



STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA

Geologia Tecnica ed Ambientale - Attività Estrattive  
Laboratorio Geotecnico Terre - Prove in sito  
Statiche e Dinamiche - Monitoraggi Inclinometrici  
ed Ambientali- Ricerche Idriche - Studio Dissesti  
e Fondazioni - Indagini Geofisiche e sismiche

Giuliani Dr. Geol. Stefano

Viale Papa Giovanni XXIII n. 14/b

C.FISC. GUNSN60R31E388Y  
R IVA 00 973 370 422

Email : [geotecstudiogeologico@gmail.com](mailto:geotecstudiogeologico@gmail.com)  
[geotec@alice.it](mailto:geotec@alice.it)

60035 JESI (AN) - Uff. - fax. (0731) 201555  
ab. (0731) 200909  
Cellulare (335) 5258710



COMUNE DI ANCONA  
VERIFICA VULNERABILITA' SISMICA SCUOLA PRIMARIA "PIETRALACROCE"  
ISTITUTO COMPRENSIVO SCOCCHERA  
in ANCONA - VIA DI PIETRALACROCE n. 27



Rif. Archivio N°.....Anno.....

Il Committente.....

Data : Novembre 2018

IL GEOLOGO  
ORDINE DEI GEOLOGI DELLE M. MARCHE  
Stefano GIULIANI  
Geologo Specialista  
N. 211  
ALBO SEZIONE A

IL PROGETTISTA

RELAZIONE GEOLOGICA  
INDAGINE GEOFISICA - SISMICA

**OGGETTO : VERIFICA VULNERABILITA' SISMICA SCUOLA PRIMARIA  
PIETRALACROCE – ISTITUTO COMPRENSIVO SCOCCHERA –  
IN ANCONA VIA DI PIETRALACROCE n. 27**

**COMMITTENTE : COMUNE DI ANCONA**

### **1. PREMESSA – SCOPO DELLO STUDIO – METODOLOGIA DI LAVORO**

La presente Indagine Geofisica-Sismica e Geologico-Tecnica e ha lo scopo di verificare la natura dei terreni di fondazione e le loro caratteristiche e peculiarità di comportamento in fase sismica ai sensi delle leggi riguardanti la materia in oggetto per verifiche di vulnerabilità in riferimento alle normative vigenti (NTC 2008 – 2018).

*La presente viene stilata sulla base della normativa nazionale vigente in materia NTC 2018 e del DGR 1168/2010 della Regione Marche "Linee guida di indirizzo per la stesura delle relazione tecnica per le verifiche della vulnerabilità sismica di edifici esistenti ai sensi del DM 14/01/2009 e della Circolare n. 617/2009.*

A tal scopo si sono reperiti alla presente dati geologici precedenti del sito studiato, per un supporto geologico di riferimento, con integrazioni geologico-tecniche e geofisiche attuali riguardanti l'esecuzione di :

- n. 1 acquisizione Geofisica HVSR;
- n. 1 Indagine Geofisica tramite tecnica Masw;
- n. 1 Sondaggio Penetrometrico Dinamico Pesante Dpsh con apparecchiatura Pagani TG 63 e relative elaborazioni geotecniche;

Ciò allo scopo finale per la valutazione della categoria sismica di sottosuolo ai sensi delle norme vigenti a supporto della verifica di vulnerabilità sismica.

### **2. POSIZIONE GEOMORFOLOGICA ED INQUADRAMENTO - STABILITA' GENERALE DEL SITO**

L'area oggetto d'indagine fa parte dei terreni di origine Miocenica tipici delle strutture

collinari dell' anconetano, del bacino periadriatico nella fascia limitrofa al litorale adriatico. Il sito è posto in zona urbana edificata nel territorio comunale di Ancona in Loc. Pietralacroce nei pressi della Frazione suddetta su di un lotto posizionato in posizione di un margine di cresta geomorfologica che aggetta rapidamente verso la costa adriatica in un tipico versante acclive terminante in una falcesia, a quota topografica media di circa 176 mt. s.l.m. (vedi stralcio P.A.I. e C.T.R. allegato in appendice); il lotto a pendenza molto bassa in prossimità dell'opera studiata evolve rapidamente in un pendio ripido in direzione Nord Est ad acclività media sino al livello della costa di circa 18,5°.



In sintesi sul substrato di origine marina Miocenico (Formazione a Colombacci) si è avuto successivamente alla deposizione ed emersione, erosione e alterazione/disfacimento del tetto con locale produzione di materiale alterato / fratturato ed infine compatto del substrato basale posto in profondità.

Geologicamente la zona è caratterizzata prevalentemente da un tipico deposito pelitico e

pelitico sabbioso Miocenico e localmente calcareo marnoso di origine marina, con livelli alterati e decompressi - variamente fratturati al tetto reperibile comunque quote superficiali dal p.c..

La zona relativa all'opera risulta attualmente in situazione geomorfologica sufficientemente stabile dal punto di vista degli sforzi gravitativi, per assenza di indizi di problematiche geomorfologiche che interessano direttamente la struttura, la cartografia del P.A.I. della Regione Marche e la cartografia geologica Regionale (vedi stralcio allegato in appendice) non evidenzia interferenze del sito con perimetrazioni o pericolosità geologiche, mentre, sul pendio che aggetta verso la costa si segnalano diverse evoluzioni gravitative.

L'opera in esame non presenta attualmente dissesti statici significativi, il contorno prossimo all'edificio non presenta segnali di problematiche franose in atto che modificano l'attuale situazione di stabilità.

Si allega in appendice il posizionamento dei luoghi (con documentazione indagini geofisiche e sondaggi eseguiti sul lotto studiato).

### **3. CARATTERISTICHE GEOSTRATIGRAFICHE - LITOLOGICHE - IDROGEOLOGICHE E GEOTECNICHE DEI TERRENI**

Sulla base delle conoscenze di zona (per altri lavori eseguiti in precedenza) e dei dati acquisiti all'odierna data (vedi appendice), con visualizzazione di sondaggi - prove geotecniche in sito ed elaborazioni relative si è potuta riconoscere e ricostruire la sequenza stratigrafica :

#### **3.1 TERRENO VEGETALE - RIPORTI ANTROPICI**

La prima fascia rilevata dal p.c. attuale, e che si estende sino a quota variabile circa 0,60 - 0,70 mt. (sulla sagoma delle opere dal p.c. attuale) è rappresentata dal punto di vista litologico come un livello di terreno vegetale limoso argilloso nocciola brunastro e da localizzati riporti antropici superiori localmente costituiti da materiale eterogeneo del

piazzale antistante con elementi antropici.

### **3.2 SUBSTRATO MARINO MIOCENICO (MESSINIANO) – FORMAZIONE A COLOMBACCI (ARGILLE MARNOSE CON SABBIE – FACIES FRATTURATA-ALTERATA – FACIES POCO ALTERATA E COMPATTA ARGILLOSA MARNOSA CON INTERCALI CALCARENITICI)**

Rappresenta il tetto del "bedrock" basale prevalentemente argilloso-marnoso e sabbioso Miocenico Messiniano con tipici giunti e livelletti stratificati sabbiosi giallastri ocracei disposti su laminazioni argillose - marnose grigie verdastre e grigio-azzurre-nocciola prevalenti; di origine marina, prevalentemente coesivo e **sovracconsolidato da carico idro-litostatico di origine geologica** e poi decompresso-alterato (*vedi stratigrafie in appendice*), posto comunque dal p.c. a quote superficiali di circa - 0,60 mt. dal p.c..

I livelli di tetto del substrato fratturato ed alterato con intercali calcarenitici intercalati (colombacci) risultano reperibili sino quote dal p.c. di circa - 6,50 - 9,0 mt. dal p.c., a quote maggiori è reperibile materiale poco alterato-compatto dalla consistenza elevata.

Le caratteristiche geotecniche della massa nella sua interezza e quindi la sua consistenza risulta comunque media-buona per la fascia alterata/fratturata e buona / ottima per i livelli profondi della fascia poco alterata e compatta del substrato, con scarsa compressibilità e buona possibilità di intestazione fondale, trattandosi prevalentemente da argille marnose grigie-azzurre sovracconsolidate con intercali calcarenitici.

Alla data dei sondaggi entro il livello non sono state rilevati acquiferi o percolazioni idriche.

Le caratteristiche generali geomeccaniche risultano ad ogni modo crescenti con la profondità in maniera graduale data la graduale diminuzione del grado di alterazione.

### **3.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE PRINCIPALI DEI LITOTIPI**

Desunte da dati di area, nonché dalle elaborazioni delle prove geotecniche di cantiere eseguite in sito (vedi allegati appendice schema parametri geotecnici riscontrati) applicando

le seguenti correlazioni geotecniche specifiche per suoli prevalentemente argillosi coesivi,  
ed incoerenti dopo taratura di area :

**PROVA DPSH1 - SCUOLA "PIETRALACROCE" - ANCONA**

**STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1**

Strato	Prof. (m)	NSPT	Tipo prevalente	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturato (t/m <sup>3</sup> )	Angol o di resiste nza al taglio (°)	Coesione non drenata (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson
Strato (1) terreno vegetale	0.00- 0.60	11.46	Incoerente	1.78	1.93	18.27	--	68.76	69.47	0.33
Strato (2) argilla sovraco nsolidat a fessurat a	0.60- 3.20	27.06	Coesivo	2.13	2.28	--	1.80	165.55	270.60	0.45
Strato (3) calcare mamos o	3.20- 3.80	58.81	Incoerente	2.28	2.37	36.8	--	470.48	362.10	0.24
Strato (4) argilla sovraco nsolidat a fessurat a	3.80- 6.40	17.54	Coesivo	2.09	2.19	--	1.17	107.31	175.40	0.45
Strato (5) argilla mamos a	6.40- 7.20	36.38	Coesivo	2.14	2.25	--	2.42	222.57	363.80	0.45
Strato (6) calcare mamos o	7.20- 7.60	100.8	Incoerente	2.25	2.36	45.8	--	806.40	605.64	0.15
Strato (7) argilla mamos a	7.60- 8.00	53.9	Coesivo	2.15	2.25	--	3.58	329.76	539.00	0.45

#### **4. INDAGINE GEOFISICA TRAMITE TECNICA HVSR e MASW CATEGORIA DI SOTTOSUOLO - PARAMETRI SISMICI DI RIFERIMENTO**

##### **4.1 ACQUISIZIONE GEOFISICA TRAMITE TECNICA HVSR**

E' stata eseguita nel sito studiato alla data attuale un'Indagine tecnica mediante Sismica HVSR, necessaria per la definizione del  $V_s$  (30) secondo le Direttive del D.M. del 14 gennaio 2008 – 17/01/2018, NTC 2008-2018 e quindi per una definizione della categoria di suolo (vedi allegati appendice acquisizioni).

