

**COMUNE DI PONTE DELL'OLIO**

Provincia di Piacenza  
-----

**ACCORDO OPERATIVO**

ai sensi degli art. 4 e 38 della LR n°24 21/12/2017

**Ambito residenziale R11**

***Relazione geologica e sismica***

(ai sensi del D.G.R. 564 del 26/04/2021 e D.M. 17/01/2018)

Committente:

**Carini Roberto**

studio

**Iusignani**

geologia, cave ed ambiente

**GIUGNO 2022**

## INDICE

<b>PREMESSA</b> .....	<b>pag. 3</b>
<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b> .....	<b>pag. 8</b>
• Condizioni morfologiche .....	<b>pag. 8</b>
• Idrografia e condizioni idrogeologiche .....	<b>pag. 11</b>
<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE</b> .....	<b>pag. 13</b>
• Prova penetrometrica statica CPT .....	<b>pag. 13</b>
• Prova geofisica HVSr (Giugno 2022) .....	<b>pag. 17</b>
• Prova geofisica MASW ..	<b>pag. 21</b>
• Prova geofisica HVSr (ottobre 2022) .....	<b>pag. 22</b>
<b>CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO</b> ..	<b>pag. 25</b>
<b>MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO</b> .....	<b>pag. 28</b>
<b>SISMICITA'</b> .....	<b>pag. 29</b>
• Risposta sismica locale (RSL - DGR 564 del 26/04/2021)	<b>pag. 29</b>
• Valutazione dei fattori di Amplificazione (F.A.) .....	<b>pag. 29</b>
• Acc. oizzontale massima attesa secondo DGR 564/2021 ..	<b>pag. 31</b>
• Sollecitazioni sismiche in base alle NTC 2018 .....	<b>pag. 31</b>
• Analisi disaggregazione .....	<b>pag. 34</b>
• Amplificazione topografica .....	<b>pag. 35</b>
• Categoria di sottosuolo e coeff. ampl. topografica .....	<b>pag. 36</b>
• Acc. oizzontale massima attesa secondo NTC 2018 .....	<b>pag. 36</b>
• Rischio liquefazione .....	<b>pag. 36</b>
• Fattori di pericolosità geologica .....	<b>pag. 37</b>
<b>CONCLUSIONI</b> .....	<b>pag. 38</b>

### ALLEGATI:

- Diagrammi e tabelle di calcolo dei parametri geotecnici desunti dalle prove penetrometriche statiche CPT
- Prova sismica HVSr (Giugno 2022)
- Prova sismica HVSr (Ottobre 2022)

## **PREMESSA**

L'area in esame è situata alla periferia sud-occidentale di Ponte dell'Olio e precisamente in località Riva sul prolungamento di Strada Anguillara; l'area corrisponde al mappale n.7 (parte) al Foglio 11 del comune censuario di Ponte dell'Olio e si estende su di una superficie catastale complessiva pari a mq 4.369,60 e sarà suddivisa in 5 Lotti destinati all'edificabilità..

Il progetto in esame consiste nell'accordo operativo di un nuovo ambito residenziale di espansione denominato "R11" nel comune di Ponte dell'olio identificato catastalmente al foglio 25 mappale 7.

L'area non è soggetta a particolari vincoli e tutele di carattere ambientale, paesaggistico e storico culturale, come evidenziato nell'allegata Tav. A1.5 del PTCP vigente. L'area in esame non è soggetta a "Vincolo Idrogeologico" ai sensi del R.D. 3267/1923 e R.D.1126/1926 (vedi TAV PSC SA.7 a corredo del PSC vigente).

La presente relazione geologica e sismica, allegato obbligatorio<sup>1</sup> dell'istanza di accordo operativo, è stata redatta ai sensi del D.G.R. 564 del 26/04/2021 in merito alla normativa vigente per la "*microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica*", mentre per quanto concerne una prima valutazione sulla caratterizzazione geolitologiche e geotecniche del sottosuolo in funzione dell'edificabilità, si è fatto riferimento alle "*Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni*" di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

---

<sup>1</sup> di cui agli art. 4 e 38 della LR 24/2017

## FOTO AEREA scala 1:2.000



### LEGENDA:

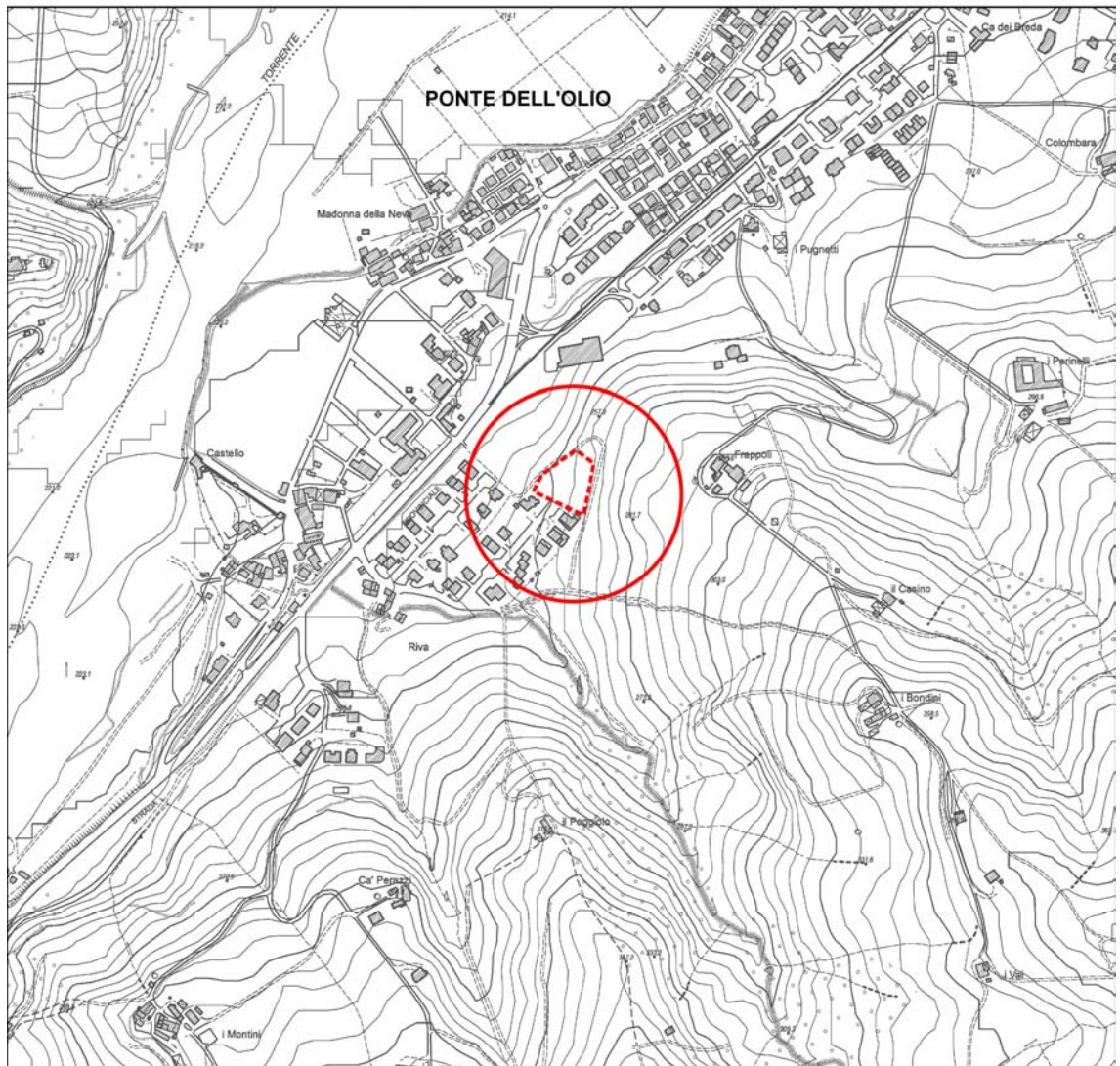


Area in studio



*Foto aerea dell'area in studio*

## INQUADRAMENTO TERRITORIALE scala 1:10.000



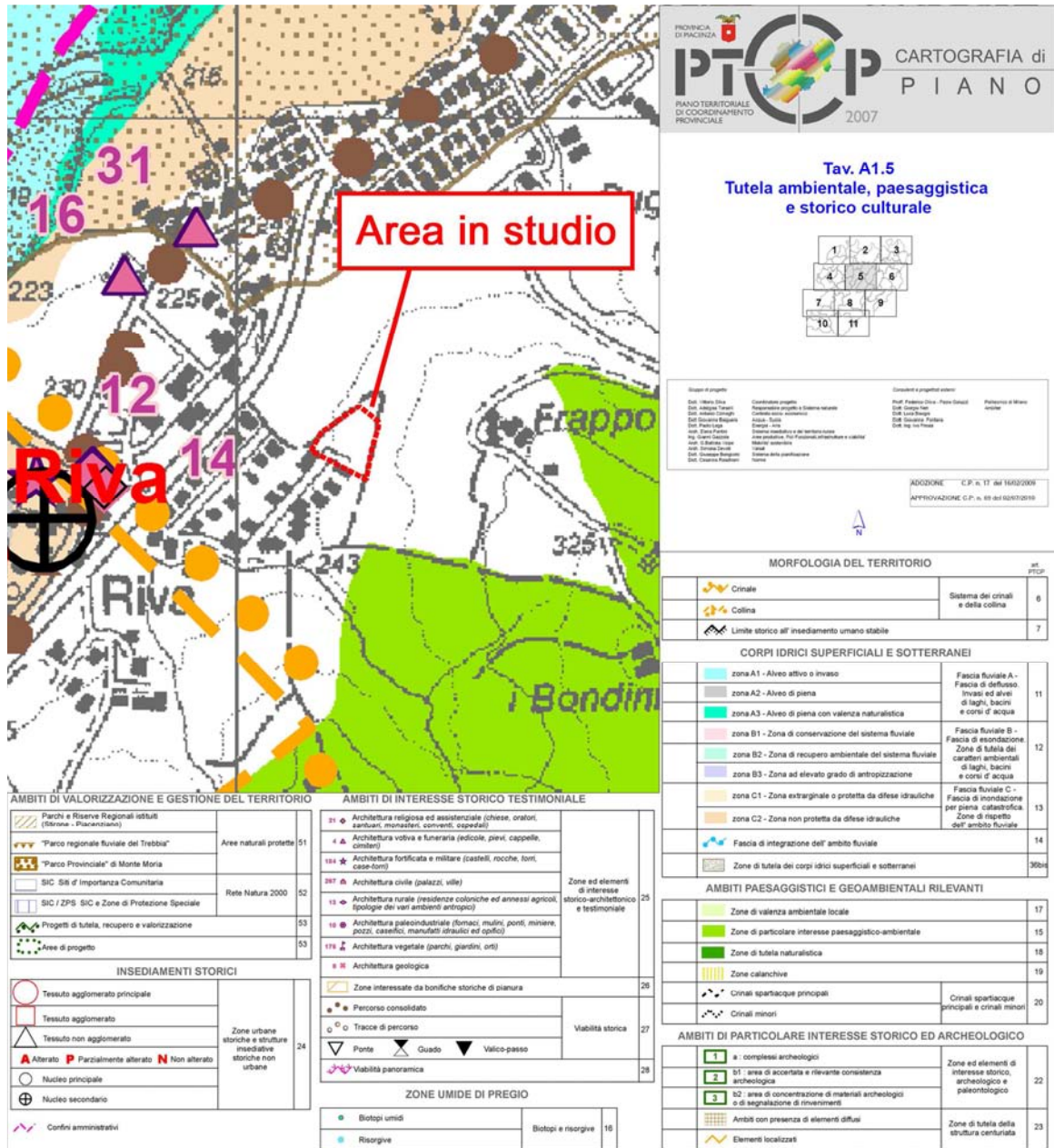
### LEGENDA:



Area in studio

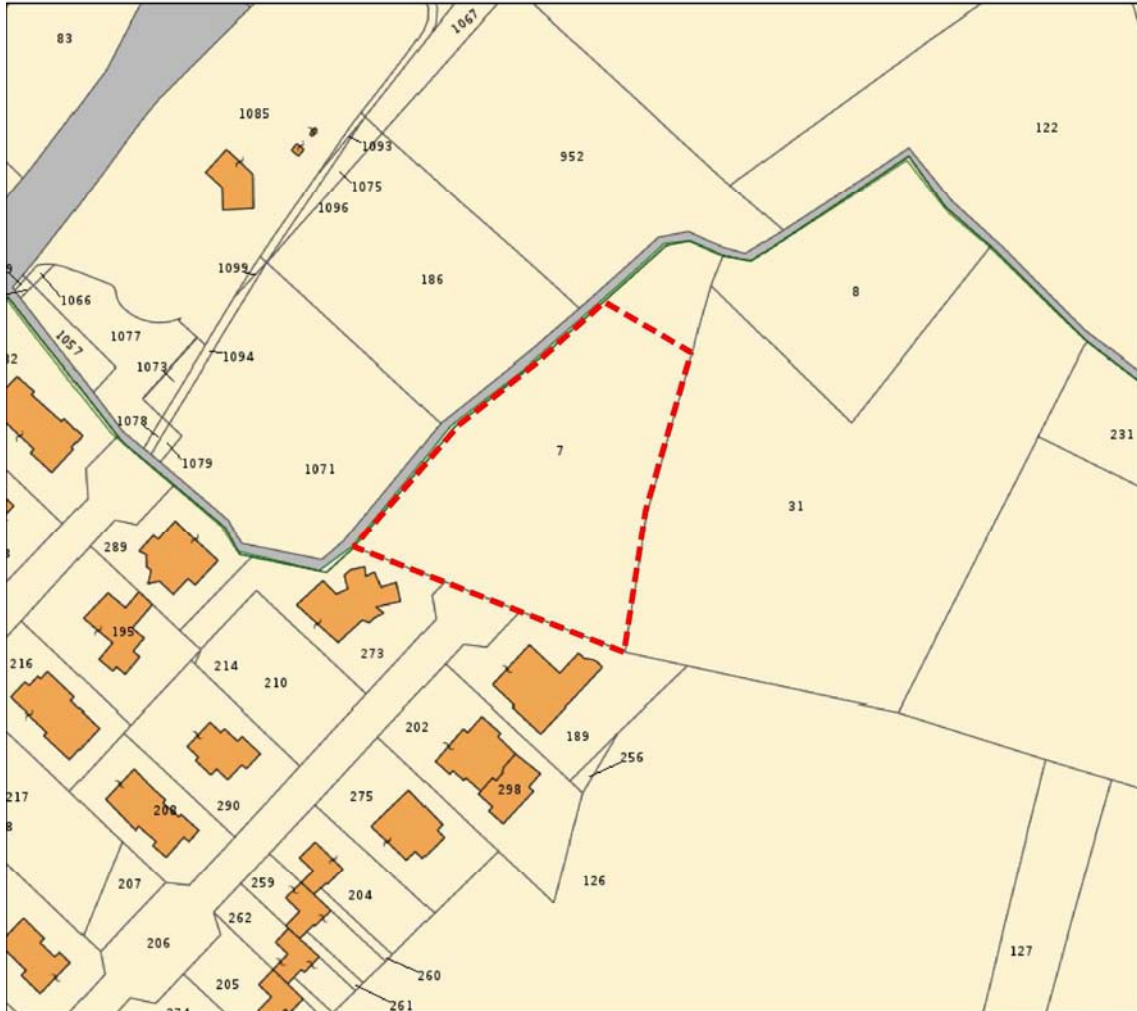


*Stralcio carta tecnica Regionale*



Stralcio Tav. A1.5 "Tutela ambientale, paesaggistica e storico culturale" del PTCP vigente

