. 01531180428

COMMITTENTE: Dott. Arch. Giuseppe Bocci

CANTIERE: Palestra - Pioraco (MC)

PROVA DPSH: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

DOCUMENTAZIONE REPERITA

caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: DPSH penetrometro dinamico super pesante

Peso del maglio: 63,5 Kg

Altezza di caduta: 75 cm

Penetrazione standard: 20 cm

Dimensioni punta: area = 20 cm² angolo = 90°

Dimensioni aste: diametro = 32 mm lunghezza = 1,00 m

Peso aste: 6,15 Kg Peso massa passiva: 4,2 Kg

legenda per la rappresentazione grafica

H = profondità

NC = numero di colpi

q_d = resistenza alla penetrazione dinamica

legenda per la caratterizzazione geomeccanica

NC_m = numero di colpi medio per quel determinato strato

C = coefficiente di correlazione fra il numero di colpi dello SPT e quelli del DPSH

N_{spt equiv} = numero di colpi dello SPT equivalenti ricavati per correlazioneσ_{v eff} = pressione verticale efficace (stima)

Dr = densità relativa (Gibbs e Holtz)

φ = angolo di attrito interno (Muromachi e al., 1974)

E = modulo di elasticità (Schmertmann, Webb)

C_v = coesione non drenata (Terzaghi e Peck)

M = modulo di compressibilità edometrica (Menzelbach e Malcev)