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre, si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore.

Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni; questa informazione è

però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato.

Tale metodologia, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza, cioè per strato si intende un **sismostrato** cioè 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 densità del mezzo stesso.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

La tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970).

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, alcuni scienziati, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) ottiene risultati di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro



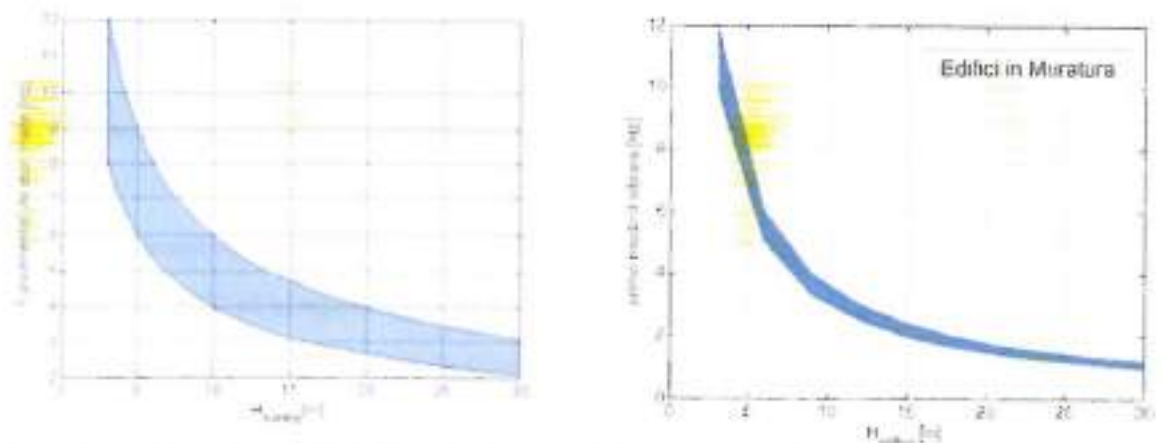
fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

In effetti la situazione maggiormente pericolosa per le strutture è la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente :

**frequenza fondamentale edificio = frequenza fondamentale del terreno di copertura**

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione come

;  
**frequenza fondamentale edificio = 10 Hz / n° piani**



*Fig. 7 - Relazione tra altezza e frequenze di vibrazione in edifici in c.a. ed in muratura*

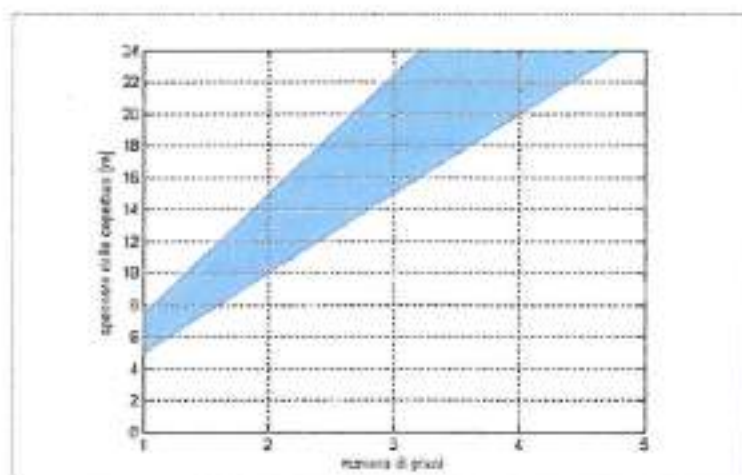


Figura 7 - La zona blu indica gli edifici che si risonano con il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso per cui per una zona con  $V_c$  caratteristiche delle coperture di 100-200 mm, sarebbero possibili fenomeni di risonanza.

**Rapporto grafico tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato : la zona in blu indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza**

**La frequenza di risonanza profonda del sito dalle misurazioni effettuate è risultata circa  $4.03 \pm 0.54$  Hz**

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale che rappresenta la nuova generazione di strumenti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

Lo strumento utilizzato racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz., i dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico.

La tecnica HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o Metodo di Nakamura) consente quindi di valutare la frequenza fondamentale di risonanza dei terreni e delle strutture cioè di valutare alcune caratteristiche di depositi sedimentari (suoli), è una tecnica non invasiva che opportunamente tarata, mediante dei processi di inversione consente di definire la categoria di suolo di fondazione.

Se si considera la struttura geologica tipica di un deposito sedimentario, si vede come il tremore registrato in superficie si possa considerare come composto da onde superficiali e da onde di volume.

Tali onde verranno modificate dall'azione filtrante dello strato soffic.

Si possono definire due spettri relativi alle misure del moto superficiale orizzontale ( $H_f$ ) e verticale ( $V_f$ ); tali spettri sono legati agli spettri delle onde di volume e di quelle di superficie dalle seguenti formule:  $H_f = A_h \times H_b + H_s$   $V_f = A_v \times V_b + V_s$  dove  $A_h$  e  $A_v$  sono i fattori di amplificazione del moto orizzontale e verticale delle onde di volume;  $H_b$  e  $V_b$  sono gli spettri orizzontale e verticale del moto nel bedrock e  $H_s$  e  $V_s$  sono gli spettri del moto orizzontale e verticale delle onde di superficie.

L'uso esplorativo della misura di microtremore è quello di individuare quindi le aree dove esistono fenomeni di risonanza sismica dando indicazioni sulle frequenze interessate dal fenomeno e quindi fornire indicazioni qualitative e relative sull'entità del contrasto di impedenza responsabile del fenomeno di risonanza.

Per quanto riguarda l'interpretazione del grafico H/V ci si è basati sulle indicazioni descritte nel testo "Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola; D. Albarello, S. Castellano (Supplemento alla rivista trimestrale Ingegneria Sismica, Anno XXVIII - n.2-2011).

In linea generale, vengono individuate tre classi di qualità della misura ottenuta:

- Classe A: curva H/V affidabile e interpretabile per stazionarietà, isotropia, assenza di disturbo, plausibilità fisica, robustezza statistica, la forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (stazionarietà);
- Classe B: curva H/V sospetta (da interpretare) va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze
- Classe C: curva H/V scadente e di difficile interpretazione (non va utilizzata).

Per le sole classi A e B, vengono definite due sottoclassi:

- Tipo 1: presenta almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME: possibile risonanza.
- Tipo 2: non presenta picchi "chiaro" nell'intervallo di frequenze di interesse: assenza di risonanza.

Successivamente vengono distinte quelle con:

- Ampiezza H/V > 3 → è presente un contrasto di impedenza;
- Ampiezza H/V < 3 → non è presente un contrasto di impedenza

In presenza di gradienti di velocità regolari senza significativi contrasti di impedenza la metodologia HVSR, generalmente, non riesce ad evidenziare alcun picco di amplificazione.

Inoltre, nelle condizioni in cui il bedrock, ovvero il contrasto di impedenza più significativo, è molto profondo (picchi teorici di risonanza inferiori a 1 Hz) è possibile non riuscire ad estrapolare, dai rapporti H/V alcun picco significativo.

In questi casi, la curva H/V apparirà piatta, con ampiezza circa pari a 1 e il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile.

In base alle frequenze di risonanza determinate sperimentalmente è possibile fornire una stima molto grossolana (livello semi-qualitativo) dello spessore delle coperture responsabili del fenomeno della risonanza e dell'entità del contrasto atteso, utilizzando l'abaco seguente (TAB.5):

$f_0$ (Hz)	$h$ (m)	Spessore delle coperture
< 1	> 100	centinaia di metri
1 + 2	50 + 100	decine di metri
2 + 3	30 + 50	
3 + 5	20 + 30	
5 + 8	10 + 20	qualche metro
8 + 20	5 + 10	
> 20	< 5	

TAB.5\_Abaco per la stima delle coperture ( $h$ ) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $f_0$ ) determinate dalle misure di H/V. (da: Albarello et al., 2010)

L'acquisizione eseguite appartiene alla classe A e possono quindi interpretate ed utilizzate anche se in presenza di picchi non eccessivamente chiari (variazione graduale con la profondità)

## SCUOLA PRIMARIA PIETRALACROCE - ANCONA HVSR1

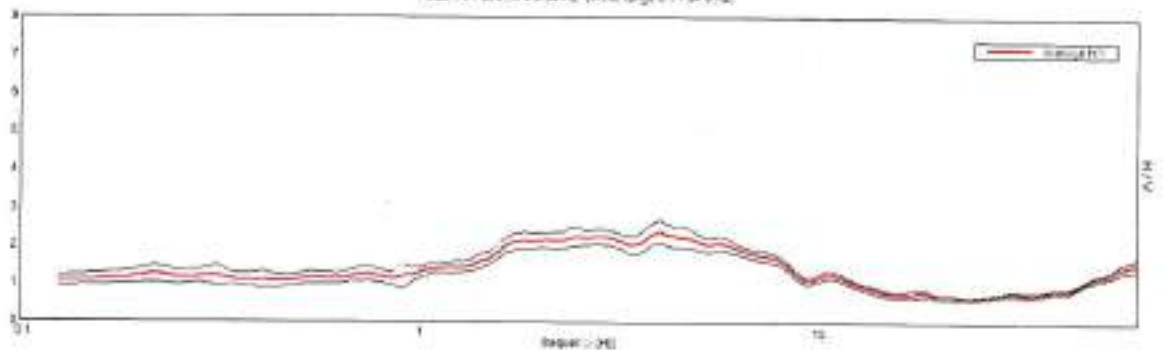
### Postazione di Prova



Strumento: TRZ-0119/01-10  
Formato dati: 16 byte  
Fondo scala [mV]: n.a.  
Inizio registrazione: 13/11/18 13:23:00 Fine registrazione: 13/11/18 13:43:00  
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN  
Dato GPS non disponibile  
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)  
Freq. campionamento: 128 Hz  
Lunghezza finestre: 20 s  
Tipo di lisciamento: Triangular window  
Lisciamento: 10%