## PLANIMETRIA CATASTALE scala 1:2.000



### LEGENDA:



Area in studio  
(Comune di Ponte dell'Olio, F.11 Mappale 7 parte)



*Stralcio planimetria catastale*

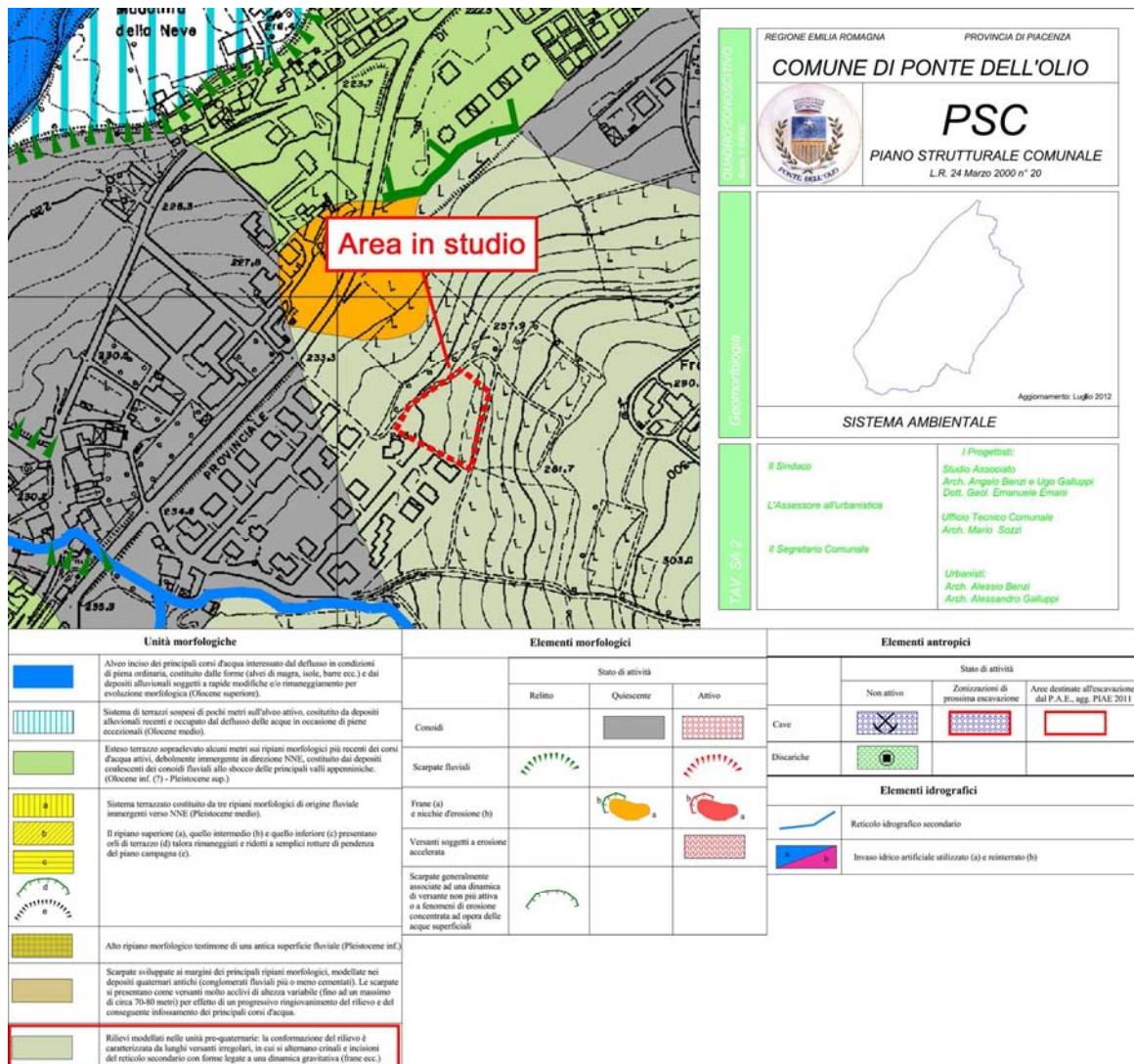
## INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### Condizioni geomorfologiche e geolitologiche

L'area in esame è situata a mezza costa sul versante in destra orografica il T.Nure che sovrasta la strada provinciale 654r e si sviluppa con una forma in pianta quasi triangolare, sul prolungamento verso Nord-Est di una zona residenziale di più o meno recente realizzazione dell'abitato di Riva.

L'area giace ad una quota compresa tra m 245 e m 260 s.lm. e presenta una pendenza regolare intorno al 20%: vi corrisponde un'inclinazione prossima a 11°.

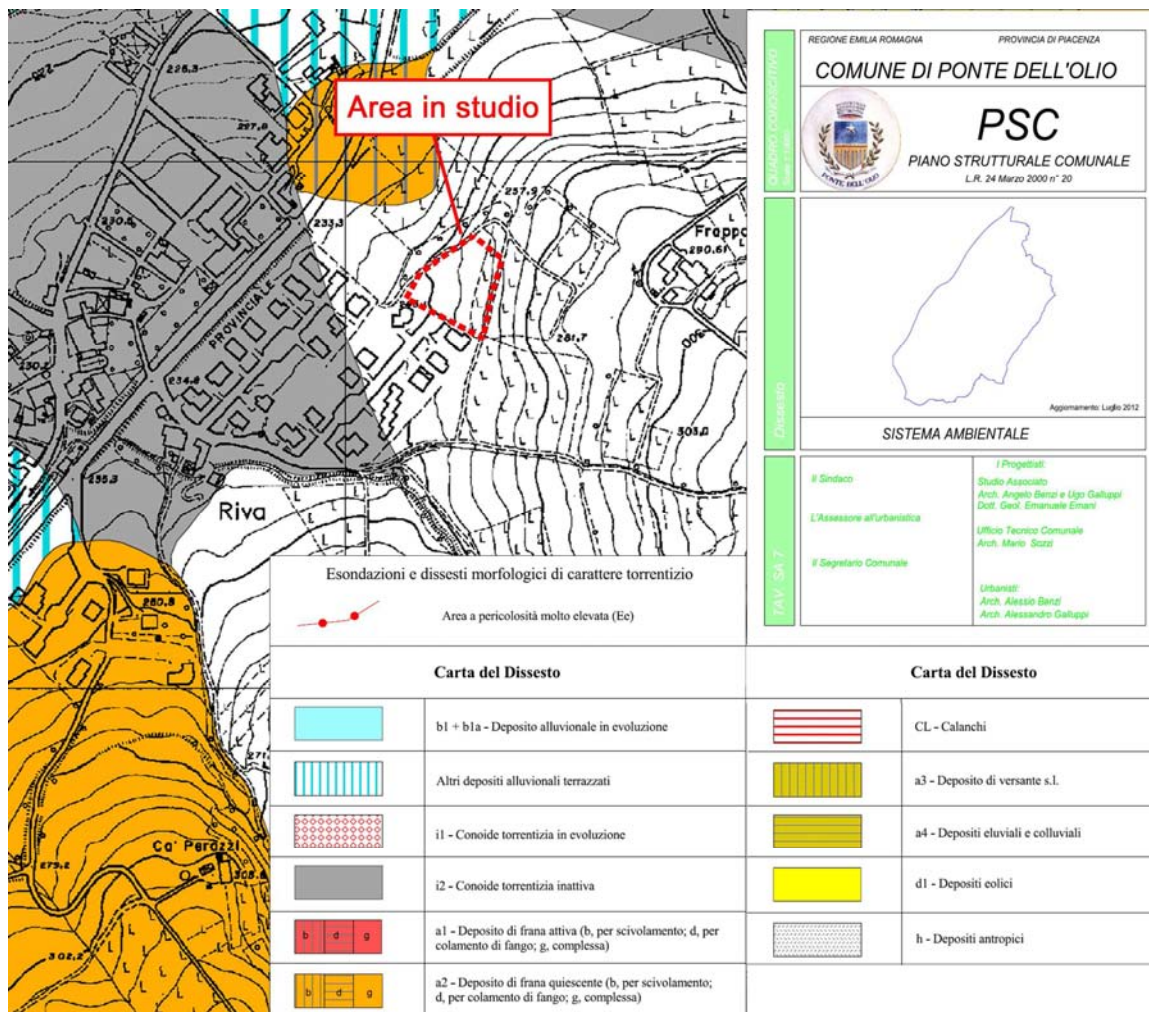
I sopralluoghi eseguiti hanno permesso di verificare come non vi sia evidenza di particolari forme di dissesto, come per altro confermano la Tav. SA.2 "Carta geomorfologica" e "Carta del dissesto" Tav. SA.07 a corredo del PSC.



Stralcio Tav. SA.2 "carta geomorfologica" a corredo del PSC vigente



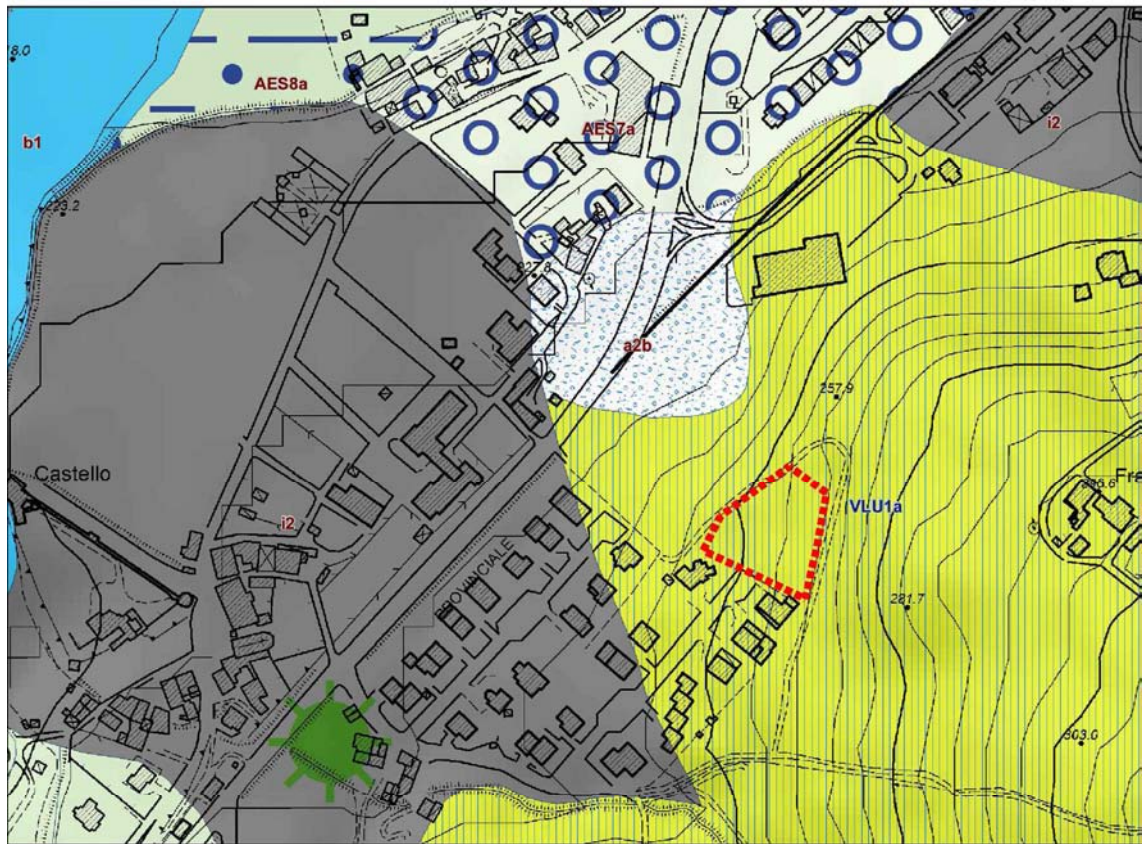
**Ambito residenziale R11**  
 "RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA"




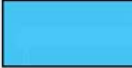




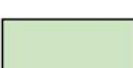


Stralcio Tav. SA\_07 "Carta del dissesto" a corredo del PSC vigente

Il substrato geolitologico è rappresentato dai depositi del Paleocene-Eocene Inf. appartenenti ai depositi del Flysch di Val Luretta e precisamente al Membro di Poviago (VLU1a); trattasi di sequenze torbiditytiche arenaceo-pelittiche in strati medi e spessi e da marne e marne-siltose grigio-verdastre; tali sequenze sono di norma celate in superficie da una coltre di alterazione eluviale generalmente più spessa lungo i principali assi di compulvio.