Cerreto d'Esi, 20 maggio 2003



Geodrill
Dr. Geol. David Grillini

PROVE PENETROMETRICHE.
LETTURE INCLINOMETRICHE.
PROVE DI CARICO SU PIASTRA

Via Verdi, 12/A 60043 Cerreto d'Esi (AN)
tel. e fax 0732679898 p.iva 01531180429

COMMITENTE: Dott. Arch. Giuseppe Bocci

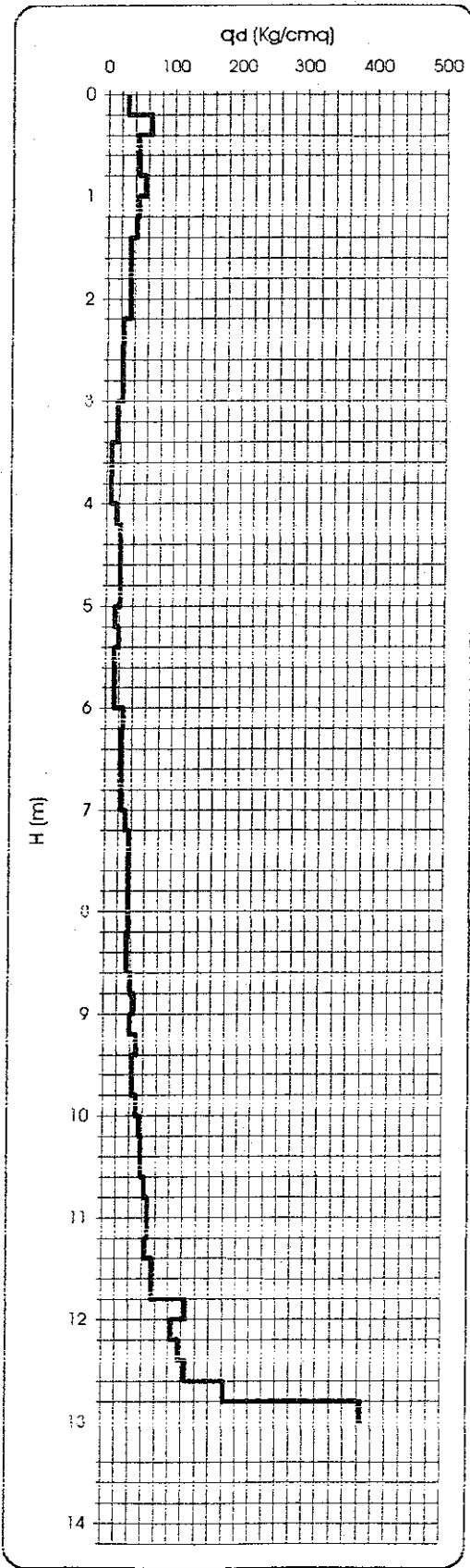
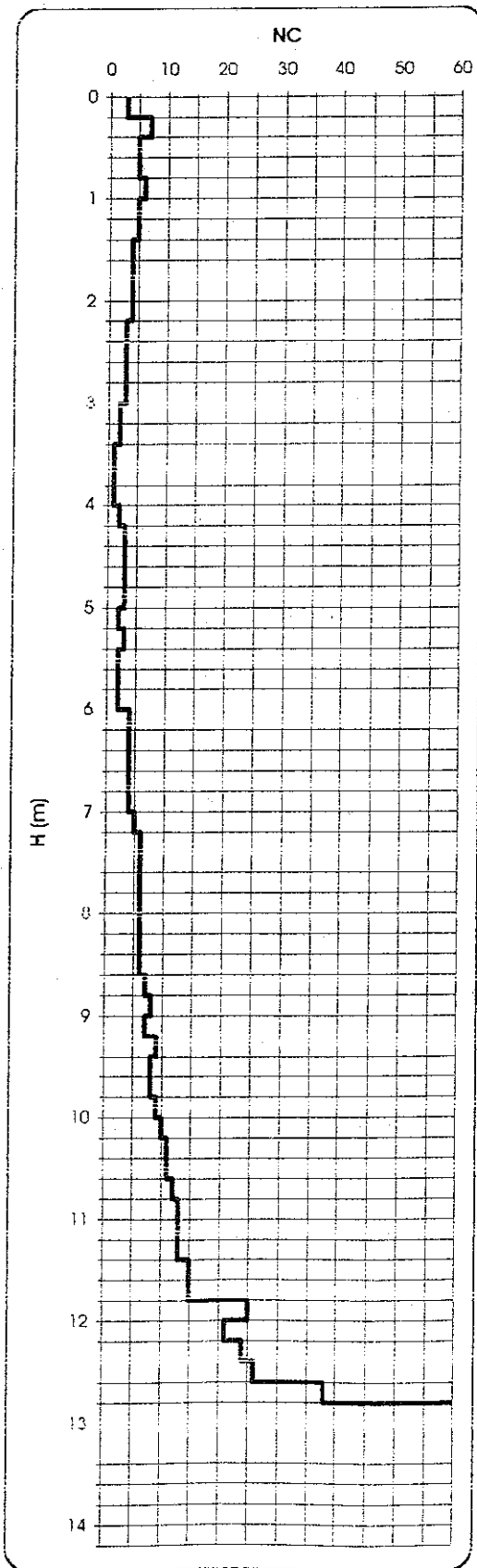
CANTIERE: Palestra - Pioraco (MC)

PROVA N. 2 del 19/05/03

PROF.: 13,00 m

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

H (m)	NC	q _d (Kg/cm ²)
0,2	3	30,10
0,4	7	64,24
0,6	5	46,31
0,8	5	46,31
1,0	6	55,58
1,2	5	46,31
1,4	5	43,01
1,6	4	34,41
1,8	4	34,41
2,0	4	34,41
2,2	4	34,41
2,4	3	24,08
2,6	3	24,08
2,8	3	24,08
3,0	3	24,08
3,2	2	16,06
3,4	2	15,05
3,6	1	7,53
3,8	1	7,53
4,0	1	7,53
4,2	2	15,05
4,4	3	21,25
4,6	3	21,25
4,8	3	21,25
5,0	3	21,25
5,2	2	14,17
5,4	3	20,07
5,6	2	13,38
5,8	2	13,38
6,0	2	13,38
6,2	4	26,76
6,4	4	25,36
6,6	4	25,36
6,8	4	25,36
7,0	4	25,36
7,2	5	31,69
7,4	6	36,13
7,6	6	36,13
7,8	6	36,13
8,0	6	36,13
8,2	6	36,13
8,4	6	34,41
8,6	6	34,41
8,8	7	40,15
9,0	8	45,88
9,2	7	40,15
9,4	9	49,27
9,6	8	43,80
9,8	8	43,80
10,0	9	49,27
10,2	10	54,75
10,4	11	57,60
10,6	11	57,60
10,8	12	62,84
11,0	13	68,08
11,2	13	68,08
11,4	13	65,24
11,6	15	75,28
11,8	15	75,28
12,0	25	125,47
12,2	21	105,39
12,4	24	115,63
12,6	26	125,27
12,8	38	183,08
13,0	60	395,44
13,2		
13,4		
13,6		
13,8		
14,0		
14,2		