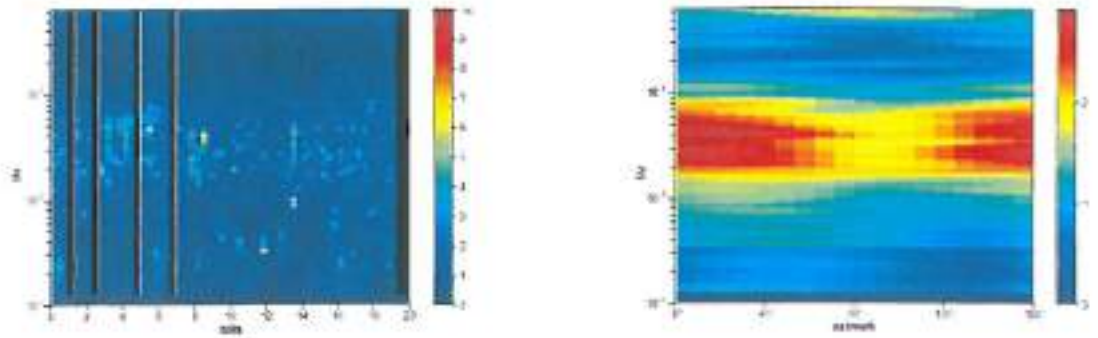
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max HV: 4.613 a 0.54 Hz (in fase dega 0.0 - 90.992)

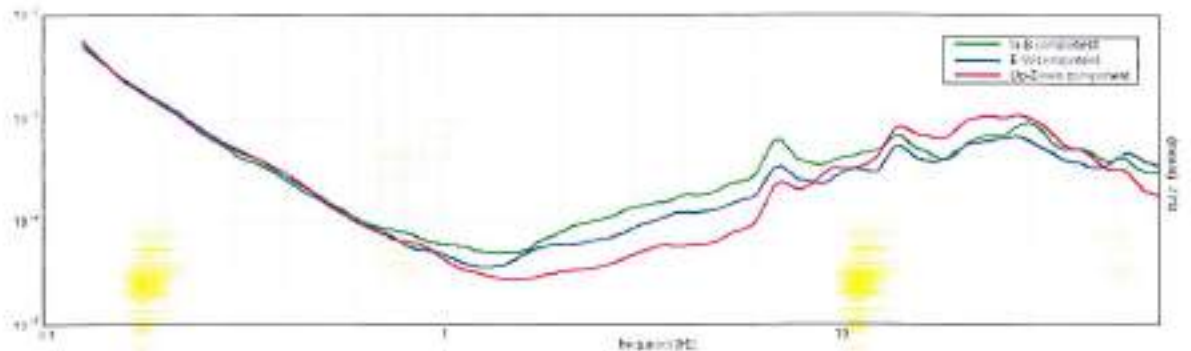


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V

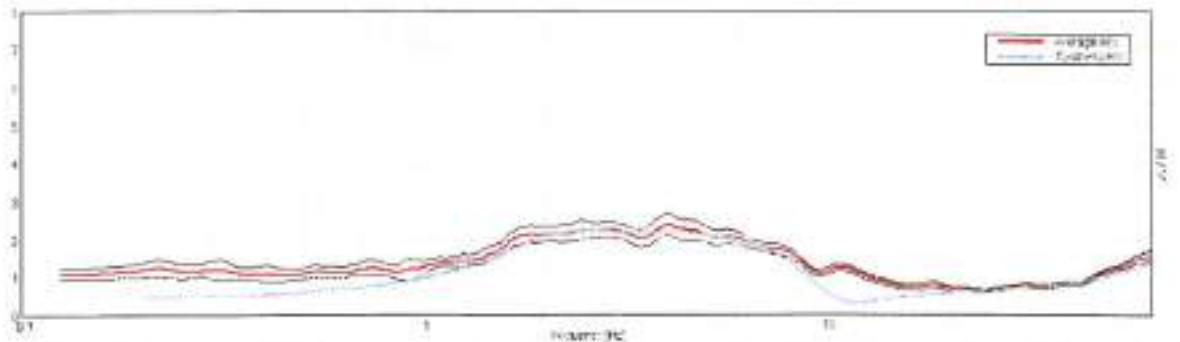


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



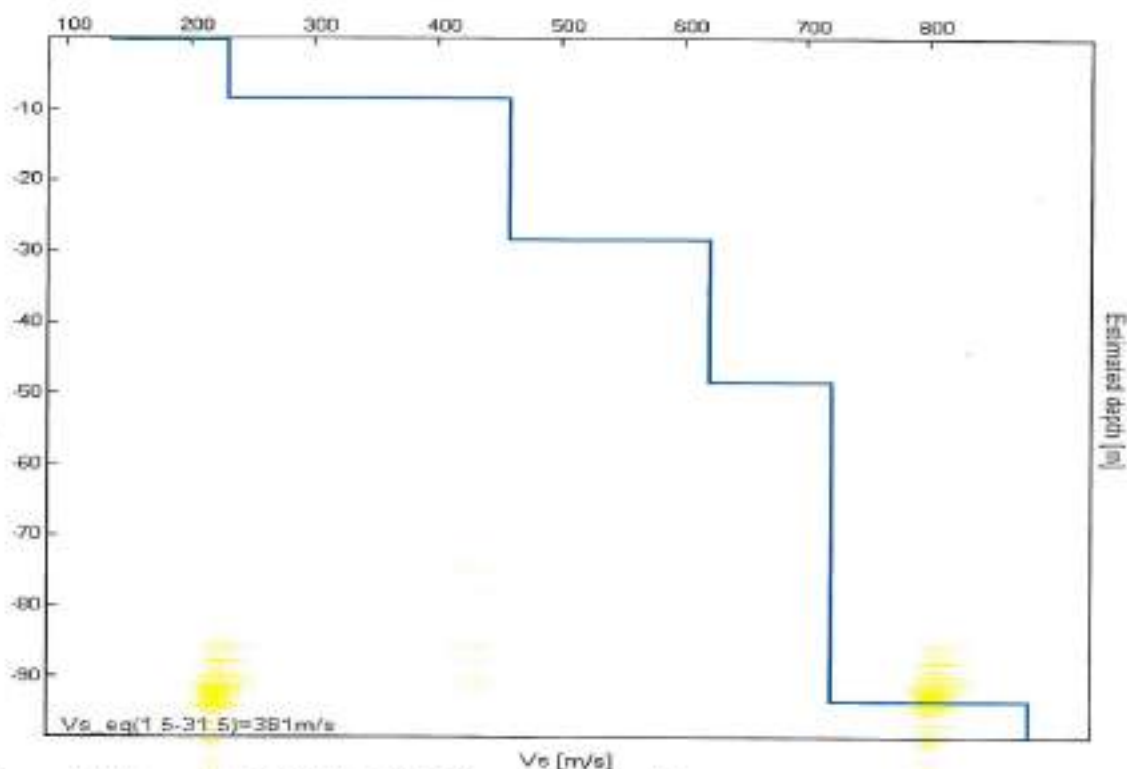
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Plot H/V at 4.00 e 5.54 Hz (in the range 0.1 - 10 Hz)



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.40	0.40	135	0.42
8.40	8.00	230	0.45
28.40	20.00	458	0.45
48.40	20.00	620	0.45
93.40	45.00	720	0.45
inf.	inf.	880	0.45

**Vs\_eq (1.5-31.50) = 381 m/s**



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grillo* prima di interpretare la tabella seguente].

<b>Picco H/V a <math>4.03 \pm 0.54</math> Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).</b>			
<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$4.03 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$4353.8 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 194	<b>OK</b>	
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^*$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Esiste $f^*$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^*) < A_0 / 2$	9.125 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.38 > 2$	<b>OK</b>	

$f_{\text{picco}}[A_{\text{H/V}}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0.13497  < 0.05				NO
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	0.5441 < 0.20156				NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2956 < 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				
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V				
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$				
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$				
$A_{\text{H/V}}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$				
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{\text{H/V}}(f^-) < A_0/2$				
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{\text{H/V}}(f^+) < A_0/2$				
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{\text{H/V}}(f)$ . $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{\text{H/V}}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa.				
$\sigma_{\log \text{H/V}}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{\text{H/V}}(f)$				
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$				
Valori di soglia per $\sigma_f$ 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
$\epsilon(f_0)$ [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 $\sigma_{\log \text{H/V}}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

#### 4.2 ACQUISIZIONE GEOFISICA TRAMITE TECNICA MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali.

Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

##### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado,



**Onde di Rayleigh – “R”**

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare.

Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

**Analisi del segnale con tecnica MASW**

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

**Modellizzazione**

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

#### **Modi di vibrazione**

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

#### **Profondità di indagine**

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

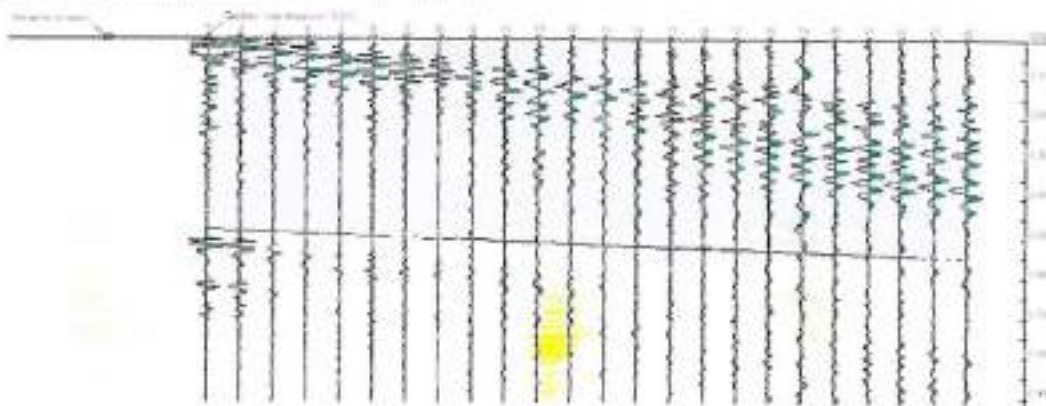
#### **Postazione di Prova**



## Tracce

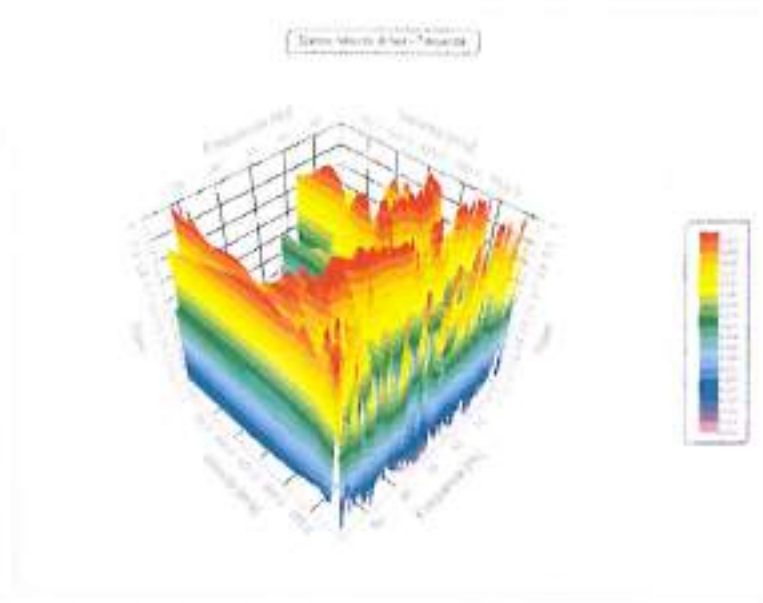
N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	1.00