**CARTA GEOLOGICA**  
 (tratta da Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna)  
 scala 1:5.000



**LEGENDA:**

	Area in studio		<b>b1</b> - Deposito alluvionale in evoluzione
	<b>VLU 1a</b> - Formazione della Val Luretta-membro di Poviago		<b>i2</b> - Conoide torrentizia inattiva
	<b>AES7a</b> - Unità di Niviano		Ghiaia - Piana alluvionale
	<b>AES8a</b> - Unità di Modena		Sabbia limoso argillosa - Piana alluvionale
	<b>a2b</b> - Deposito di frana quiescente per scivolamento		

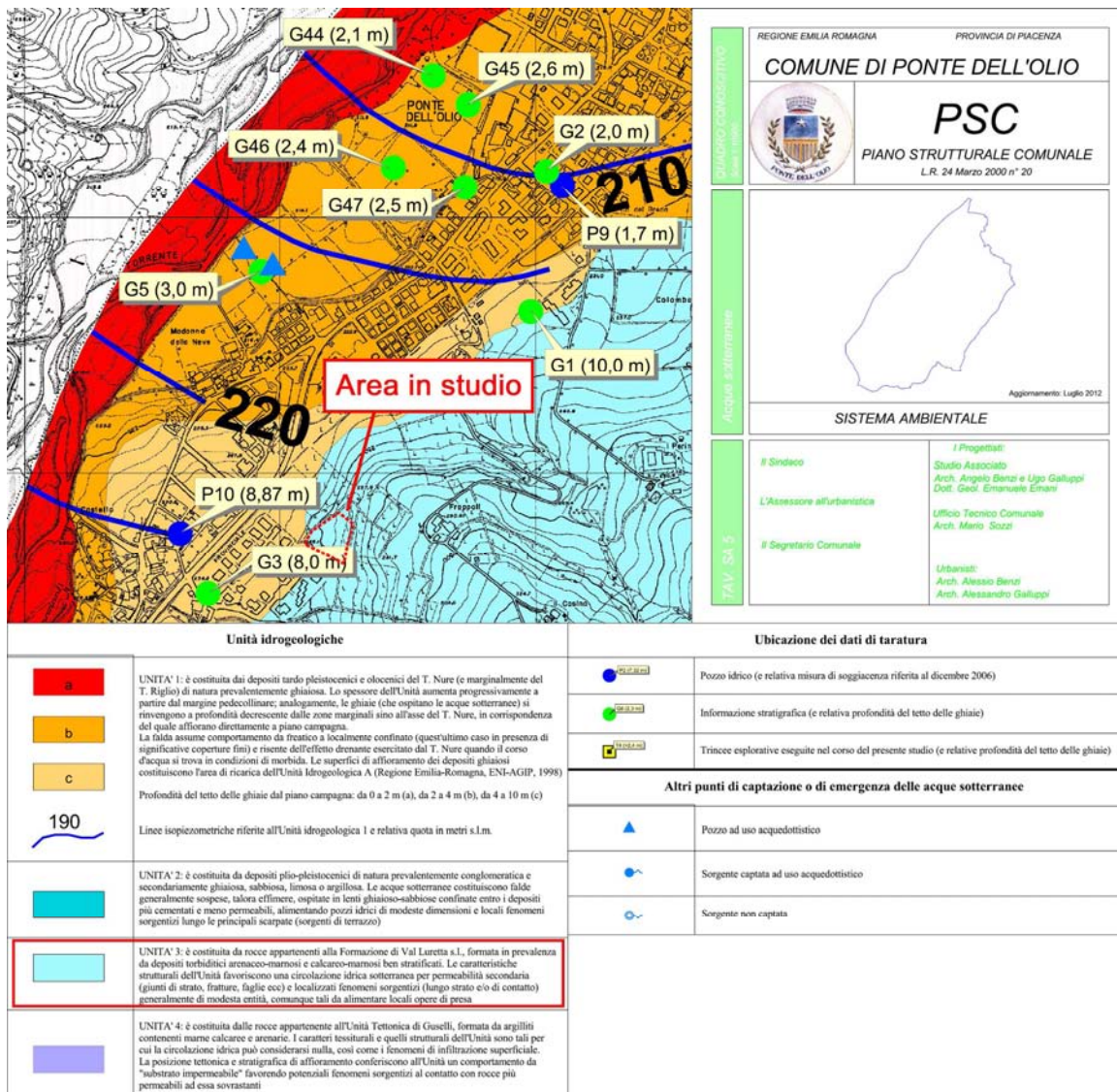


Stralcio carta geologica regionale

## Idrografia e condizioni idrogeologiche

L'area non è soggetta a rischio di sommersione per esondazione e/o per risalita dell'acqua di falda; il pendio si presenta ben drenato dai due rispettivi assi di compluvio naturale che lo delimitano sia a Nord-Est che a Sud-Ovest, peraltro lungi dall'area in esame.

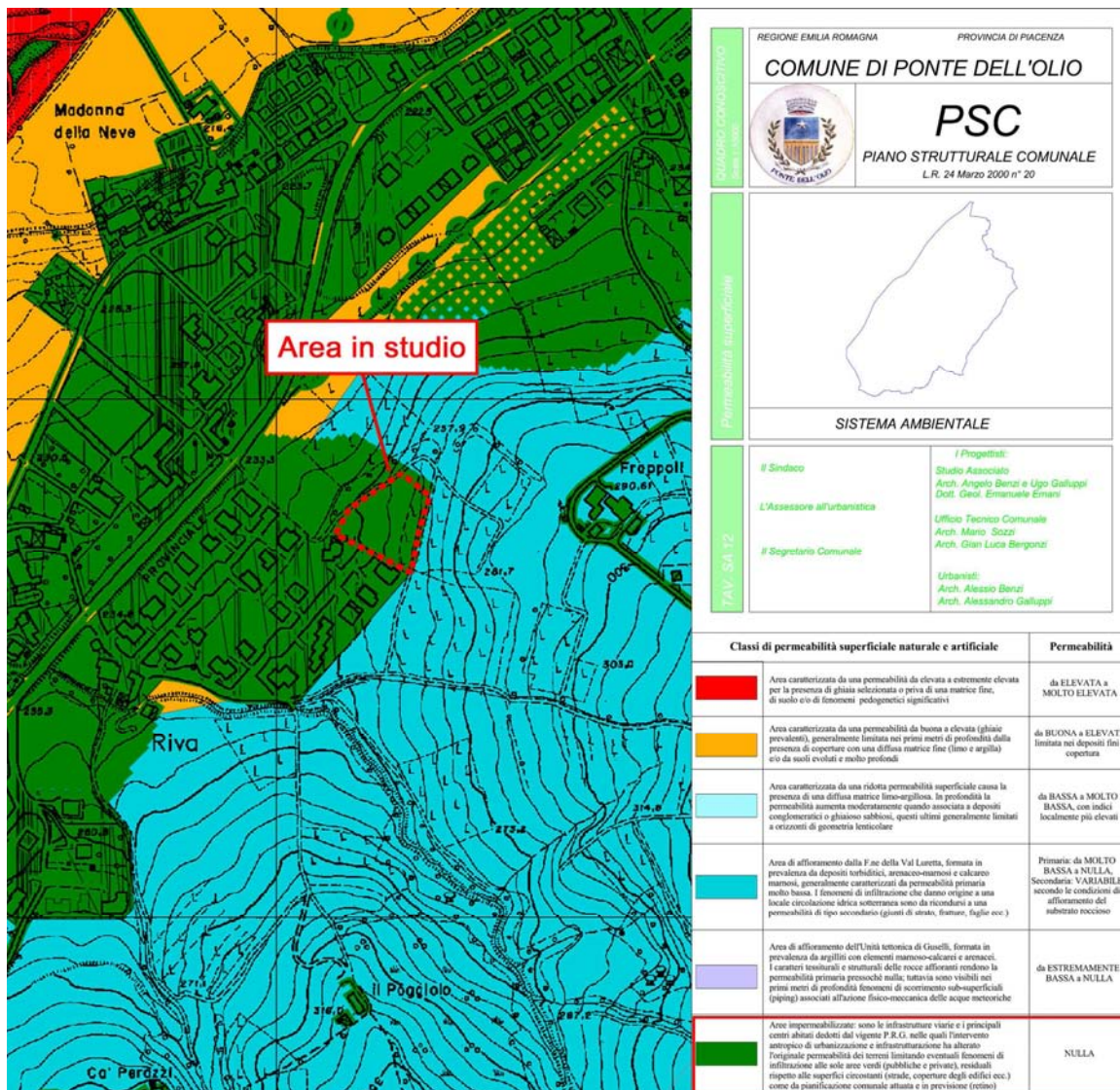
La circolazione idrica sotterranea è scarsa ed avviene per permeabilità secondaria ovvero per fratturazione.



Stralcio Tav. SA\_05 “carta idrogeologica” del PSC

La zona in esame è ascritta all'Unità idrogeologica n.3 (cfr. carta idrogeologica del PSC comunale), caratterizzata da una permeabilità primaria da “molto bassa” a “nulla” (cfr. Tav. SA.12 “permeabilità superficiale” del PSC). Si evidenzia che in tale cartografia l'area viene già considerata come già “urbanizzata” e quindi a permeabilità “nulla”.

**Ambito residenziale R11**  
 "RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA"



Stralcio Tav. SA\_12 "carta della permeabilità" del PSC comunale

## **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Al fine della caratterizzazione geotecnica del sottosuolo nel giugno c.a., si sono eseguite n.2 prove penetrometriche statiche CPT, mentre per quanto riguarda la classificazione del suolo sismico e per la determinazione della frequenza di risonanza fondamentale del terreno, si è provveduto all'esecuzione di una prova HVSR.

Preso atto dei risultati della prova sismica eseguita e delle discrepanze con quanto riportato nella documentazione a corredo del PSC lo scrivente a ritenuto di eseguire una ulteriore prova HVSR nell'ottobre 2022.

Le prove in sito sono state costantemente visionate dallo scrivente che ne ha diretto l'esecuzione, verificandone le corrette modalità esecutive nel rispetto delle specifiche tecniche. L'ubicazione delle indagini è meglio identificata sulla "Carta delle indagini geognostiche" di seguito riportata.

### **Prove penetrometriche statiche CPT**

Le prove sono state condotte con penetrometro tipo GOUDA da 10 tonn attrezzato con punta meccanica, le cui caratteristiche standard (a Norme A.G.I.) sono:

- lunghezza aste 1 m
- peso fisso "esterno" 10 kg
- peso totale aste 6.5 kg/m
- peso aste interne 1.38 kg/m
- velocità di avanzamento costante  $V=2$  cm/sec ( $\pm 0.5$  cm/sec)

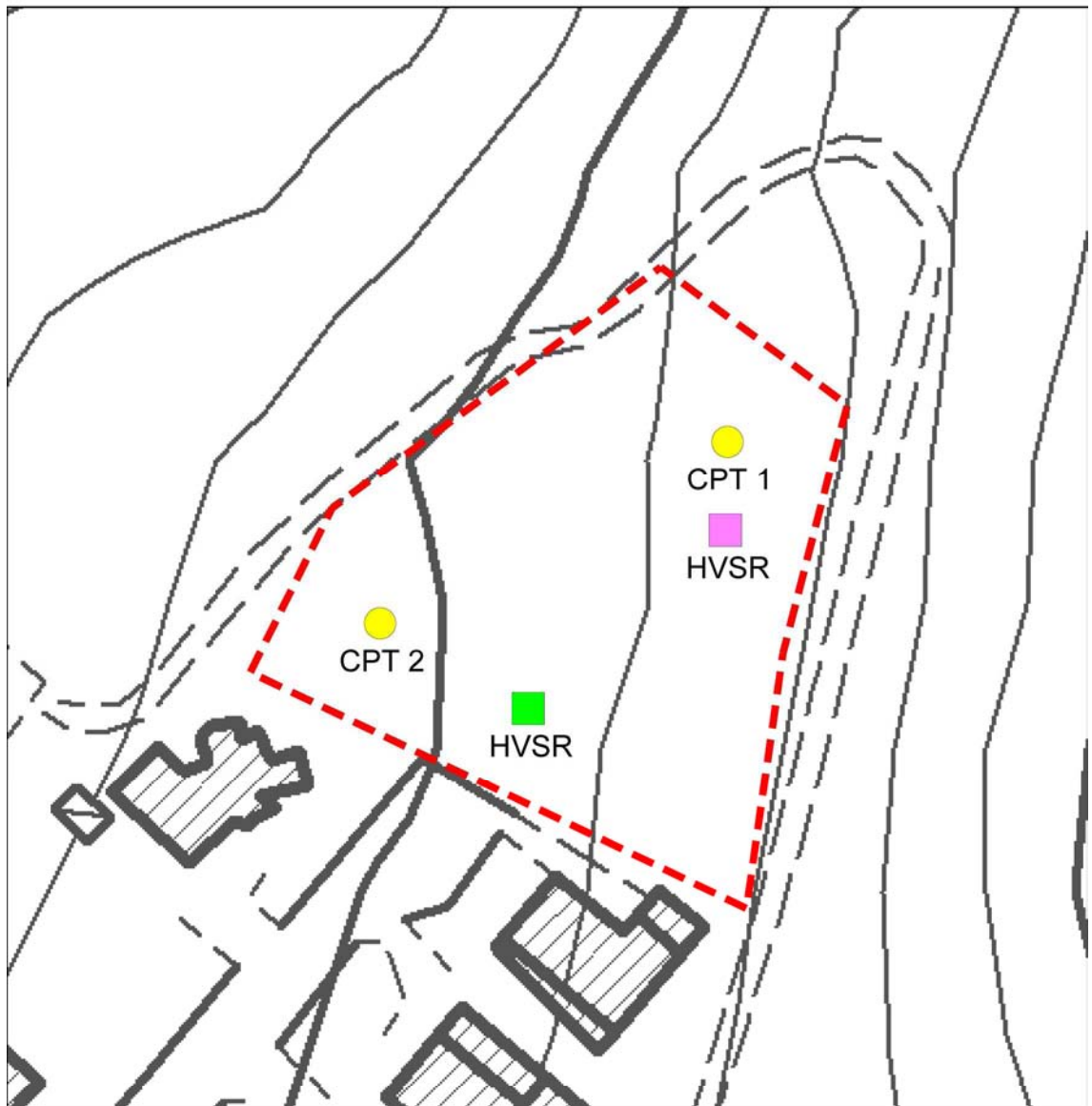
Le dimensioni punta/manicotto "Begemann"(ISSMFE 1974) sono:

- diametro di base del cono:  $\varnothing = 35.7$  mm
- area della punta conica:  $A_p = 10$  cmq
- angolo apertura del cono:  $\beta = 60^\circ$
- superficie laterale manicotto:  $A_m = 150$  cmq
- lunghezza manicotto:  $h = 133$  mm
- diametro del manicotto:  $\varnothing = 35.7$  mm

La prova penetrometrica statica CPT con punta meccanica consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v=2$  cm/s  $\pm 0.5$  cm/s); la penetrazione avviene con un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste (esterne cave e interne piene coassiali) La prova penetrometrica statica CPT con punta meccanica consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v=2$  cm/s  $\pm 0.5$  cm/s ); la penetrazione avviene con un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste (esterne cave e interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta; lo sforzo necessario per

## UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

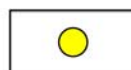
scala 1:1.000



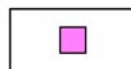
**LEGENDA:**



Area in studio



Prove penetrometriche CPT  
(Giugno 2022)



Indagine sismica HVSR  
(Giugno 2022)



Indagine sismica HVSR  
(Ottobre 2022)



l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico: la punta conica (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto laterale (punta/manicotto tipo "Begemann").

Nel corso della prova si rilevano, ogni 20 cm, le seguenti letture manometriche:

- L1 = resistenza richiesta per l'avanzamento della sola punta penetrometrica (di sezione conica standard pari a 10 cmq.);
- L2 = corrispondente alla resistenza dovuta al successivo avanzamento della punta e del manicotto (di superficie laterale standard pari a 150 cmq).



*Fasi dell'esecuzione della prova penetrometrica CPT1*

Risulta quindi:

- resistenza unitaria di punta:  $q_c = L1 / 150 \text{ kg/cmq}$
- resistenza unitaria laterale:  $f_s = 10 \times (L1 - L2) / 150 \text{ kg/cmq}$

I valori unitari della resistenza di punta  $q_c$  sono stati normalizzati ai valori  $q_{c1N}$  con la relazione (cfr. ROBERTSON & WRIDE, 1998):

$$q_{c1N} = CQ \times (q_c/Pa)$$

$$\text{ove } Pa = 1 \text{ atm}$$

$CQ = (Pa/\sigma'_{vo})^n$  essendo  $\sigma'_{vo}$  la pressione geostatica effettiva alla profondità di prova, ed  $n$  un coefficiente che varia (cfr. OLSEN, 1997) da 0,5 (per terreni granulari) a 1,0 (per terreni ricchi di fine argilloso).