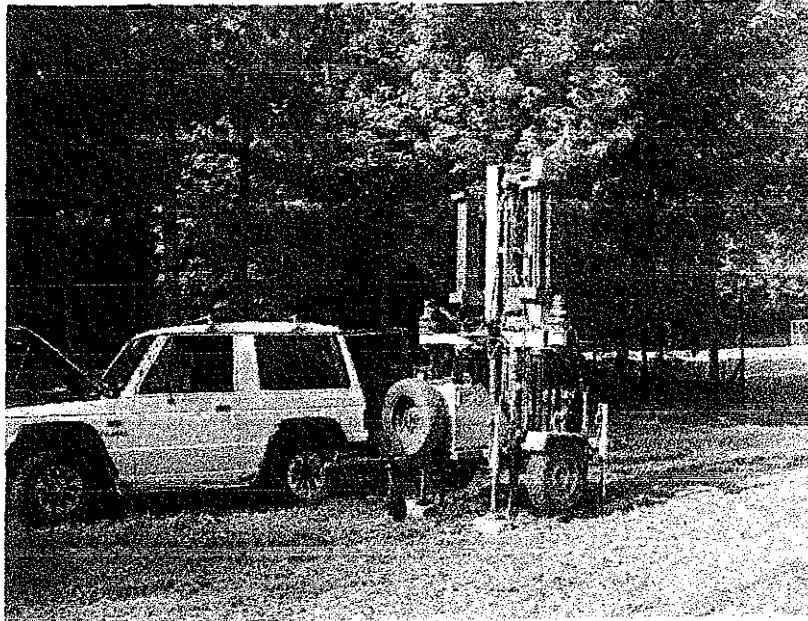


Foto 1: esecuzione della prova penetrometrica statica E-CPT

DOCUMENTAZIONE REPERITA

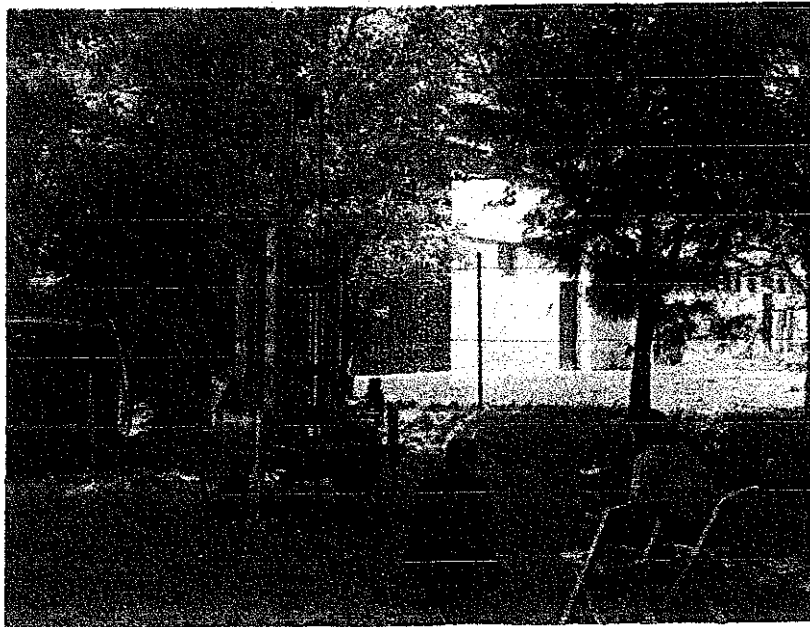


Foto 2: esecuzione della prova DPSH