Committente: COMUNE DI ANCONA  
 Cantiere: VIA PIETRALACROCE n 27  
 Località: ANCONA  
 Operatore: DR. GEOL. STEFANO GIULIANI  
 Responsabile: DR. GEOL. STEFANO GIULIANI  
 Data: 14/11/2018



## Analisi spettrale

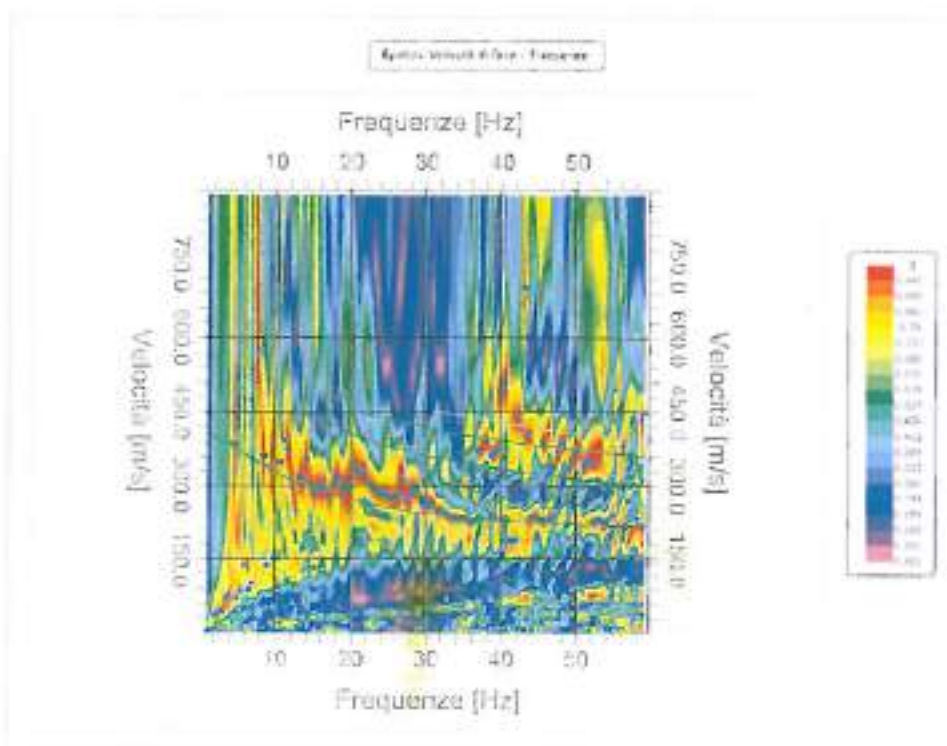
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	900
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	4.8	383.4	0
2	8.6	359.5	0
3	10.8	344.8	0
4	13.1	319.1	0
5	14.8	302.5	0
6	16.4	297.0	0
7	17.8	306.2	0
8	19.3	291.5	0
9	20.1	313.5	0
10	20.6	341.1	0
11	22.0	320.9	0
12	22.5	302.5	0
13	23.6	287.8	0
14	25.1	276.8	0
15	26.2	278.6	0
16	26.9	309.9	0
17	27.4	269.4	0
18	28.5	287.8	0
19	29.5	274.9	0
20	30.8	262.1	0
21	31.7	249.2	0
22	33.1	238.2	0
23	35.3	234.5	0
24	37.0	234.5	0
25	43.9	234.5	0
26	45.4	230.8	0
27	46.7	232.6	0
28	52.4	227.1	0

29	54.1	227.1	0
30	56.5	217.9	0
31	58.9	217.9	0



**Inversione**

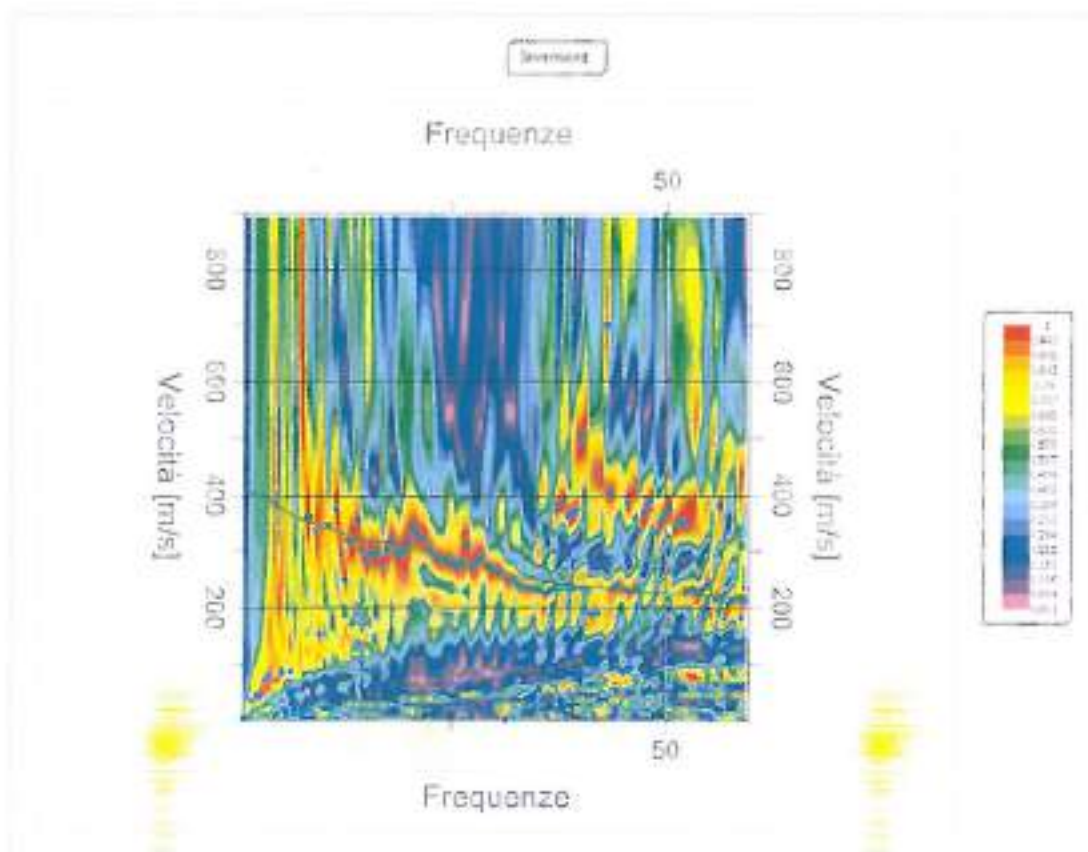
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1		1.00	1.00	1800.0	0.4	No	502.1	205.0
2		2.30	1.30	1800.0	0.3	No	453.2	242.2
3		3.31	1.01	1800.0	0.3	No	469.0	250.7
4		4.37	1.05	1800.0	0.3	No	623.7	333.4
5		7.28	2.91	1800.0	0.3	No	706.2	377.5
6		8.28	1.00	1800.0	0.3	No	723.4	386.7
7		12.25	3.96	1800.0	0.3	No	726.2	388.1
8		13.25	1.00	1800.0	0.3	No	743.5	397.4
9		17.01	3.77	1800.0	0.3	No	743.2	397.3
10		22.96	5.95	1800.0	0.3	No	768.6	410.8
11		25.78	2.82	1800.0	0.3	No	802.6	429.0
12		32.51	6.73	1800.0	0.3	No	807.3	431.5
13		∞	∞	1800.0	0.3	No	845.6	452.0