Il valore di  $q_{c1n}$  viene quindi definito con procedimento iterativo, assumendo un valore iniziale  $n=1,0$  in base al quale vengono calcolati i parametri:

$$Q = ((q_c - \sigma'_{vo})/Pa) \times ((Pa/\sigma'_{vo})^n)$$

$$F = (f_s/(q_c - \sigma'_{vo})) \times 100\%$$

$$I_c = ((3,47 - \log(Q))^2 + (1,22 + \log(F))^2)^{0,5}$$

In base ai summenzionati parametri si determina quindi, con l'allegato abaco di ROBERTSON, la granulometria del terreno indagato (procedendo, se del caso, ad una successiva rivalutazione di  $q_{c1N}$  e dei parametri medesimi).

I valori di  $q_{c1N}$  sono stati quindi corretti a quelli equivalenti per sabbia pulita:

$q_{c1n\ CS} = K_c \times q_{c1N}$  ove:

$K_c = 1,0$  per  $I_c \leq 1,64$

$K_c = -0,403 \times (I_c)^4 + 5,581 \times (I_c)^3 - 21,63 \times (I_c)^2 + 33,75 \times I_c - 17,88$  per  $I_c > 1,64$

## Risultanze

In base ai diagrammi delle prove, al di sotto di 1,2m circa di materiale terroso sciolto (che costituisce l'aerato e la coltre rimaneggiata dagli atmosferici e dalle attività agricole), il sottosuolo fino a 6,8 m di profondità in P1 e m 7,6 in P2, è costituito da prevalenti litologie argillose, caratterizzate da soddisfacenti valori di resistenza all'avanzamento della punta penetrometrica ( $q_c = 20-46$  kg/cmq), cui seguono depositi prevalentemente marnosi e calcareo-marnosi di elevata resistenza ( $q_c > 100$  kg/cmq), entro cui entrambe le prove statiche hanno ben presto raggiunto il rifiuto all'infissione; il foro di prova si è rivelato del tutto anidro.



*Fasi dell'esecuzione della prova penetrometrica CPT2*



## Indagine sismica passiva HVSr (Giugno 2022)

Per la determinazione della frequenza caratteristica del sito è stata eseguita una prova sismica passiva a stazione singola; la tecnica HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali<sup>2</sup> sia all'azione antropica<sup>3</sup>.

E' stato utilizzato un tromografo "ECHO TROMO-3" (Ambrogeo®) dotato di geofono tridirezionale frequenza propria 4,5Hz; in particolare è stata eseguita n.1 misurazione, lungo la verticale in corrispondenza del punto dell'indagine penetrometrica CPT1 con frequenza di campionamento pari a 157 Hz .



*Tromografo in fase di misura*

Le rilevazioni sismiche sono state confrontate ed "ancorate" ai valori di resistenza riferiti all'avanzamento della punta nella prova penetrometrica, in modo tale da calibrare il profilo nei primi metri di suolo e poterne estrapolare le caratteristiche a profondità maggiori.

<sup>2</sup> moto ondoso, perturbazioni atmosferiche ecc...

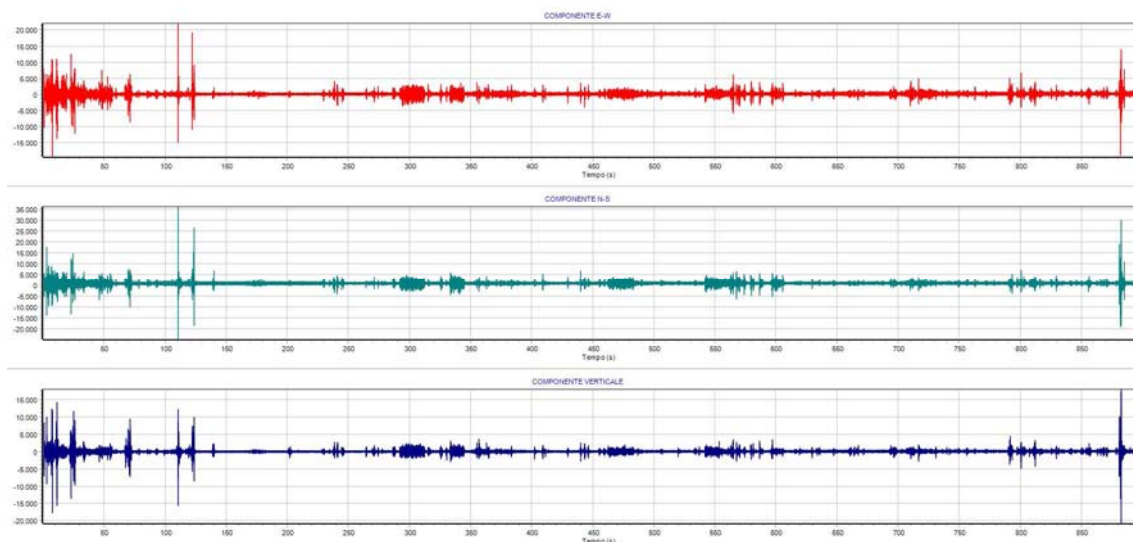
<sup>3</sup> traffico veicolare, macchinari, ecc..

Successivamente i dati relativi alla misura sono stati elaborati tramite il software dedicato "Geo HVSR" ver. 1.3 prodotto da ProgramGeo di Carpenedolo (BS) con un processing che ha valutato l'affidabilità della curva ricavata, verificando se fossero rispettati i criteri riportati nelle linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Di seguito si riportano i risultati della rilevazione sismica effettuata in corrispondenza della prova penetrometrica eseguita.

Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V, fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno.

Analizzando il risultato della prova emerge come la frequenza di vibrazione principale del terreno, nell'intervallo di frequenze compreso fra 1 Hz e 10Hz, si collochi a 0.42 Hz.



*Record sismici nelle tre componenti spaziali*

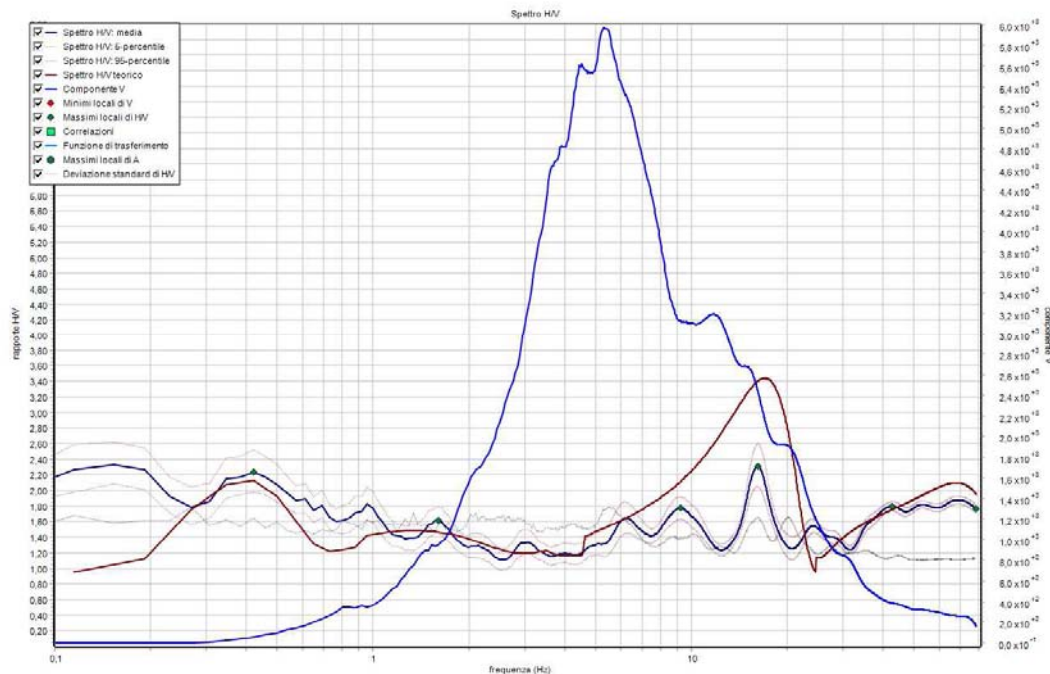
Frequenza (Hz)	Ampiezza	$K_g$
<b>0.42</b>	<b>2.23</b>	<b>11.81</b>
1.61	1.61	1.62
9.28	1.77	0.34
16.18	2.31	0.33
42.78	1.8	0.08
78.5	1.76	0.04

*Parametri picchi stratigrafici da spettro H/V*

L'indice di vulnerabilità del sito ( $K_g$ ) viene calcolato facendo riferimento ai soli picchi stratigrafici dello spettro H/V posti a frequenze inferiori o prossime a 10 Hz, in quanto quelli presenti a frequenze superiori non sono significativi dal punto di vista della vulnerabilità sismica. Nel caso in esame il piccho H/V stratigrafico individuato ha fornito

un valore massimo di Kg uguale a 11.8. Il sito può essere perciò classificato come a media pericolosità sismica locale.

La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati.



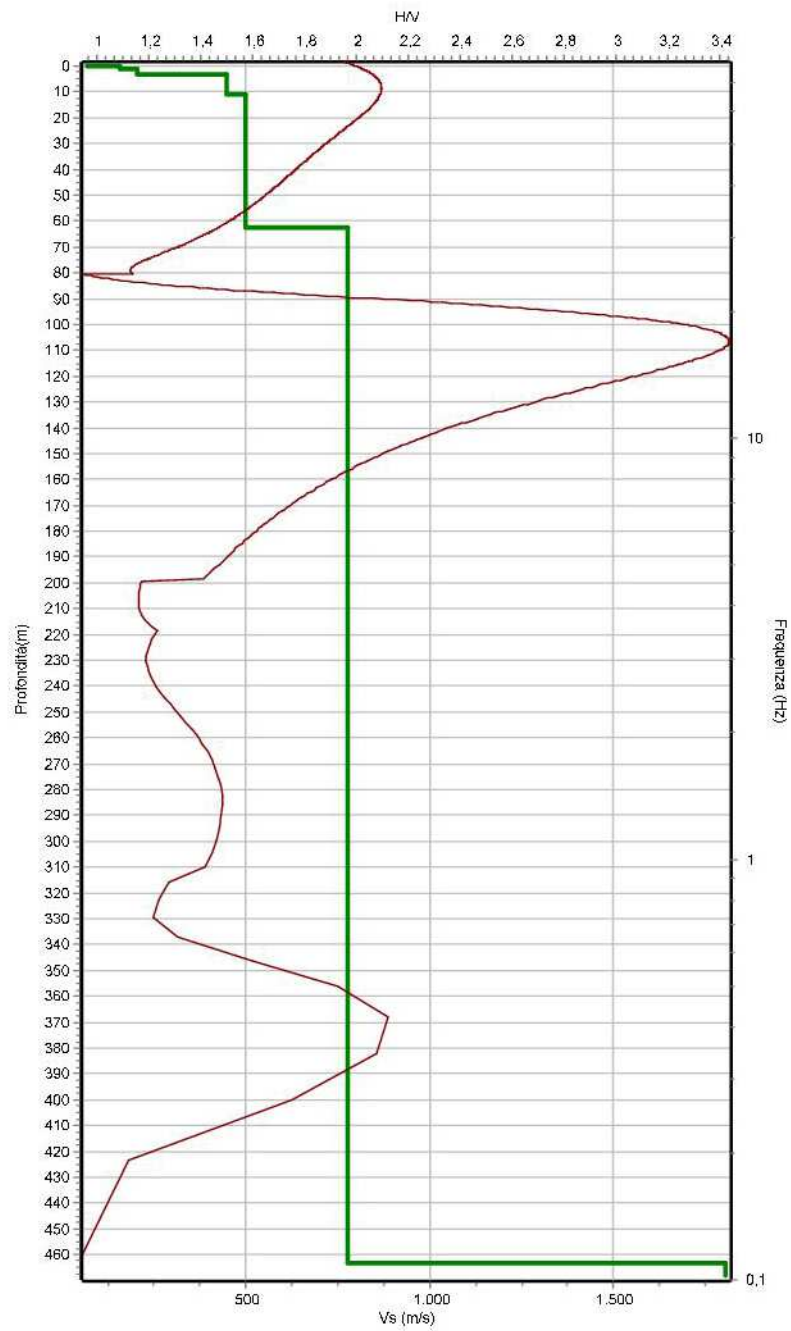
Confronto fra la curva H/V sperimentale e quella teorica

L'inversione vincolata dello spettro H/V ha consentito altresì di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità.

Profondità da (m) a (m)		$\Delta z$ (m)	$V_s$ (m/s)	Inversioni di velocità
0.0	0.22	0.22	70	-
0.22	0.94	0.72	161	-
0.94	3.21	2.27	208	-
3.21	10.8	7.59	450	-
10.8	62.57	51.77	500	-
62.57	463.09	400.52	778	-

Modello sismico del sottosuolo desunto dalla prova

La prova di tipo sismico passivo ha messo in luce che il valore di  $V_{s30}$ , riferito al p.c., è pari a 406.5 m/s, valore che pone il sito nella categoria di sottosuolo B secondo il D.M. 17.01.2018.

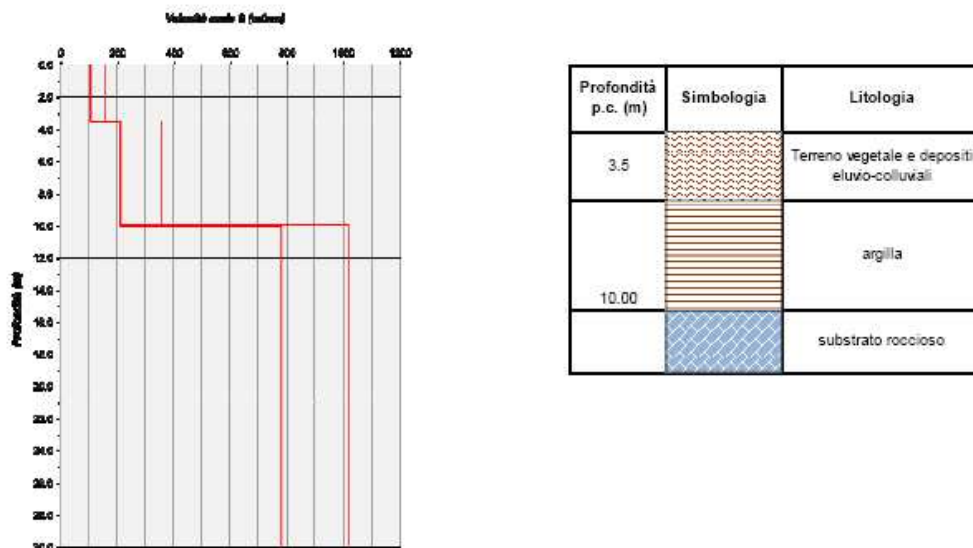


— Vs media    — Spettro HV teorico

**Classe sito: B - Vseq.(m/s)= 406,5**

### Stendimento sismico MASW da "Microzonazione sismica 2012" del PSC

In base ad una indagine geofisica pregressa con la metodologia Masw, contenuta nello studio di Microzonazione del PSC, il "modello sismico di riferimento" per l'area in studio ha rivelato la presenza del bed-rock ( $V_s > 800 \text{ m/s}$ ) alla profondità di 10 m.



*Risultanze MASW a corredo della Microzonazione sismica*

Si sottolinea che, come di precedentemente illustrato, nel corso della prova HVSR eseguita nel giugno 2022 si è avuta la conferma dello spessore della coltre di copertura e della profondità del substrato roccioso (circa 10 m); in merito alla velocità il substrato ha, presentato entro i trenta metri,  $V_s$  molto inferiori a  $800 \text{ m/s}$ . Il bed-rock sismico con  $V_s > 800 \text{ m/s}$  giace a profondità maggiore (oltre 50m).

Ciò premesso lo scrivente ha ritenuto nell'ottobre 2022 di eseguire una ulteriore prova HVSR di verifica che come di seguito riportato ha dato le medesime risultanze.

Sarà quindi opportuno in fase esecutiva verificare con ulteriori indagini questa evidente discrepanza fra i valori riscontrati.

**Indagine sismica passiva HVSR (Ottobre 2022)**

Anche per questa ulteriore prova è stato utilizzato un tromografo "ECHO TROMO-3" (Ambrogeo®) dotato di geofono tridirezionale frequenza propria 4,5Hz; in particolare è stata eseguita n.1 misurazione, lungo la verticale nei pressi del punto dell'indagine penetrometrica CPT2 con frequenza di campionamento pari a 157 Hz .



*Tromografo in fase di misura*

Di seguito si riportano i risultati della ulteriore rilevazione sismica effettuata in corrispondenza della prova penetrometrica CPT2.

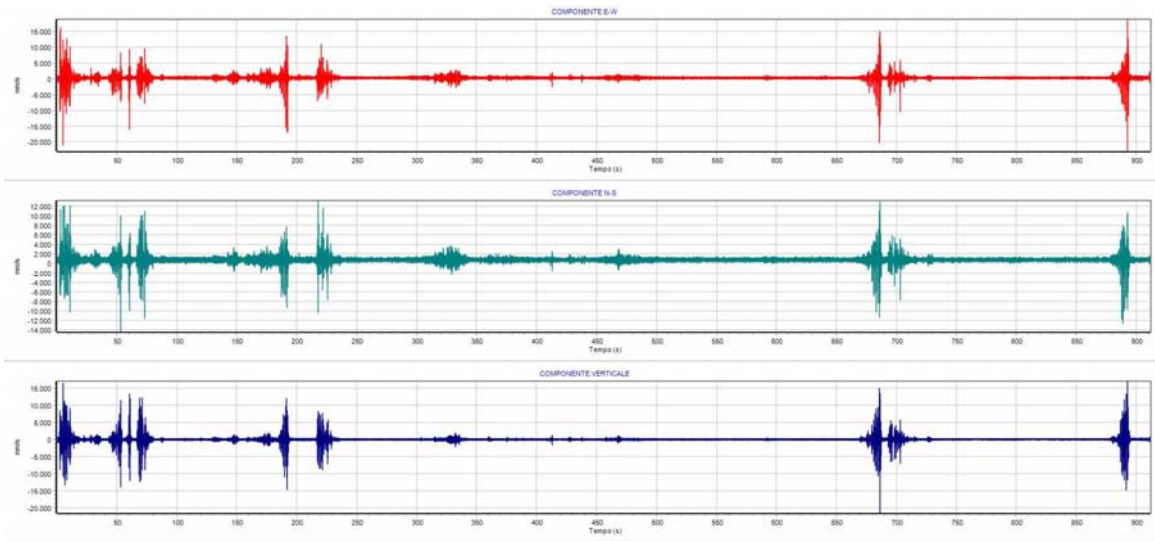
Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V, fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno.

Analizzando il risultato della prova emerge come la frequenza di vibrazione principale del terreno, nell'intervallo di frequenze compreso fra 1 Hz e 10Hz, si collochi a 2.4 Hz.

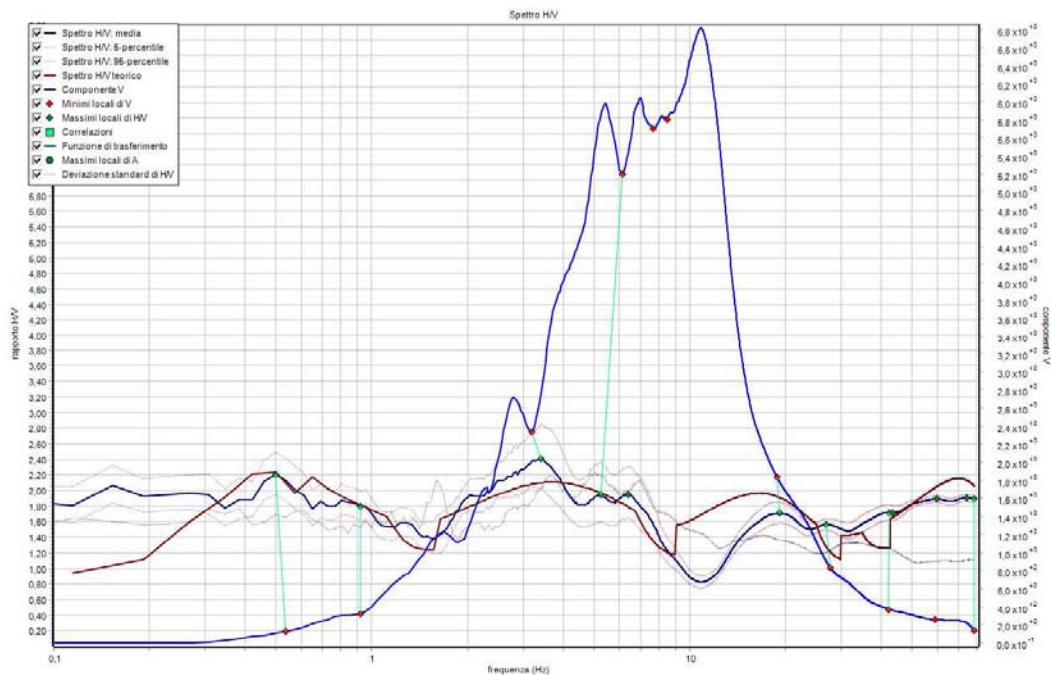
Frequenza (Hz)	Ampiezza	$K_g$
<b>0.5</b>	2.2	<b>9.74</b>
0.92	1.79	3.49
3.41	<b>2.4</b>	1.69
5.25	1.94	0.72
19.17	1.71	0.15
26.83	1.56	0.09
42.51	1.72	0.07

*Parametri picchi stratigrafici da spettro H/V*

**Ambito residenziale R11**  
**“RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA”**



*Record sismici nelle tre componenti spaziali*



*Confronto fra la curva H/V sperimentale e quella teorica*

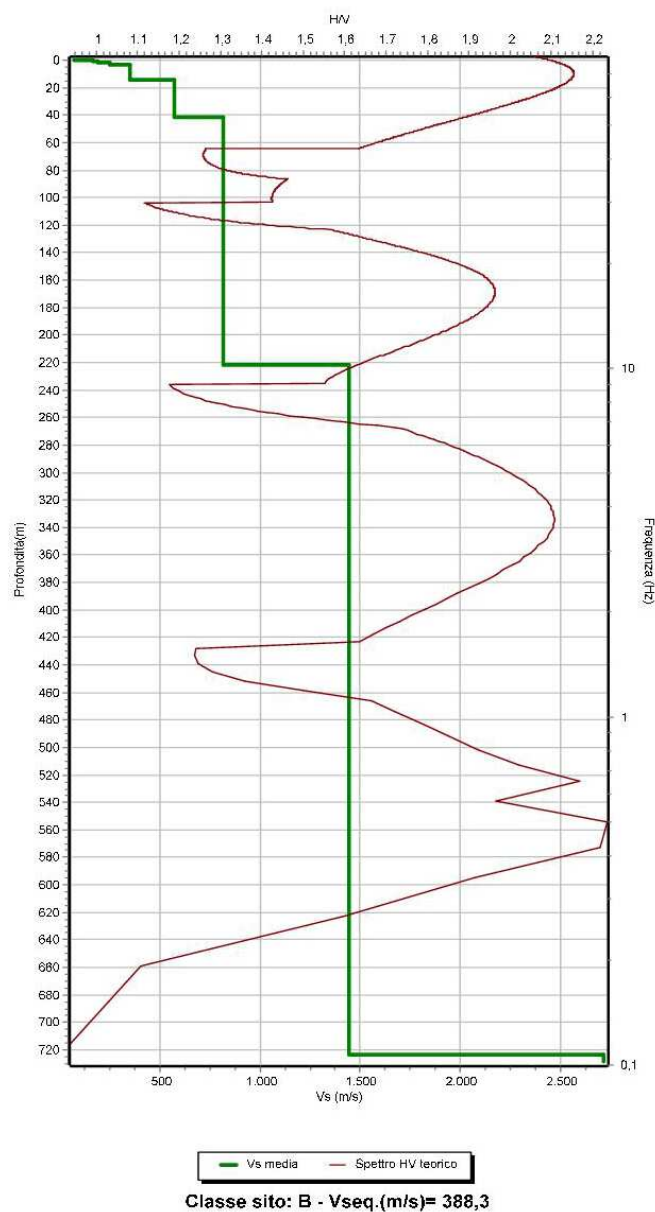
Nel caso in esame il picco H/V stratigrafico individuato ha fornito un valore massimo di Kg uguale a 9.74. Il sito può essere perciò classificato come a media pericolosità sismica locale.

La nuova prova di tipo sismico passivo eseguita ha riconfermato che la categoria di suolo sismico dell'area è la B ( $V_{s30}=388,3$  m/s).

**Ambito residenziale R11**  
 "RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA"

Profondità da (m) a (m)		$\Delta z$ (m)	Vs (m/s)	Inversioni di velocità
0.0	0.22	0.22	70	-
0.22	0.96	0.74	164	-
0.96	1.78	0.82	192	-
1.78	3.32	1.54	250	-
3.32	14.57	11.25	350	-
14.57	41.86	27.29	571	-
41.86	221.74	179.88	816	-
221.74	723.5	501.76	1447	-

Modello sismico del sottosuolo desunto dalla prova





## **CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO**

### **Parametri geotecnici desunti dalle prove CPT**

I valori della resistenza di punta  $q_c$  e della resistenza laterale unitaria  $f_s$  e quelli dei parametri da essi derivati con le relazioni di ROBERTSON 2012 possono essere empiricamente correlati, oltreché alla granulometria, anche ad alcune delle caratteristiche geotecniche del terreno indagato.

I dati ricavati da tali correlazioni sono riportati nelle allegate schede redatte per ciascuna prova CPT, ove si sono altresì riportati i valori medi di  $q_c$  ed  $f_s$  relativi ad ogni strato omogeneo individuato.

Il peso di volume totale è stato stimato con la relazione (GREGG: "Guide to cone penetration testing" 2010):

$$\gamma = 0,27 \times \log(R_f) + 0,36 \times \log(q_c/P_a)$$

ove:  $R_f = 100 \times f_s / q_c$  e  $P_a$  = pressione atmosferica alla quota di prova.

Tale parametro corrisponde al peso di volume naturale sopra falda ed a quello saturo in falda; il peso di volume in falda va calcolato con la relazione:

$$\gamma = \gamma_{sat} - u_o$$

essendo  $u_o$  la pressione idrostatica alla profondità considerata, mentre il peso di volume immerso vale invece:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - 1$$

Gli orizzonti sabbiosi e limo-sabbiosi (che in base a ROBERTSON, 2012 corrispondono ai terreni caratterizzati da  $I_c < 2,6$ ) sono assimilabili a mezzi incoerenti od attritivi, quelli limo-argillosi a mezzi coesivi.

La densità relativa degli orizzonti incoerenti è stata valutata con la relazione empirica (GREGG, 2010):

$$D_r \% = 100 \times (Q_{tn}/350)^{0,5}$$

L'angolo d'attrito drenato di picco  $\phi_p$  di tali terreni è stimato con la relazione (GREGG, 2010):

$$\phi_p = 17,6^\circ + 11 \times \log(Q_{tn})$$

mentre il loro angolo d'attrito drenato residuo (a volume costante)  $\phi_{cv}$ , cui è opportuno riferirsi per il calcolo del carico limite di fondazioni dirette, è stato stimato in funzione di  $\phi_p$  con la relazione (ROBERTSON 2012):

$$\phi_{cv} = \phi_p - 15,84 \times \log(Q_{tn}CS) + 26,88^\circ$$

Il modulo elastico dei terreni incoerenti è stato stimato con la relazione (ROBERTSON, 2012);

$$E' = 0,015 \times (q_c - \sigma_{vo}) \times 10^{(0,55 \times I_c + 0,68)}$$

Per quanto riguarda invece i terreni coesivi (cioè caratterizzati da  $I_c > 2,6$ ), la coesione non drenata  $c_u$  è stata valutata con la relazione (ROBERTSON, 2012):

$$c_u = (q_c - \sigma_{vo})/Nk$$

ove:  $Nk=10,5+7 \times \log(Fr)$  essendo  $\sigma_{vo}$  il carico geostatico totale.

L'angolo d'attrito drenato di picco  $\phi_{clay}$  dei terreni coesivi è stato stimato con la relazione empirica (MAYNE, 2001):

$$\phi_{clay} = \arcsen[2 \times c_u / (\sigma_{vo} \times OCR^{0,8})]$$

ove:

OCR è il grado di sovraconsolidazione dei terreni coesivi calcolato con la relazione (CSSM in ROBERTSON, 2012):

$$OCR = 0,25 \times (Qt1)^{1,2}$$

La sensitività  $St$  degli orizzonti limo-argillosi (cui corrisponde il rapporto tra i valori iniziale e residuo della coesione non drenata), è stata stimata con la correlazione empirica (suggerita da GREGG, 2010):

$$St = 7/Fr$$

che nel caso in esame resta ben inferiore a 2; vi corrispondono (in base alla classificazione di DAS riportata in "Advanced soil mech.", ISE 1985) terreni di bassa sensitività.

Il modulo edometrico è stato stimato con la relazione:

$E_{ed} = \alpha M \times (q_c - \sigma_{vo})$  assumendo (cfr. ROBERTSON, 2012):

- $\alpha M = 14$  se  $lc > 2,2$  e  $Qtn > 14$ ;
- $\alpha M = Qtn$  se  $lc > 2,2$  e  $Qtn < 14$ ;
- $\alpha M = 0,03 \times 10^{(0,55 \times lc + 1,68)}$  se  $lc < 2,2$

Il modulo di taglio a piccole deformazioni è calcolato con la relazione (ROBERTSON, 2012):

$$Go = 0,0188 \times (q_c - \sigma_{vo}) \times 10^{(0,55 \times lc + 1,68)}$$

Sempre in funzione di  $lc$  si è stimato il coeff. di permeabilità dei terreni indagati con le correlazioni empiriche (GREGG, 2010):

$$k \text{ (m/s)} = 10^{(0,952 - 3,04 \times lc)} \text{ se } 1 < lc < 3,27;$$

$$k \text{ (m/s)} = 10^{(-4,52 - 1,37 \times lc)} \text{ se } 3,27 < lc < 4$$

che risulta modesto non solo per le intercalazioni argillose, ma anche per quelli sabbiosi o limo-sabbiosi che sono evidentemente ricchi di frazione fine  $< 0,074$  mm.