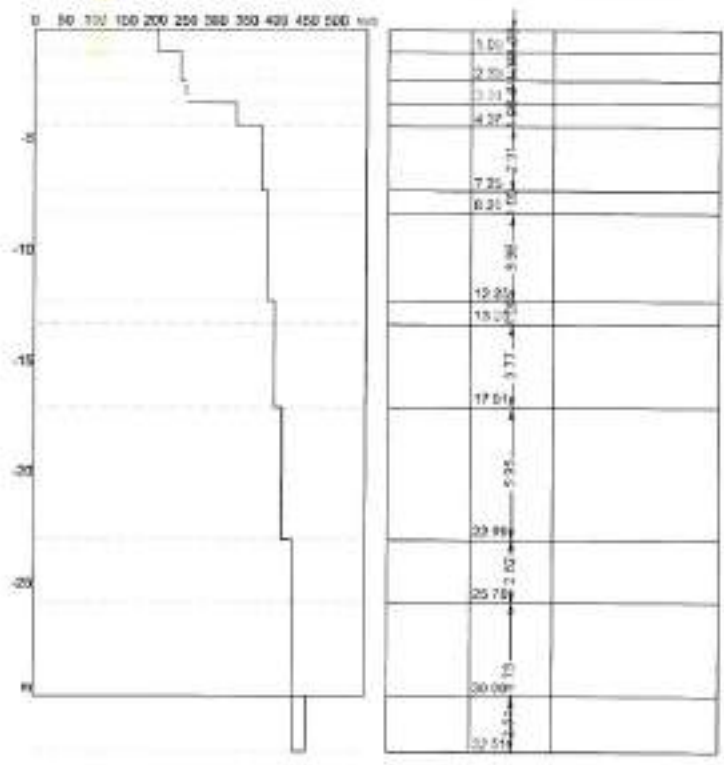
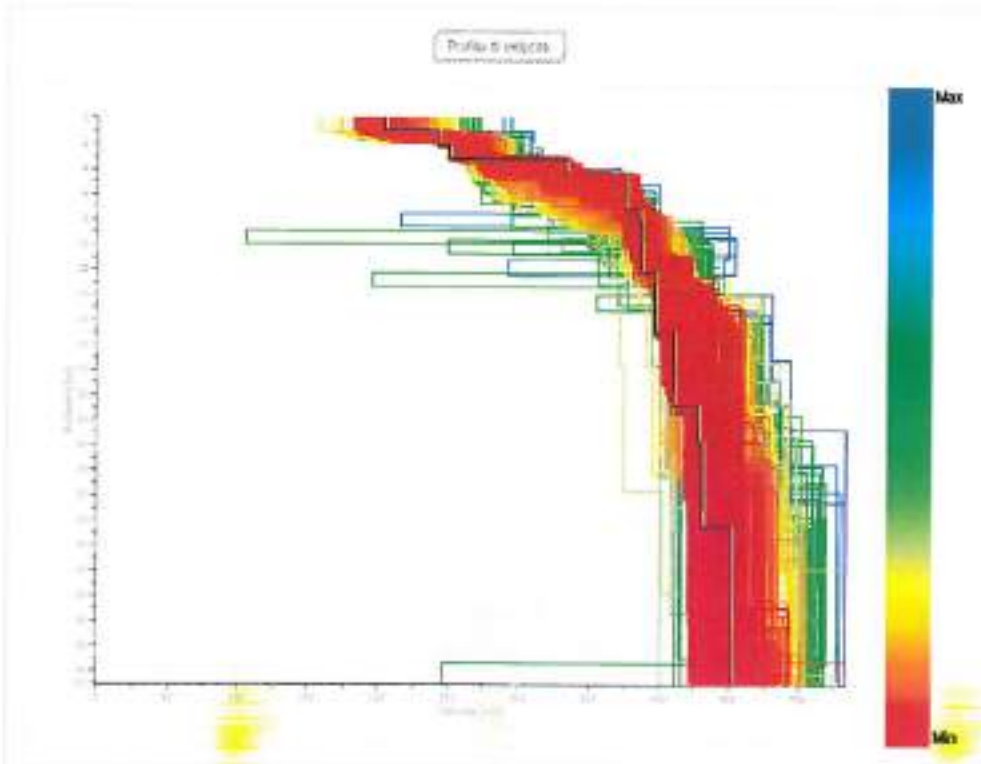
Percentuale di errore

0.231 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.045





## Risultati

Profondità piano di posa [m]	1.50
Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	387.94
Categoria del suolo	B

## Altri parametri geotecnici dinamici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coefficiente Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.00	1.00	205.00	502.14	1800.0	0.40	75.64	453.86	353.00	211.80	N/A	860.88
2	2.30	1.30	242.23	453.17	1800.0	0.30	105.62	369.65	228.83	274.60	N/A	1991.4
3	3.31	1.01	250.72	469.05	1800.0	0.30	113.15	396.01	245.15	294.18	N/A	2367.6
4	4.37	1.05	333.39	623.72	1800.0	0.30	200.07	700.25	433.49	520.19	N/A	N/A
5	7.28	2.91	377.49	706.21	1800.0	0.30	256.49	897.72	555.73	666.88	N/A	N/A
6	8.28	1.00	386.67	723.39	1800.0	0.30	269.12	941.92	583.09	699.71	N/A	N/A
7	12.25	3.96	388.15	726.16	1800.0	0.30	271.19	949.16	587.58	705.09	N/A	N/A
8	13.25	1.00	397.44	743.54	1800.0	0.30	284.32	995.13	616.03	739.24	N/A	N/A
9	17.01	3.77	397.26	743.20	1800.0	0.30	284.07	994.23	615.48	738.57	N/A	N/A
10	22.96	5.95	410.81	768.56	1800.0	0.30	303.78	1063.2	658.19	789.83	N/A	N/A
11	25.78	2.82	428.98	802.56	1800.0	0.30	331.25	1159.3	717.71	861.25	N/A	N/A
12	32.51	6.73	431.53	807.31	1800.0	0.30	335.19	1173.1	726.24	871.49	N/A	N/A
13	oo	oo	451.97	845.55	1800.0	0.30	367.69	1286.9	796.67	956.01	0	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young;

L'indagine Hvsr e Masw eseguite congiuntamente ed allegate alla presente permette la

valutazione del seguente valore di Vs (eq) ai sensi NTC 2018 :

$$Vs \text{ eq (1.5-31.5)} = 381 \div 388 \text{ m/s}$$

Categoria di sottosuolo :

**B – Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s**

- coefficiente di amplificazione topografica con pendenza media pari a  $18,5^\circ > 15^\circ$  **1,20 (T2) pendio a valle**

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 – D.M. 17/01/2018, inoltre la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" consiste nella determinazione di ag (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido).



Si determina, quindi, la maglia di riferimento (coordinate geografiche) in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero nelle NTC 2008-2018 e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto

#### Parametri sismici

Tipo di elaborazione : Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 43,603462  
longitudine: 13,54152  
Classe: 3  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 20979	Lat: 43,5850	Lon: 13,4900	Distanza: 4633,962
Sito 2	ID: 20980	Lat: 43,5849	Lon: 13,5590	Distanza: 2494,669
Sito 3	ID: 20758	Lat: 43,6349	Lon: 13,5590	Distanza: 3773,645
Sito 4	ID: 20757	Lat: 43,6350	Lon: 13,4900	Distanza: 5430,187

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B  
Categoria topografica: T2  
Periodo di riferimento: 75anni  
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 45 [anni]  
ag: 0,053 g  
Fo: 2,538  
Tc\*: 0,276 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 75 [anni]  
ag: 0,071 g  
Fo: 2,490  
Tc\*: 0,284 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 712 [anni]  
ag: 0,201 g  
Fo: 2,471  
Tc\*: 0,302 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr:	1462	[anni]
ag:	0,263	g
Fo:	2,495	
Tc*:	0,312	[s]

## Coefficientsi Sismici Stabilità dei pendii

## SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,420
St:	1,200
Kh:	0,015
Kv:	0,008
Amax:	0,747
Beta:	0,200

## SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,200
Kh:	0,020
Kv:	0,010
Amax:	0,998
Beta:	0,200

## SLV:

Ss:	1,200
Cc:	1,400
St:	1,200
Kh:	0,081
Kv:	0,041
Amax:	2,845
Beta:	0,280

## SLC:

Ss:	1,140
Cc:	1,390
St:	1,200
Kh:	0,101
Kv:	0,050
Amax:	3,526
Beta:	0,280

Le coordinate espresse sono in ED50

## Coordinate WGS84

latitudine:	43.602520
longitudine:	13.540592

## DOVE:

ag = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido

Amax = accelerazione orizzontale massima attesa dal sito =  $S_s \cdot S_t \cdot (ag \cdot 9,80665 \text{ m/s}^2)$

Beta = coefficiente di riduzione dell'amplificazione massima attesa dal sito dipendente dalla categoria del suolo e dall'amplificazione massima attesa

Kh = coefficiente di spinta sismica nella direzione orizzontale

Kv = coefficiente di spinta sismica nella direzione verticale

Periodo di riferimento, Probabilità di superamento = associato alla SL considerato

Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

Tc = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale =  $C_c \cdot T_c^*$

Tb = periodo di inizio del tratto ad accelerazione costante dello spettro =  $T_c/3$

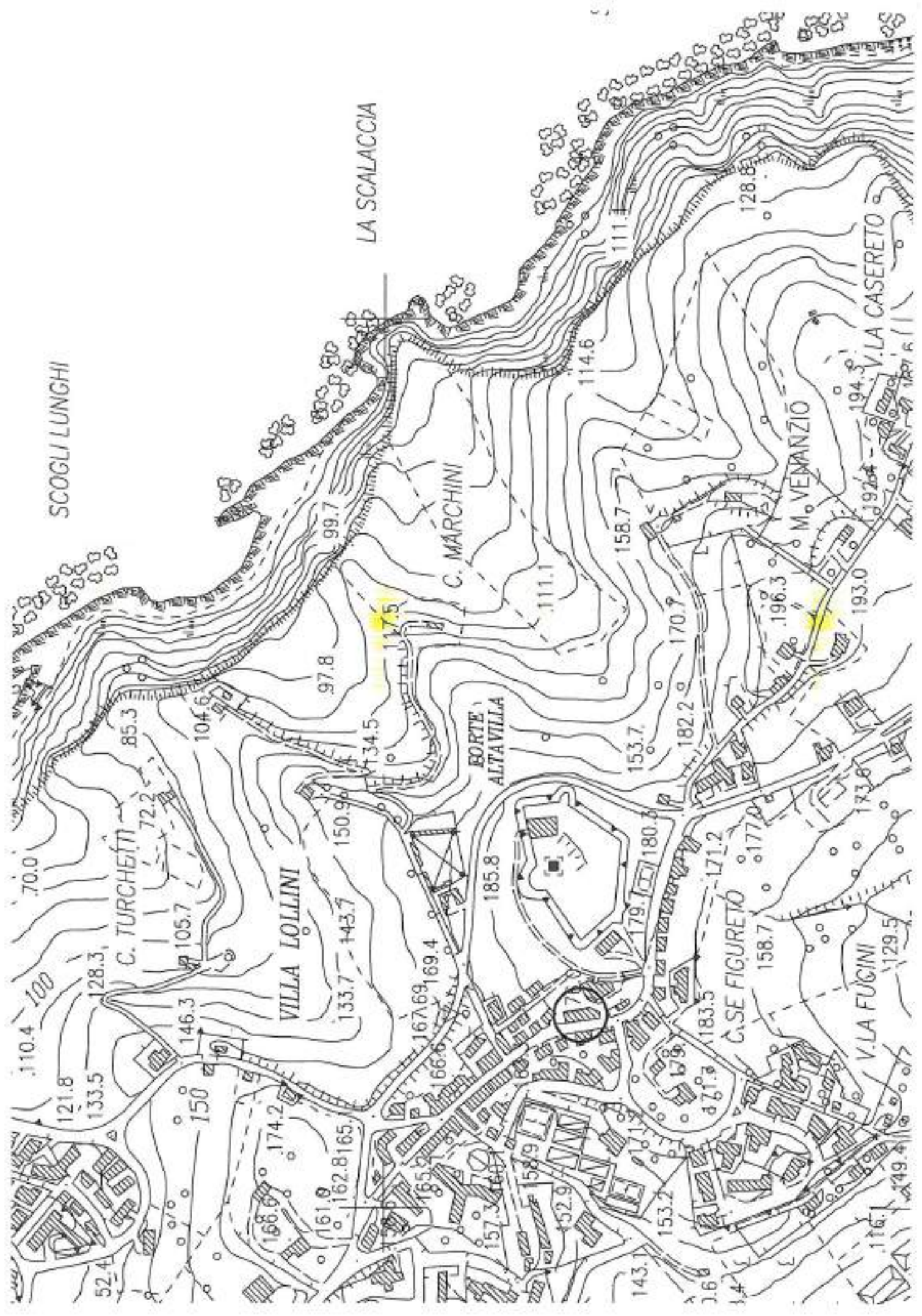
Cc = coefficiente in funzione della categoria di sismosito

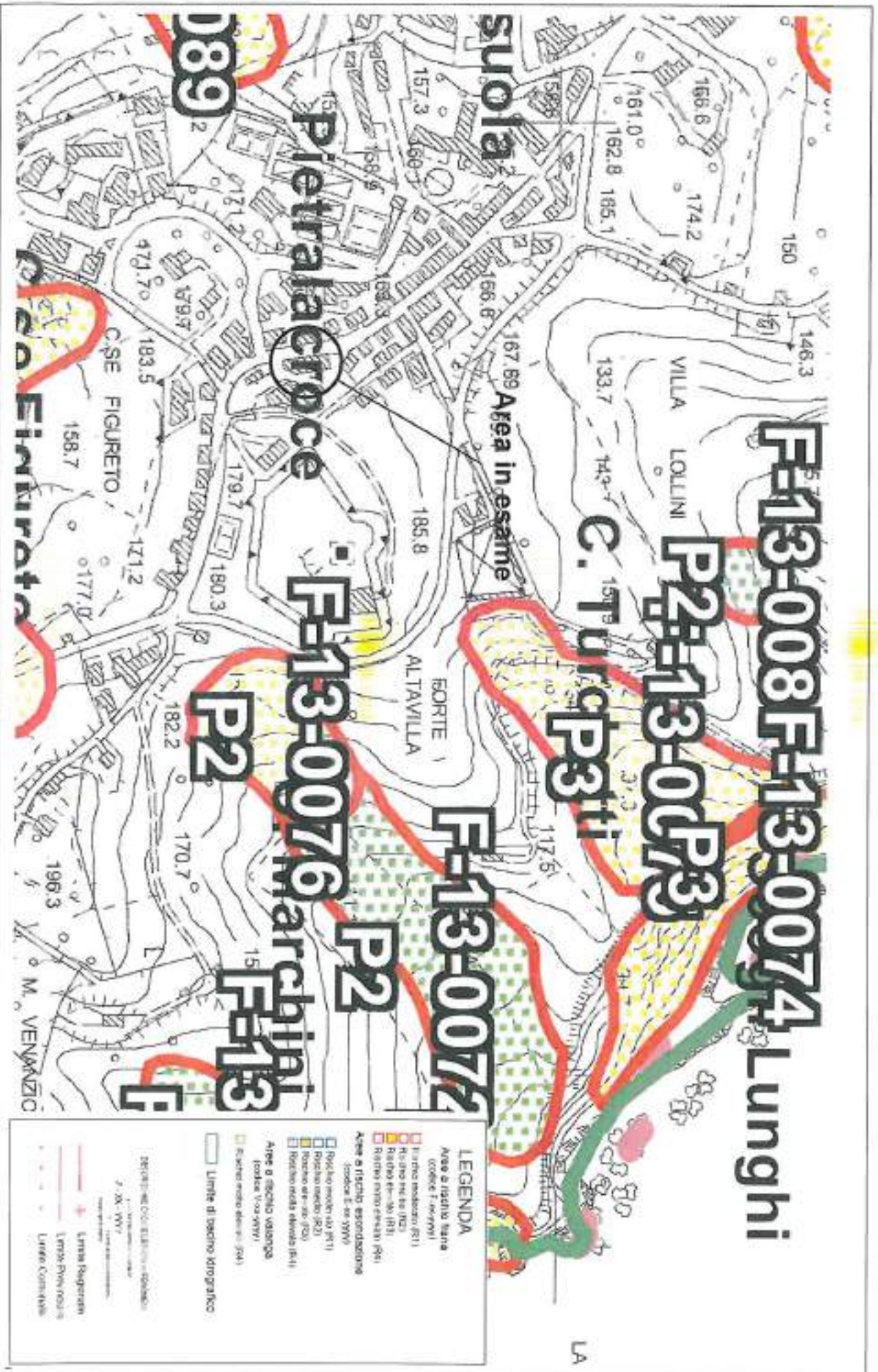
\*\*\*\*\*  
Jesi, li 24/11/2018**IL GEOLOGO**  
(Per Studio GEO/TEC)  
(Dott. Geol. Stefano Giuliani)

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Stefano Giuliani", written over the bottom part of the professional stamp.

---

**ALLEGATI:** Stralcio C.R.T. 1:5000, Stralcio PAI Regione Marche, Stralcio Carta Geologica e Geomorfologica Area con legenda, Stralcio Cartografia MOPS area in esame, Planimetria Area con posizione indagini Geofisiche e Sondaggi Geologici, Grafici Sondaggi eseguiti con elaborazioni geotecniche.....appendice





**LEGENDA**

**Aree a rischio sisma**  
 codice F-xx-yy-yy

- rischio moderato (R1)
- rischio medio (R2)
- rischio elevato (R3)
- rischio molto elevato (R4)

**Aree a rischio esondazione**  
 (codice E-xx-yy-yy)

- Rischio medio (R1)
- Rischio medio (R2)
- Rischio elevato (R3)
- Rischio molto elevato (R4)

**Aree a rischio valanga**  
 (codice V-xx-yy-yy)

- Rischio medio elevato (R4)

□ Rischio molto elevato (R4)

□ Limite di bacino idrografico

**Deviamenti Orizzontali in spallata**  
 1.00 - 1.50 - 2.00 - 2.50 - 3.00 - 3.50 - 4.00 - 4.50 - 5.00 - 5.50 - 6.00 - 6.50 - 7.00 - 7.50 - 8.00 - 8.50 - 9.00 - 9.50 - 10.00

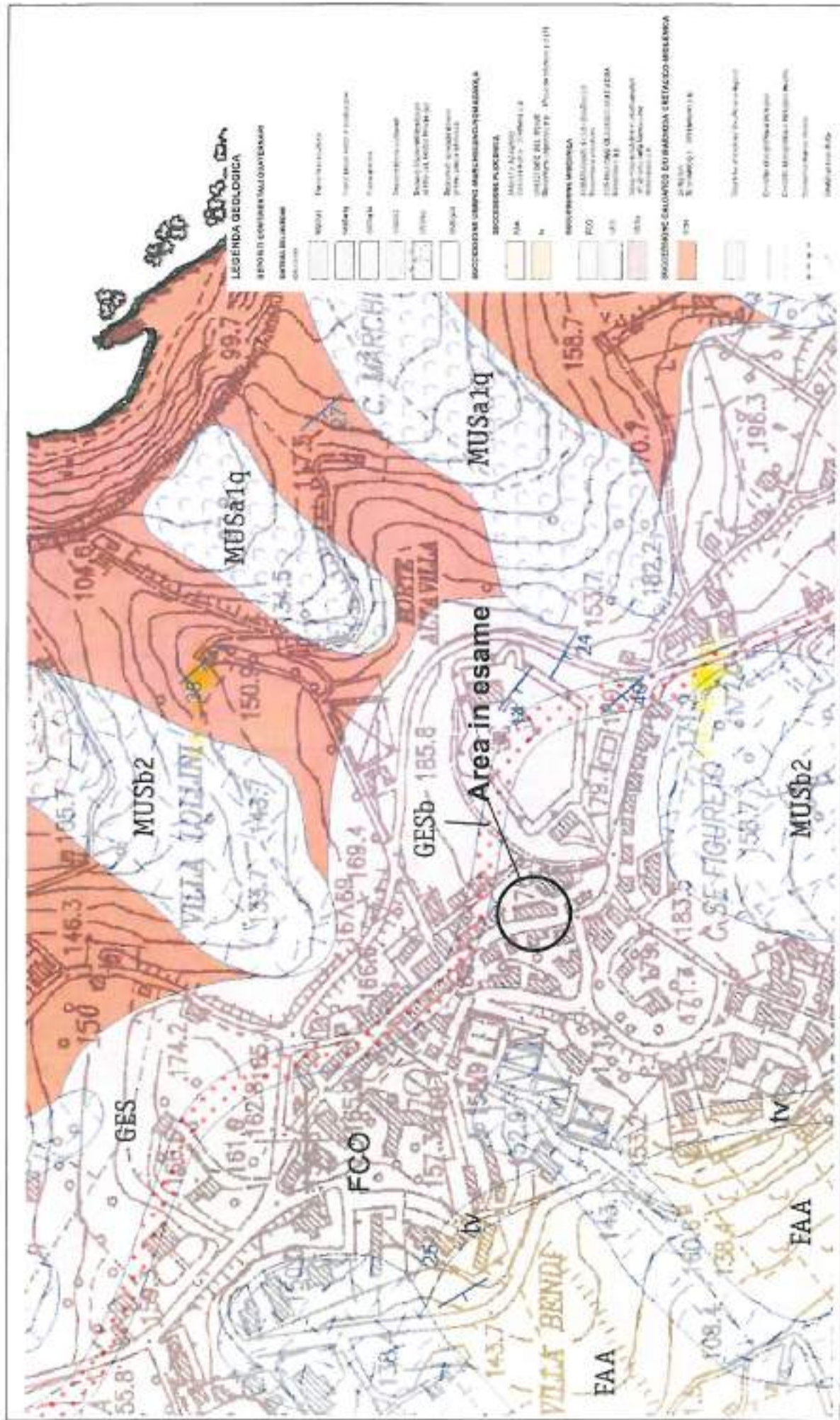
**7.00 - 7.50**

- Linea Registra
- Linea Pivni (Piv)
- Linea Cornice

**GEOTEC**

STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E GEOTECNICA  
 GIULIOTTI Dr. Geol. Stefano  
 Viale Papa Giovanni XXIII N. 14/b - 60035 JESI (AN)  
 tel. - fax. (0733) 201585 - Email: geotecnica@geotec.it