Infine, la velocità di propagazione delle onde trasversali o di taglio  $V_s$  è stata calcolata con la relazione empirica (pure suggerita da ROBERTSON, 2012):

$$V_s \text{ (m/s)} = [10^{(1,68 + 0,55 \times lc)} \times Qtn]^{0,5}$$

che fornisce valori scadenti inferiori a 200 m/s negli strati superficiali, che ben concordano con quelli interpretati in base alla prova HVSR.

## Risultanze

Come illustrato nelle tabelle allegate, risulta che al di sotto della coltre superficiale limo-sabbiosa di 1,2 m di spessore, a comportamento meccanico incoerente, il sottosuolo è caratterizzato da un comportamento meccanico coesivo essendo costituito da prevalenti argille; in tali litologie, la resistenza al taglio, sul breve termine, è governata dalla coesione non drenata " $c_u$ " che resta compresa tra 1,0 e 2,7 kg/cmq; sul lungo termine l'angolo di attrito drenato " $\phi_{clay}$ " per tali litologie è risultato compreso tra 23° e 26°; il modulo edometrico  $E_{ed}$  varia e cresce con la profondità passando da 271 kg/cmq a 621 kg/cmq.

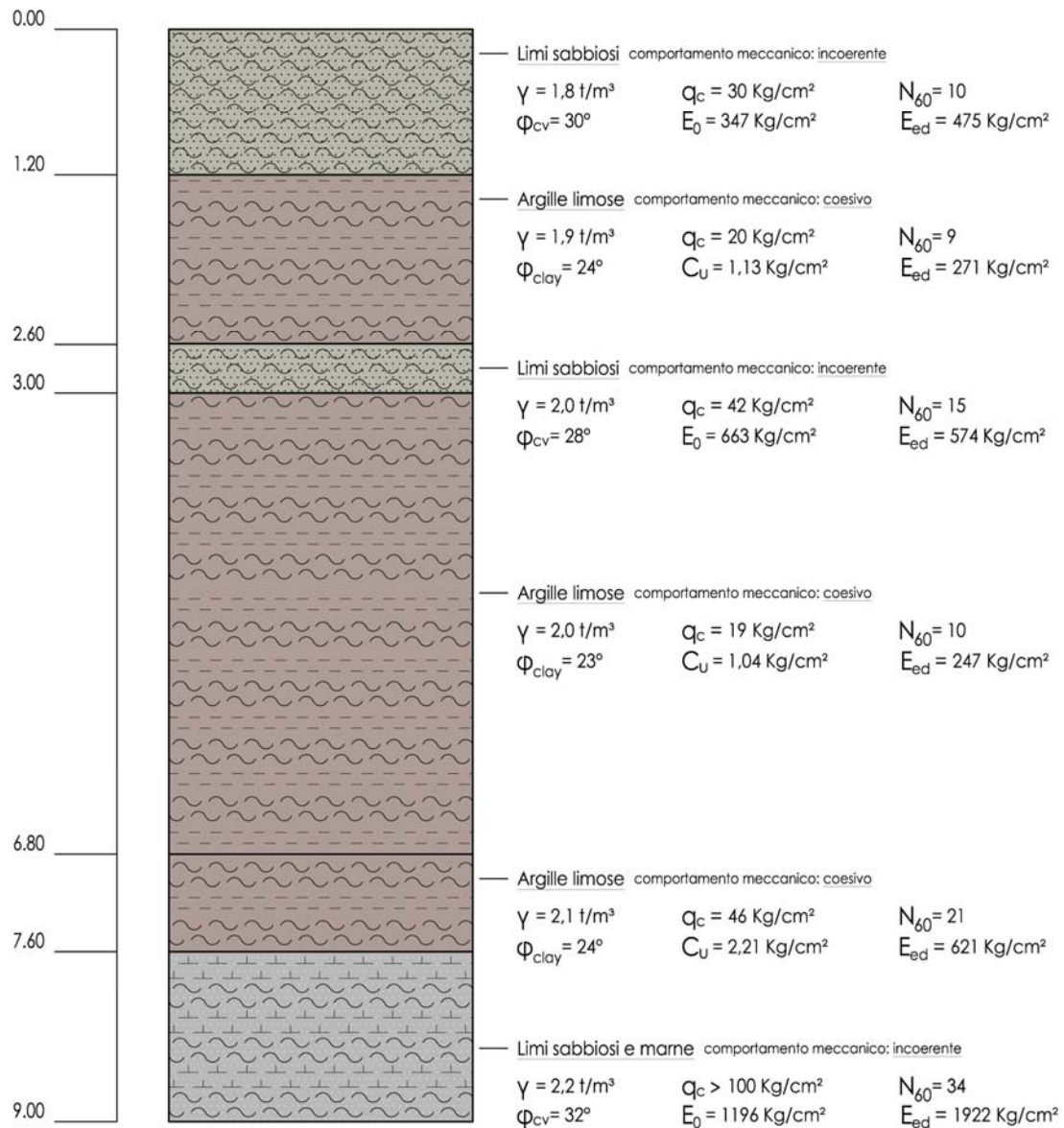
Ad una profondità variabile tra m 6,8 in P1 e m 7,6 in P2, è stato rinvenuto il basamento roccioso e marnoso resistente ( $q_c > 100$  kg/cmq) entro cui entrambe le prove hanno raggiunto il rifiuto all'infissione, rispettivamente a -8,0 m in P1 e -9,0 m in P2.

Detto substrato marnoso di elevata resistenza, è assimilabile ad un mezzo a comportamento meccanico incoerente, la cui resistenza al taglio è governata dall'angolo di attrito: il suo valore residuo (o a volume costante)  $\phi_{cv} = 32^\circ$ , con modulo edometrico  $E_{ed} = 1922/2187$  kg/cmq e modulo elastico  $E' = 1196/1444$  kg/cmq.

## MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Di seguito si riassumono i parametri caratteristici fisico/geotecnici del sottosuolo desunti dalle correlazioni utilizzate con riferimento alle prove CPT.

### MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO



#### Legenda

$\gamma$  = peso di volume naturale sopra falda  
 $\phi_{cv}$  = angolo di attrito a volume costante  
 $\phi_{clay}$  = angolo di attrito drenato di picco  
 $q_c$  = resistenza penetrometrica  
 $C_u$  = coesione non drenata  
 $E_{ed}$  = modulo edometrico  
 $E_0$  = modulo elastico  
 $N_{60}$  = valore normalizzato per rendimento  $E_r=60\%$

## SISMICITA'

### Risposta sismica locale (RSL)

La Tavola A4.5 "Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali" a corredo del PTCP indica come l'area in esame sia caratterizzata da una morfologia regolare, con copertura di spessore costante e acclività assai moderata, non interessata da fenomeni di instabilità e con stratificazione sub-orizzontale, tale per cui, in il modello geologico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale. Ciò premesso, come precedentemente segnalato, in base alle prove HVSR eseguite nell'area in esame, il substrato rigido con  $V_s > 800 \text{ m/s}$  giace a profondità dell'ordine di 40 - 50m fermo restando una copertura di una decina di metri di spessore su substrato "non rigido" essendo caratterizzato da  $V_s$  attorno a 500 m/s.; in tale situazione, l'area deve essere ascritta alla classe "B", ovvero ai "depositi detritici, alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato roccioso con  $V_{s30} < 800 \text{ m/s}$  e assimilati"



CLASSE	EFFETTI DI SITO					LIVELLO DI APPROFONDIMENTO (rif. Delib. A.L. n. 11/2007)
	amplificazione litologica	amplificazione topografica	instabilità di versante	cedimenti	liquefazione	
<b>F1i</b>	X	X	X			III
<b>F1</b>	X	X	X			III
<b>F2i</b>	X	X	X			III
<b>F2</b>	X	X	X			III
<b>Di</b>	X	X	X			III
<b>Si</b>	X	X	X		X	III (classe Di se si esclude il rischio di liquefazione)
<b>Ci</b>	X	X	X	X		III (classe Di se si esclude il rischio di cedimenti)
<b>S</b>	X				X	III (II, classe D, se si esclude il rischio di liquefazione)
<b>C</b>	X			X		III (II, classe D, se si esclude il rischio di cedimenti)
<b>T</b>	X					II (III, classe Di, in caso di inclinazione critica degli eventuali orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
<b>I</b>		X				II (III, classe Di, in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
<b>D</b>	X					II
<b>R</b>						I (II, classe D, in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)

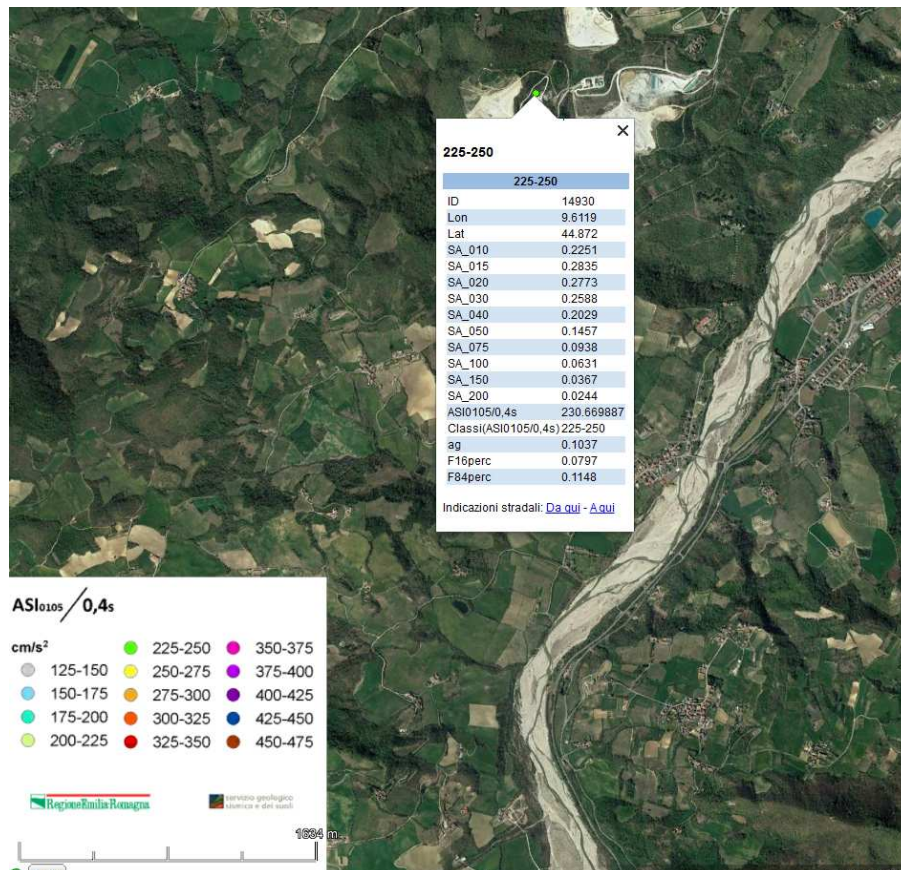
Stralcio TAV. A4.5

In merito al valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo<sup>4</sup> per l'area in esame, si è fatto riferimento a quanto contenuto nella DGR 564 del 26/04/2021 dove vengono forniti per l'intero territorio regionale i valori di  $a_g$  riferiti ad un reticolo di nodi con passo 0,05 gradi (consultabile nel sito web del "Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli" della RER).

Nel caso in esame, si è assunto il valore di  $a_{refg}$  del nodo più vicino all'area in studio che risulta:

$$a_{refg} = 0,1037g \text{ (coordinate nodo 9,6119 Longitudine E; 44,872 Latitudine N)}$$

Di seguito si riporta l'individuazione cartografica del nodo preso come riferimento.



DGR 564/2021: valori di  $a_{refg}$  definiti nei punti della griglia regionale

### Valutazione dei Fattori di Amplificazione (F.A.)

Al fine di stimare il grado di vulnerabilità sismica<sup>5</sup> legato alla presenza di effetti locali generati dalle particolari caratteristiche geologiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in studio, si sono quindi calcolati i nuovi Fattori di Amplificazione

<sup>4</sup> espressa in funzione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno  $T = 475$  anni

<sup>5</sup> Il grado di vulnerabilità sismica si concretizza con una stima della risposta sismica dei terreni in termini di Fattore di Amplificazione (FA), che vengono espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA0) sia di rapporto di intensità di Housner o spettrale (SI/SI0).

(F.A.) richiesti nell'analisi di secondo livello sulla base delle puntuali indagini geognostiche (geotecniche e geofisiche).

La porzione di territorio in studio è caratterizzata da un profilo stratigrafico costituito da potenti orizzonti di prevalenti ghiaie e subordinate sabbie legate alla attività deposizionale del F.Trebbia con substrato posto ad una profondità di oltre 150m dal p.c. In questo contesto geo-litologico, in ossequio a quanto previsto dalla DGR. N.476 del 12/04/2021, è stata utilizzata la tabella di riferimento di cui all'ALL.2, § A2.1.2 relativa a "Appennino su substrato non rigido".

A fronte di un valore di  $V_{s10} = 500^6$  m/s, per l'area in esame si ottengono i seguenti coefficienti di amplificazione:

- F.A. PGA = **1,3**
- F.A. SA1 ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ) = **1,3**
- F.A. SA2 ( $0.4s \leq T_0 \leq 0.8s$ ) = **1,3**
- F.A. SA3 ( $0.7s \leq T_0 \leq 1,1s$ ) = **1,3**
- F.A. SI1 ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ) = **1,3**
- F.A. SI2 ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ) = **1,3**
- $ASI/U_{HS}/\Delta T = 239,155538$
- SCUOTIMENTO ATTESO AL SITO  $H_{SM}SA1 = 299,$

#### **Accelerazione orizzontale massima attesa al sito secondo DGR 564/2021**

Tenuto quindi conto dell'accelerazione al suolo di riferimento (0,0954 g) e del coefficiente di amplificazione definito con la microzonazione dell'area in oggetto (1,8), l'accelerazione alla sommità del deposito (superficie del suolo) risulta essere pari a:

$$a_{max} = 0,1037 \times 1,3 = 0,1348g$$

#### **Sollecitazioni sismiche in base alle NTC 2018**

Il territorio comunale di Ponte dell'Olio, precedentemente non classificato, è stato ascrivito dall'Ordinanza P.C.M. n.3274 a zona sismica di tipo3.

I valori delle azioni sismiche sono riportati nelle NTC di cui al D.M.14/01/08 e sono stati ulteriormente precisati nell'aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" nel Decreto del 17 gennaio 2018 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, entrate in vigore dal 22/03/18.

Nella tabella allegata si sono riportati i valori (desunti dal foglio di calcolo "Spettri NTC-ver.1.0.3." del C.S.L.P. in funzione delle coordinate geografiche del sito in esame), dei parametri  $a_g$  (accelerazione orizzontale massima),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale),  $T_c^*$  (periodo di inizio

---

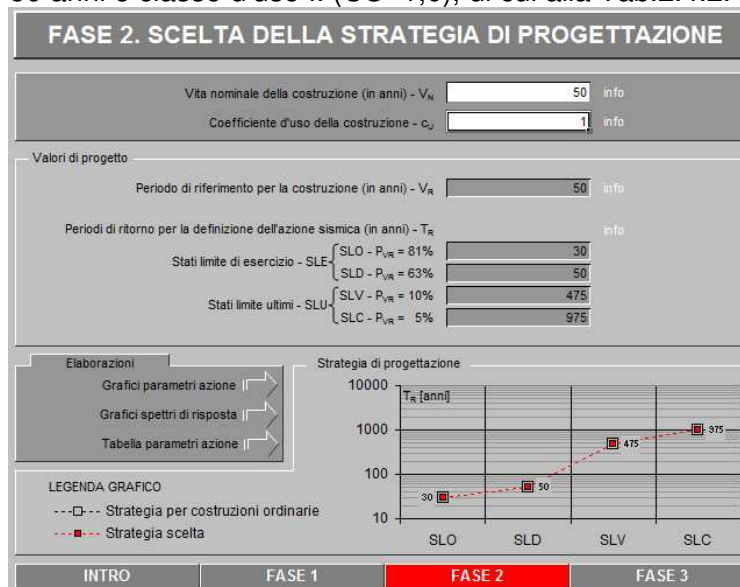
<sup>6</sup> risultato dalle 2 HVSR Masw eseguito per il presente studio

del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), per il sito in esame per tempi di ritorno  $T_r$  variabili da 30 a 2475 anni, cui corrisponde una probabilità di superamento  $P_{vr}\%$  variabile dall'81 al 2% in 50 anni.



Foglio di calcolo "Spettri NTC-ver. 1.0.3." del C.S.L.P. per individuazione pericolosità del sito

In particolare, per  $T_r=475$  anni risulta  $a_g=0,106g$ : per tale valore va calcolato lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita SLV nel caso di opere con vita utile o nominale  $V_N = 50$  anni e classe d'uso II ( $CU=1,0$ ), di cui alla Tab.2.4.2. delle NTC 2018.



Schema per la determinazione dei valori di progetto



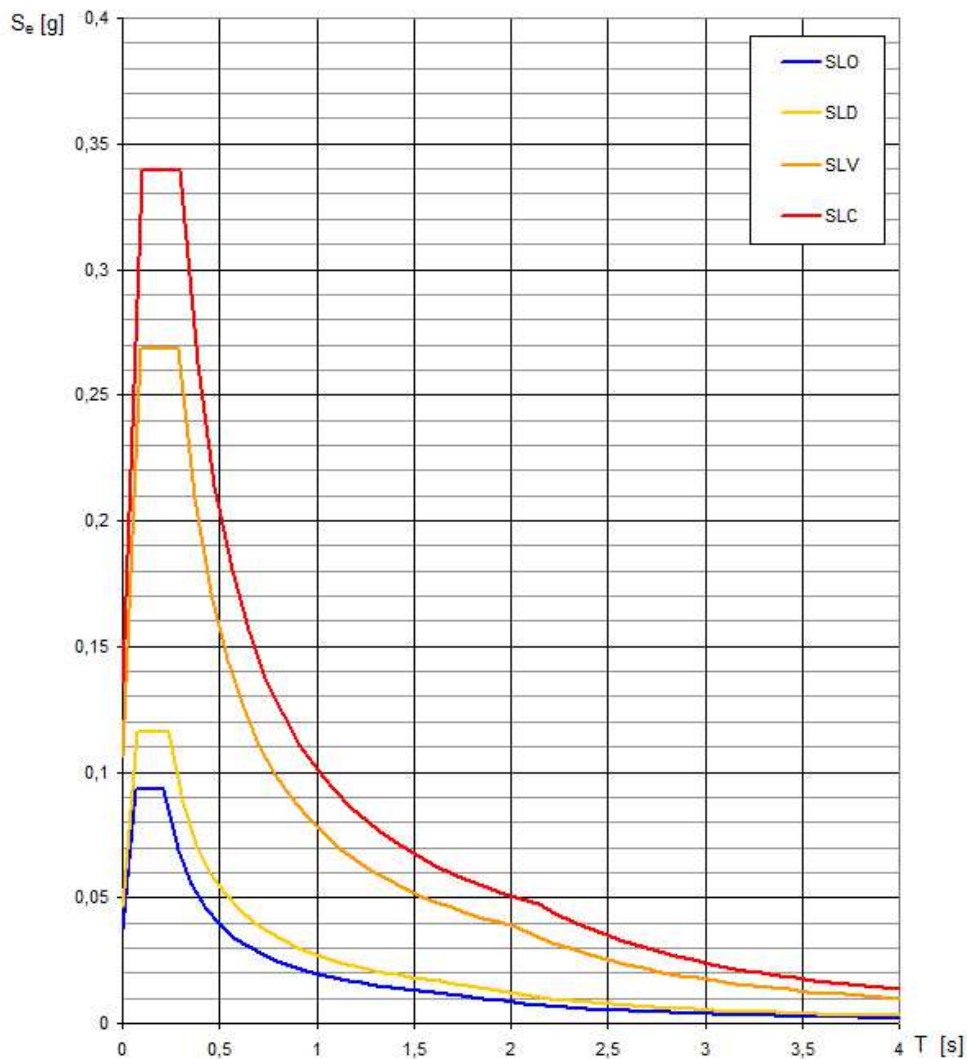
SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	30	0,037	2,524	0,211
SLD	50	0,046	2,511	0,235
SLV	475	0,106	2,526	0,291
SLC	975	0,136	2,505	0,299

I valori dei parametri sismici in riferimento al tempo di ritorno considerato

Come riportato alla Tab.2.4.2. delle NTC 2018, per la classe II la vita di riferimento VR vale:

$$VR = VN \times CU = 50 \times 1,0 = 50 \text{ anni}$$

Da ricordare che le azioni sismiche desunte dal foglio di calcolo del C.S.L.P. sono valide per sito di riferimento rigido orizzontale; diversamente esse vanno incrementate in funzione della categoria topografica dell'area e della categoria del sottosuolo sotteso dalle opere in progetto.



Spettri di risposta elastici per i vari tempi di ritorno considerati

## Analisi di disaggregazione

Dalla pagina del sito dell'INGV (Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano), sono stati inoltre desunti i parametri di disaggregazione del sito ovvero i valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità di superamento del 10% in 50 anni<sup>7</sup>.

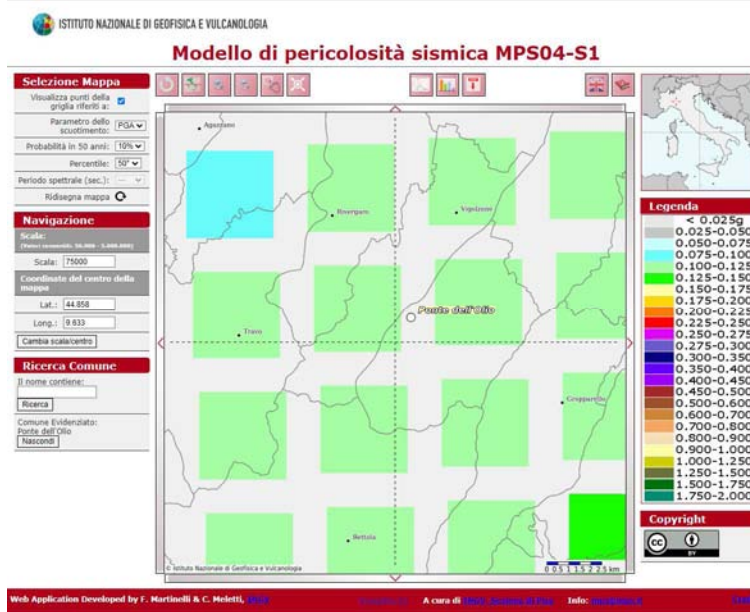
Lo studio di disaggregazione di ag, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, permette di individuare per l'area in esame, il *range* della coppia magnitudo-distanza che incide maggiormente sulla sismicità dell'area.

Tra i differenti metodi da utilizzare, si è optato per l'impiego delle mappe interattive di pericolosità sismica, presenti sul sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>); nelle figure successive vengono riprodotti i risultati del procedimento di disaggregazione di ag e le coppie magnitudo/distanza dei terremoti che apportano i maggiori danni nell'area, in funzione della percentuale della pericolosità.

Tale elaborazione indica che gli eventi che contribuiscono alla sismicità dell'area sono contraddistinti da una magnitudo compresa tra 4,0 e 6,0, con valori medi di circa 4,86 e distanze epicentrali inferiori a 40 km, con valori medi di 15,3 km.

Si tratta pertanto di un'area contraddistinta da una sismicità medio-bassa, confermata anche dall'attribuzione del territorio comunale alla zona sismica 3.

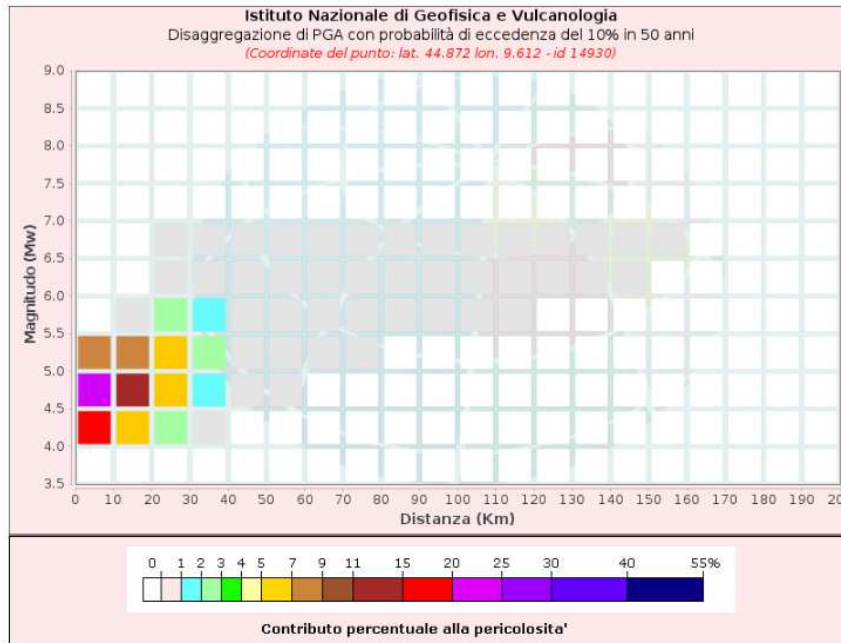
Il valore di magnitudo ottenuto dalla disaggregazione è stato confrontato quello attribuito dalla zonazione sismogenetica ZS9 all'areale oggetto di intervento, che risulta essere pari a 6,14; adottando un approccio di tipo cautelativo, per eventuali approfondimenti di terzo livello si consiglia di assumere come valore di riferimento della magnitudo quello massimo previsto dalla zonazione sismogenetica ZS9.



Mappa pericolosità sismica tratta da Progetto DCP – INGV – S1

<sup>7</sup> in base ai dati di pericolosità sismica nazionale

**Ambito residenziale R11**  
 "RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA"



Dati di disaggregazione (variabilità in termini di magnitudo e distanza)

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.872 lon. 9.612 - id 14930)											
Distanza (km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	15.1000	20.6000	7.3700	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	6.8000	13.3000	7.7000	0.5600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	2.3900	6.9700	6.1200	2.2200	0.2760	0.0396	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.1320	1.5900	2.6300	1.7000	0.6370	0.1020	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.1070	0.7920	0.8290	0.4950	0.0888	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0003	0.1450	0.3160	0.2320	0.0463	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0356	0.1440	0.1190	0.0263	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.0693	0.0837	0.0196	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0324	0.0588	0.0146	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0120	0.0376	0.0104	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0026	0.0219	0.0071	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0115	0.0047	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0057	0.0029	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.86	15.3	0.972

Valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità di accadimento del 10% in 50 anni

**Amplificazione topografica**

Ciò premesso l'area in esame è situata su di un versante caratterizzato da una morfologia regolare con inclinazione topografica  $\leq 11^\circ$ : in conformità alla Tab.3.2.IV delle NTC 2018 il sito va ascritto alla categoria topografica T1 cui corrisponde, ai sensi della Tab.3.2.VI delle NTC medesime, un coefficiente di amplificazione topografica:

$$St = 1,0$$

### **Categoria di sottosuolo e coeff. di amplificazione stratigrafica**

Come segnalato in precedenza, sull'area indagata, le indagini hanno evidenziato terreni prevalentemente limo-argillosi superficiali e prevalentemente calcareo-marnosi e arenaceo-argillosi in profondità; la prova geofisica HVSR ha rilevato che la velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 m di profondità su tali tipi di terreno, calcolata con l'eq.3.2.1. delle NTC 2018, vale  $V_{s30} = 406,5$  m/s.

In tale situazione, il sottosuolo va ascritto alla categoria B definita al c.3.2.2. delle NTC 2018 sicché in base alla Tab.3.2.V delle NTC medesime si assume:

- coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$ :

$$1,00 \leq (1,4 - 0,40 \times F_0 \times a_g/g) \leq 1,20$$

- coefficiente  $C_c$ :

$$1,10 \times (T_c^*)^{-0,2}$$

e nella tabella allegata sono riportati i relativi valori in funzione di  $T_r$ ; in particolare, per  $T_r=475$  anni risulta  $S_s = 1,20$ .

Come segnalato in 2.1. il sito giace in area sub-pianeggiante sicché ai sensi della Tab.3.2.4. delle NTC 2018 va ascritto alla categoria topografica T1 cui corrisponde un coefficiente di amplificazione topografica  $S_t=1,0$ .

Di conseguenza, in conformità al comma 3.2.3.2. delle NTC 2018, il coeff. di amplificazione che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche vale quindi per  $T_r=475$  anni ovvero per lo SLV:

$$S = S_s \times S_t = 1,2 \times 1,0 = 1,2$$

### **Accelerazione orizzontale massima attesa al sito secondo DM 17/01/18**

L'accelerazione orizzontale massima al suolo sulla verticale del sito in esame per lo stato limite SLV e  $P_{vr}=10\%$  è pari a:

$$a_{max} = a_g \times S = a_g \times S_s = 0,106 \times 1,2 = 0,127 \text{ g}$$

### **Rischio liquefazione**

Per quanto riguarda invece la verifica di cui alle NTC 2018 (verifica alla possibilità di liquefazione dei terreni), al paragrafo 7.11.3.4.2 è ribadito che tali analisi possono essere omesse in presenza di uno dei seguenti casi:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di free-field) inferiori a 0.1g ( $a < 1$  m/sec);
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, quest'ultimo inteso ad andamento sub-orizzontale e con strutture a fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $N_{60} > 30$ ;
4. elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di ghiaie.

Nel caso in esame il sottosuolo roccioso e gli orizzonti limo-argillosi rinvenuti nel corso delle prove CPT si presentano anidri in assenza di circolazione idrica sotterranea e quindi non sono soggetti a deformazioni per liquefazione indotta dal sisma di progetto, mentre per la loro bassa sensibilità, gli orizzonti francamente limo-argillosi non sono del pari soggetti al rischio di collasso indotto dal sisma.

### **Fattori di pericolosità geologica**

L'area in esame giace in area poco acclive (circa  $11^\circ$ ) e del tutto stabile.

L'area non è soggetta a rischio di esondazione per tracimazione di corsi d'acqua né, tanto meno, per sommersione per risalita dell'acqua di falda.