**STRALCIO P.A.I. REGIONE MARCHE AREA IN ESAME**

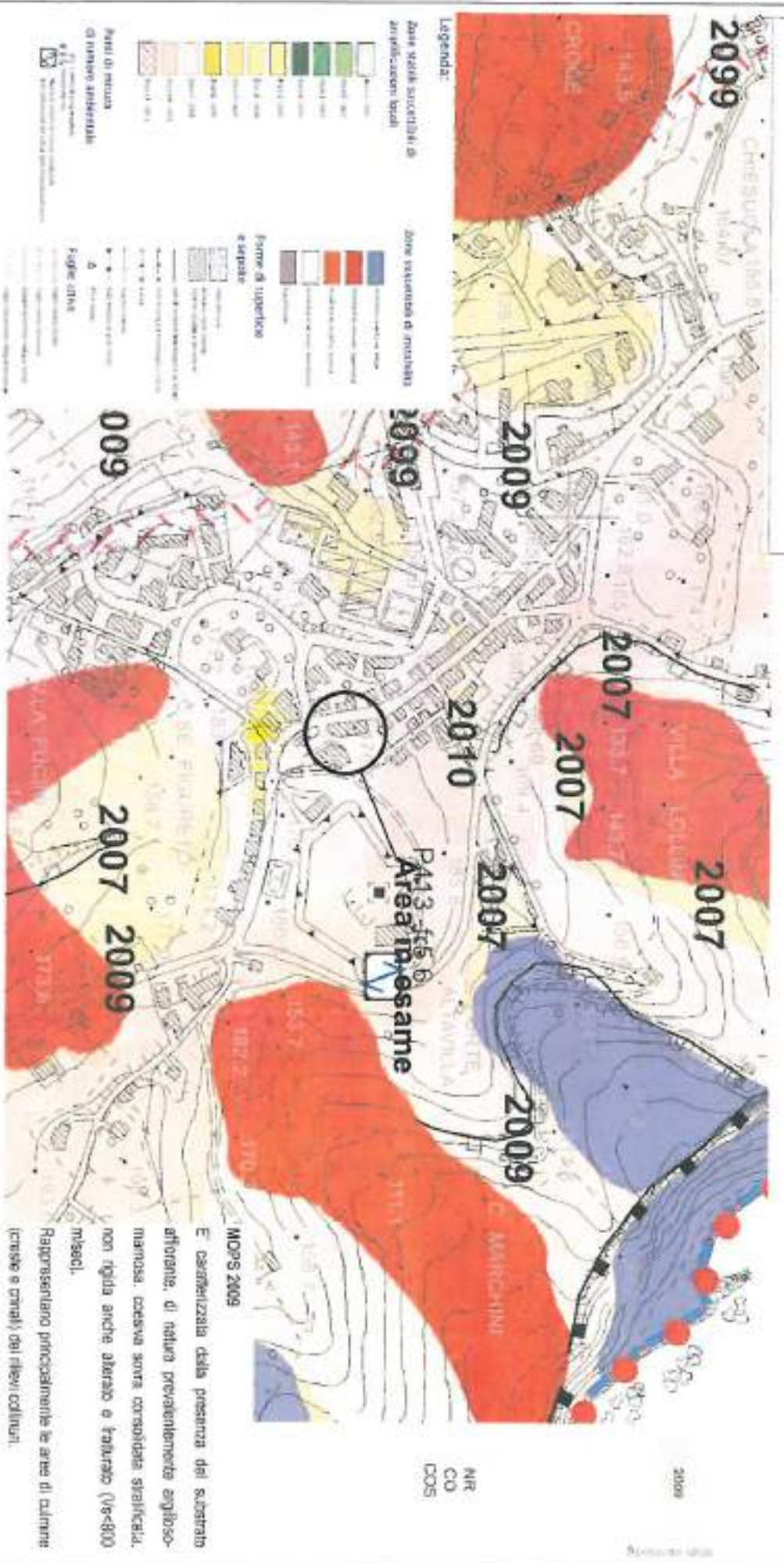


# STRALCIO CARTA GEOLOGICA AREA IN ESAME

STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E GEOTECNICA  
 Giuliani Dr. Geol. Stefano  
 Viale Papa Giovanni XXIII N. 14/b - 62035 JESI (An)  
 Tel. - fax. (0731) 201555 - E-mail: geotecstudio@geotecstudio.com



DOS - Ossive betonizzate e incostrato.  
 Sottolineo che presenza prevalente V3 < 80% ma, infine, dal punto di vista  
 stratigrafico alle seguenti note: Argilla argentea (su la faccia argentea che le  
 fosse stabili), Formazione a Calcinacci, Formazione dello Strone.



**MOPs 2009**  
 È caratterizzata dalla presenza del substrato  
 affiorante, di natura prevalentemente argilloso-  
 marnosa, coesiva sotto consolidata stratigrafica,  
 non rigida anche alterato e trattato (Vs<800  
 m/sec).

Rappresentano principalmente le aree di calmine  
 (creste e canali) dei rilievi collinari.



STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E GEOTECNICA  
 Giuliani Dr. Geol. Stefano  
 Viale Papa Giovanni XXIII N. 14/b - 60036 Jesi (AN)  
 tel. - fax. (0731) 201555 - Email:geotecnica@geologygeo.com

**STRALCIO CARTA MOPS AREA IN ESAME**



LEGENDA :

**S1(Dpsh)** Sondaggio Penetrometrico Dinamico Pesante

**Hvsr1** Acquisizione Geofisica H/V

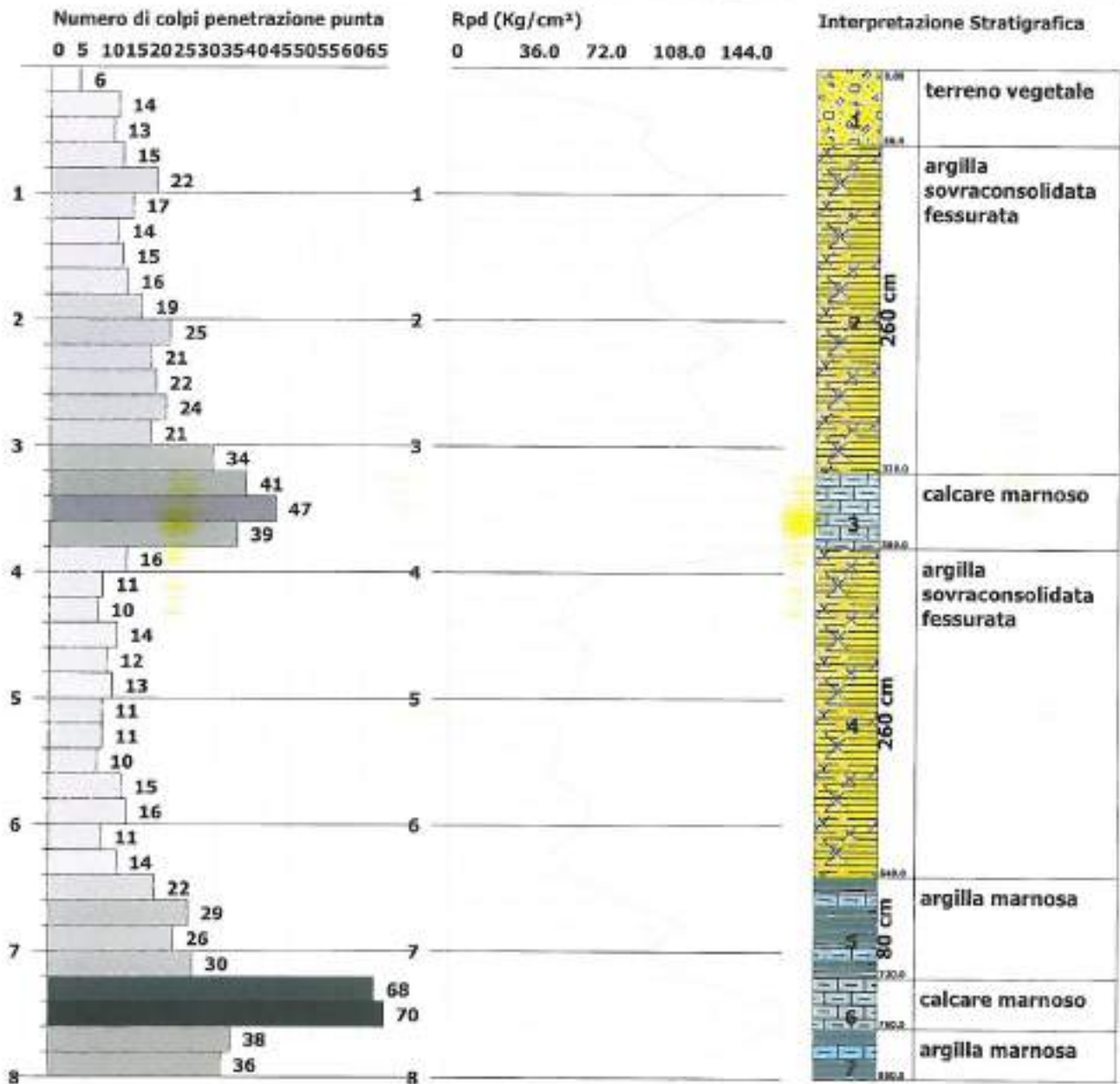
**Masw1** Linea sismica Masw

**GEO/Tec**

STUDIO DI GEOLOGIA APPLICATA E GEOTECNICA  
 Giuliani Dr. Geol. Stefano  
 Viale Papa Giovanni XXIII N. 14/b - 60035 JESI (An)  
 tel. - fax. (0731) 201555 - Email:geotecstudio@geologica@gmail.com

**PLANIMETRIA AREA E POSIZIONE INDAGINI**





**DYNAMIC PROBING SUPER HEAVY n. 1**  
**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE**

Committente: COMUNE DI ANCONA  
Descrizione: SCUOLA PRIMARIA  
PIETRALACROCE  
Località: VIA DI PIETRALACROCE 27

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50.46 mm
Area di base punta	20 cm <sup>2</sup>
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.504
Rivestimento/fanghi	Si
Angolo di apertura punta	90 °

Indagini in sito eseguite e certificate sotto la responsabilità del Geologo professionista, in conformità dell'art. 41 del DPR 328/2001 nell'ambito dello svolgimento delle attività professionali di Geologo

Timbro e firma



## Postazione di Prova



### **PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE** **(DYNAMIC PROBING)** **DPSH – DPM (... scpt ecc.)**

#### **Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici**

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi  $N$  necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente  $M$ ;
- altezza libera caduta  $H$ ;

- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ );
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

#### penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha=60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica ( $\alpha= 60-90^\circ$ ), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento  $\delta=20-30$  cm, punta conica conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

#### Correlazione con N<sub>spt</sub>

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N<sub>spt</sub> ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N<sub>spt</sub>. Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_1 \cdot N$$

Dove:

$$\beta_1 = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q<sub>spt</sub> è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
$\delta$	passo di avanzamento.

### Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

Rpd	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo ( $\delta/N$ ).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

### Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$  è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(P_{90}/\sigma_{va})} \quad CN < 1.7 \quad P_{90} = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
$C_s$	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
$C_d$	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
$C_r$	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

### Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

## Valutazioni statistiche e correlazioni

### Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori in immissione sono :

#### Distribuzione normale R.C.

Il valore di  $N_{spt,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove  $\sigma_{N_{spt}}$  è la deviazione standard di  $N_{spt}$

### Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione  $d = 1$  m.

### PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)  
Prova eseguita in data 13/11/2018  
Profondità prova 8.00 mt  
Falda non rilevata  
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Distribuzione normale R.C.

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm <sup>2</sup> )	Res. dinamica (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.20	6	0.855	49.83	58.31	2.49	2.92
0.40	14	0.801	108.94	136.05	5.45	6.80
0.60	13	0.797	100.69	126.33	5.03	6.32
0.80	15	0.793	115.64	145.77	5.78	7.29
1.00	22	0.740	146.31	197.78	7.32	9.89
1.20	17	0.786	120.16	152.83	6.01	7.64
1.40	14	0.783	98.53	125.86	4.93	6.29
1.60	15	0.780	105.12	134.85	5.26	6.74
1.80	16	0.776	111.67	143.84	5.58	7.19
2.00	19	0.773	122.86	158.90	6.14	7.95
2.20	25	0.720	150.57	209.08	7.53	10.45
2.40	21	0.717	125.95	175.63	6.30	8.78
2.60	22	0.714	131.42	183.99	6.57	9.20
2.80	24	0.711	142.80	200.72	7.14	10.04
3.00	21	0.709	116.36	164.19	5.82	8.21
3.20	34	0.656	174.38	265.83	8.72	13.29
3.40	41	0.603	193.43	320.56	9.67	16.03
3.60	47	0.601	220.80	367.47	11.04	18.37
3.80	39	0.598	182.47	304.92	9.12	15.25
4.00	16	0.746	87.62	117.44	4.38	5.87
4.20	11	0.794	64.09	80.74	3.20	4.04
4.40	10	0.791	58.09	73.40	2.90	3.67
4.60	14	0.739	75.97	102.76	3.80	5.14

4.80	12	0.787	69.33	88.08	3.47	4.40
5.00	13	0.735	66.10	89.92	3.30	4.50
5.20	11	0.783	59.58	76.09	2.98	3.80
5.40	11	0.781	59.43	76.09	2.97	3.80
5.60	10	0.779	53.89	69.17	2.69	3.46
5.80	15	0.727	75.46	103.76	3.77	5.19
6.00	16	0.725	75.92	104.64	3.80	5.23
6.20	11	0.774	55.66	71.94	2.78	3.60
6.40	14	0.722	66.11	91.56	3.31	4.58
6.60	22	0.670	96.45	143.88	4.82	7.19
6.80	29	0.669	126.84	189.67	6.34	9.48
7.00	26	0.667	107.59	161.26	5.38	8.06
7.20	30	0.666	123.85	186.07	6.19	9.30
7.40	68	0.564	237.93	421.75	11.90	21.09
7.60	80	0.563	279.20	496.18	13.96	24.81
7.80	38	0.611	144.07	235.68	7.20	11.78
8.00	36	0.610	129.49	212.31	6.47	10.62

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm <sup>2</sup> )	Tipo	Peso unità di volume (t/m <sup>3</sup> )	Peso unità di volume saturo (t/m <sup>3</sup> )	Tensione efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.6	7.62	15.76	Incoerente	1.78	1.93	0.05	1.5	11.46	terreno vegetale
3.2	17.99	103.76	Coesivo	2.13	2.28	0.38	1.5	27.06	argilla sovraconsolidata fessurata
3.8	39.1	56.82	Incoerente	2.28	2.37	0.73	1.5	58.81	calcare marnoso
6.4	11.66	53.66	Coesivo	2.09	2.19	1.07	1.5	17.54	argilla sovraconsolidata fessurata
7.2	24.19	52.19	Coesivo	2.14	2.25	1.43	1.5	36.38	argilla marnosa
7.6	67.02	11.12	Incoerente	2.25	2.36	1.58	1.5	100.8	calcare marnoso
8	35.84	6.48	Coesivo	2.15	2.25	1.68	1.5	53.9	argilla marnosa

#### STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

##### TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) argilla sovraconsolidata fessurata	27.06	0.60-3.20	Sanglerat	1.80
Strato (4) argilla sovraconsolidata fessurata	17.54	3.80-6.40	Sanglerat	1.17
Strato (5) argilla marnosa	36.38	6.40-7.20	Sanglerst	2.42
Strato (7) argilla marnosa	53.9	7.60-8.00	Sanglerat	3.58

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) argilla	27.06	0.60-3.20	Stroud e Butler (1975)	165.55

sovracconsolidata fessurata					
Strato (4) argilla sovracconsolidata fessurata	17.54	3.80-6.40	Stroud e Butler (1975)		107.31
Strato (5) argilla marnosa	36.38	6.40-7.20	Stroud e Butler (1975)		222.57
Strato (7) argilla marnosa	53.9	7.60-8.00	Stroud e Butler (1975)		329.76

#### Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (2) argilla sovracconsolidata fessurata	27.06	0.60-3.20	D'Appollonia ed altri 1983	270.60
Strato (4) argilla sovracconsolidata fessurata	17.54	3.80-6.40	D'Appollonia ed altri 1983	175.40
Strato (5) argilla marnosa	36.38	6.40-7.20	D'Appollonia ed altri 1983	363.80
Strato (7) argilla marnosa	53.9	7.60-8.00	D'Appollonia ed altri 1983	539.00

#### Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (2) argilla sovracconsolidata fessurata	27.06	0.60-3.20	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato (4) argilla sovracconsolidata fessurata	17.54	3.80-6.40	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
Strato (5) argilla marnosa	36.38	6.40-7.20	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE
Strato (7) argilla marnosa	53.9	7.60-8.00	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

#### TERRENI INCOERENTI

##### Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) terreno vegetale	11.46	0.00-0.60	11.46	Meyerhof 1957	31.9
Strato (3) calcere marnoso	58.81	3.20-3.80	58.81	Meyerhof 1957	100
Strato (6) calcere marnoso	100.8	7.20-7.60	100.8	Meyerhof 1957	100

##### Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) terreno vegetale	11.46	0.00-0.60	11.46	Meyerhof (1956)	18.27
Strato (3) calcere marnoso	58.81	3.20-3.80	58.81	Meyerhof (1956)	36.8
Strato (6) calcere marnoso	100.8	7.20-7.60	100.8	Meyerhof (1956)	45.8



**Modulo di Young**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	11.46	0.00-0.60	11.46	Schultze-Menzenbach	69.47
Strato (3) calcare marnoso	58.81	3.20-3.80	58.81	Schultze-Menzenbach	362.10
Strato (6) calcare marnoso	100.8	7.20-7.60	100.8	Schultze-Menzenbach	605.64

**Modulo Edometrico**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	11.46	0.00-0.60	11.46	Buisman-Sanglerat	68.76
Strato (3) calcare marnoso	58.81	3.20-3.80	58.81	Buisman-Sanglerat	470.48
Strato (6) calcare marnoso	100.8	7.20-7.60	100.8	Buisman-Sanglerat	806.40

**Classificazione AGI**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) terreno vegetale	11.46	0.00-0.60	11.46	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) calcare marnoso	58.81	3.20-3.80	58.81	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
Strato (6) calcare marnoso	100.8	7.20-7.60	100.8	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

**Modulo di Poisson**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) terreno vegetale	11.46	0.00-0.60	11.46	(A.G.I.)	0.33
Strato (3) calcare marnoso	58.81	3.20-3.80	58.81	(A.G.I.)	0.24
Strato (6) calcare marnoso	100.8	7.20-7.60	100.8	(A.G.I.)	0.15

**Modulo di deformazione a taglio dinamico**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm <sup>2</sup> )
Strato (1) terreno vegetale	11.46	0.00-0.60	11.46	Ohsaki (Sabbie pulite)	643.50
Strato (3) calcare marnoso	58.81	3.20-3.80	58.81	Ohsaki (Sabbie pulite)	2993.63
Strato (6) calcare marnoso	100.8	7.20-7.60	100.8	Ohsaki (Sabbie pulite)	4967.82

**Coefficiente spinta a Riposo K<sub>0</sub>=SigmaH/P<sub>0</sub>**

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K <sub>0</sub>
Strato (1) terreno vegetale	11.46	0.00-0.60	11.46	Navfac 1971-1982	2.41
Strato (3) calcare marnoso	58.81	3.20-3.80	58.81	Navfac 1971-1982	9.67
Strato (6) calcare marnoso	100.8	7.20-7.60	100.8	Navfac 1971-1982	11.93