Nei riguardi del "rischio sismico", l'area in esame ricade nelle "aree che necessitano della sola analisi semplificata di II livello", in quanto l'area in esame ricade tra le aree appartenenti alla categoria "D" ovvero a quelle caratterizzate da "depositi detritici, alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati, substrato roccioso  $V_{s30} < 800\text{m/s}$  e assimilati", dove l'effetto sito è dovuto alla sola amplificazione.

L'accelerazione sismica orizzontale massima, sulla verticale del sito, tenendo conto dei coefficienti di amplificazione imposti dalle NTC medesime in merito alle condizioni stratigrafiche (categoria B) e topografiche (categoria T1) dell'area, per il summenzionato  $T_r=475$  anni raggiunge il valore:

$$a_{\max} = ag \times S = 0,106 \text{ g} \times 1,2 = 0,127 \text{ g}$$

## **CONCLUSIONI**

In base a tutto quanto emerso, lo studio eseguito ha evidenziato quanto segue:

- l'area in studio si presenta stabile senza particolari indizi geomorfologici di instabilità;
- l'area non è soggetta a Vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/1923 e R.D.1126/1926;
- la successione stratigrafica è rappresentata, da una coltre di materiale fine limo-sabbiosa fino alla profondità di 6,8/7,6 m da p.c. al di sotto si alternano orizzonti arenaceo-argillosi e calcareo-marnosi; tali litologie si estendono per diverse decine di metri senza raggiungere  $V_s > 800 \text{ m/s}$ ..
- la falda freatica non è stata rinvenuta nel corso delle indagini; le successioni flyschoidi sono depositi pressoché privi di circolazione idrica; eventuale passaggio di acqua potrebbe avvenire al contatto fra la coltre limo -sabbiosa e il substrato roccioso;
- non sono state rilevate emergenze idriche spontanee nell'intorno indagato;
- l'area di intervento ricade in zona a bassa sismicità, zona 3, ed ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, il suolo di fondazione rientra nella categoria B;
- l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito secondo la DGR n°630/2019 potrebbe raggiungere valori prossimi a 0,134g.
- l'accelerazione massima orizzontale al sito in base alle NTC 2018 potrebbe raggiungere valori prossimi a 0,127g.
- non sono stati individuati particolari effetti sismici di sito: è stato escluso il rischio di liquefacibilità dei suoli;
- la frequenza di vibrazione principale del terreno si colloca a 0.42Hz.
- sarà opportuno garantire al versante una corretta regimazione delle acque superficiali con la realizzazione di una adeguata rete di canalizzazioni che limitino lo scorrimento e l'erosione superficiale soprattutto durante eventi di pioggia intensi e di breve durata;
- sarà indispensabile una accurata progettazione dei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque provenienti dai pluviali dei fabbricati e dalle strade di lottizzazione che dovranno essere idoneamente smaltite in recapiti autorizzati;
- il piano delle fondazioni dovrà essere posto al di fuori del campo di variazione significative del contenuto d'acqua del terreno e a profondità tali da non risentire dell'effetto delle variazioni climatiche e dei fenomeni di "plasticizzazione" dei terreni argillosi che, come noto, sono caratterizzati da non trascurabili effetti di "ritiro" e "rigonfiamento", assai dannosi per l'integrità dei manufatti;
- il terreno di fondazione non dovrà subire rimaneggiamenti e deterioramenti prima della costruzione della opera;

**Ambito residenziale R11****“RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA”**

- eventuali acque ruscellanti o stagnanti dovranno essere allontanate dagli scavi;
- il piano di posa degli elementi strutturali di fondazione dovrà essere regolarizzato e protetto con conglomerato magro o altro materiale idoneo;
- è opportuno prevedere un unico piano di posa delle fondazioni (alla stessa profondità);
- si sconsigliano riporti di materiale soprattutto nei pressi dell'orlo del pianalto;
- eventuali fronti di scavo si dovessero generare durante i lavori, in virtù della modesta coesione non drenata dei terreni coesivi incassanti, questi dovranno per lo meno essere profilati con inclinazione non superiore al valore min dell'angolo d'attrito drenato di detti depositi o, in alternativa, vengano sostenuti con opere provvisorie.
- in corso d'opera sarà opportuno verificare la rispondenza tra la caratterizzazione geotecnica emersa dalle indagini eseguite e la situazione reale che verrà riscontrata negli eventuali scavi che verranno eseguiti; nel caso emergessero condizioni dissimili da quanto riportato nella presente relazione, si consiglia di riesaminare la situazione geologica e geotecnica alla luce dei nuovi elementi che emergeranno;

Resta ferma l'esigenza, come prescritto nell'aggiornamento delle nuove “Norme Tecniche sulle Costruzioni” di cui al D.M. del 17 gennaio 2018, che ogni nuovo intervento edilizio dovrà essere corredato da specifica “Relazione geologica-geotecnica e sismica” che dovrà verificare, con una apposita prova MASW, le discrepanze emerse sulle velocità delle onde Vs fra quanto riportato nel PSC e le analisi effettuate per il presente studio.

Seguendo diligentemente quanto riportato nella presente relazione l'area risulta idonea alla destinazione edificatoria richiesta.



ACCORDO OPERATIVO  
ai sensi degli art. 4 e 38 della LR n°24 21/12/2017  
**Ambito residenziale R11**  
Comune di Ponte dell'Olio

**PROVE  
PENETROMETRICHE  
CPT**



**Simboli:**

qc = resistenza unitaria alla punta  
 qt >= qc = qc + u2 x (1+a) = resistenza corretta in funzione della pressione interstiziale u2  
 fs = resistenza unitaria laterale  
 Rf = 100 x fs/qc  
 uo = pressione idrostatica; Pa = pressione atmosferica

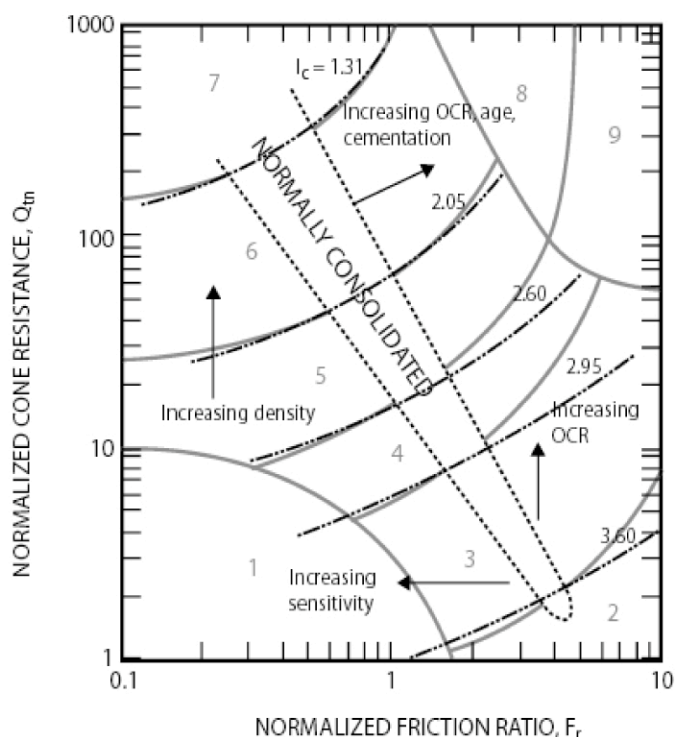
peso di volume totale:  $\gamma = 0,27 \times \log(Rf) + 0,36 \times \log(qt/Pa) + 1,236$  (GREGG, 2010)  
 carico geostatico totale:  $\sigma_{vo} = \gamma \times z$  alla profondità z  
 carico geostatico effettivo:  $\sigma'_{vo} = \gamma \times z - u_o$  a profondità z > livello di falda  
 $Qt1 = (qt - \sigma_{vo}) / (\sigma'_{vo})$   
 $Fr = fs / (qt - \sigma_{vo}) \times 100\%$   
 $lc = (3,47 - \log Qt1)^2 + (1,22 + \log Fr)^2)^{0,5}$  (ROBERTSON, 2012)  
 $Qtn = [(qt - \sigma_{vo}) / Pa] / (Pa / \sigma'_{vo})^n$  ove  $n = 0,381 \times lc + 0,05 \times (\sigma'_{vo} / Pa) - 0,15 \leq 1,0$  (ROBERTSON, 2012)  
 $Qtn\ CS = Kc \times Qtn$  ove  $Kc = f(lc) =$  resistenza equivalente per sabbie pulite (ROBERTSON 1998, 2012)  
 $N60 = qt / Pa / 10^{(1,1268 - 0,2817 \times lc)} = NSPT$  (ROBERTSON, 2012)

terreni incoerenti =  $lc < 2,6$  (ROBERTSON, 2012):  
 densità relativa:  $Dr \% = 100 \times (Qtn / 350)^{0,5}$  (GREGG, 2010)  
 angolo d'attrito di picco:  $\phi_p = 17,6^\circ + 11 \times \log(Qtn)$  (GREGG, 2010)  
 angolo d'attrito a volume costante:  $\phi_{cv} = \phi_p' - 15,84 \times \log(Qtn\ CS) + 26,88$  (ROBERTSON, 2012)  
 modulo elastico  $E' = 0,015 \times (qt - \sigma_{vo}) \times 10^{(0,55 \times lc + 0,68)}$  (ROBERTSON, 2012)

terreni coesivi =  $lc > 2,6$  (ROBERTSON, 2012):  
 coesione non drenata:  $c_u = (qt - \sigma_{vo}) / N_k$  ove  $N_k = 10,5 + 7 \times \log(Fr)$  (ROBERTSON, 2012)  
 angolo d'attrito di picco:  $\phi_p = \arcsin(2 \times c_u / (\sigma'_{vo} \times OCR^{0,8}))$  (rif. MAYNE 2001)  
 sensitività:  $St = c_u / c_{u,r} = 7 / Fr$  ove  $c_{u,r} =$  coesione non drenata residua (GREGG, 2010)  
 grado di sovraconsolidazione:  $OCR = 0,25 \times (Qt1)^{1,2}$  (CSSM in Robertson 2012)

tutti i terreni:  
 modulo edometrico:  $E_{ed} = \alpha M \times (qt - \sigma_{vo})$  ove:  
 $\alpha M = 14$  se  $lc > 2,2$ ,  $Qtn > 14$ ;  $\alpha M = Qtn$  se  $lc > 2,2$ ,  $Qtn < 14$ ;  $\alpha M = 0,03 \times 10^{(0,55 \times lc + 1,68)}$  se  $lc < 2,2$  (ROBERTSON, 2012)  
 modulo di taglio a piccole deformazioni:  $G_o = 0,0188 \times (qt - \sigma_{vo}) \times 10^{(0,55 \times lc + 1,68)}$  (ROBERTSON, 2012)  
 coeff. di permeabilità:  $K (m/s) = 10^{(0,952 - 3,04 \times lc)}$  se  $1 < lc < 3,27$ ;  $K = 10^{(-4,52 - 1,37 \times lc)}$  se  $3,27 < lc < 4$  (GREGG, 2010)  
 velocità onde di taglio:  $V_s (m/s) = (10^{(0,55 \times lc + 1,68)} \times Qtn)^{0,5}$  (ROBERTSON, 2012)

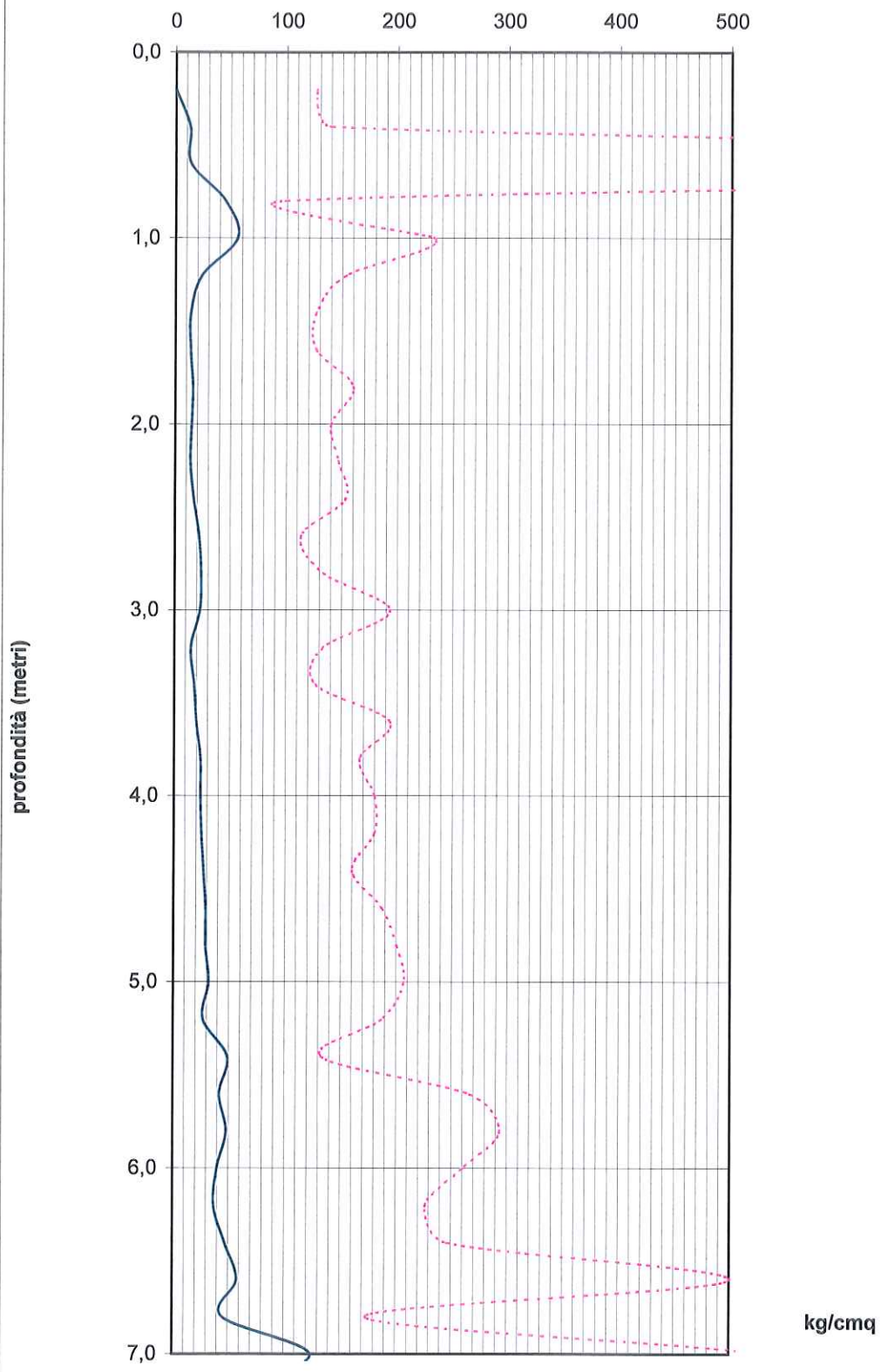
Classificazione di ROBERTSON



**Fig. 1.** SBT chart based on normalized CPT parameters (modified from Robertson 1990)

Prova CPT n.1

— qc kg/cmq  
- - - fs x 100 kg/cmq





**PROVA CPT** n.1

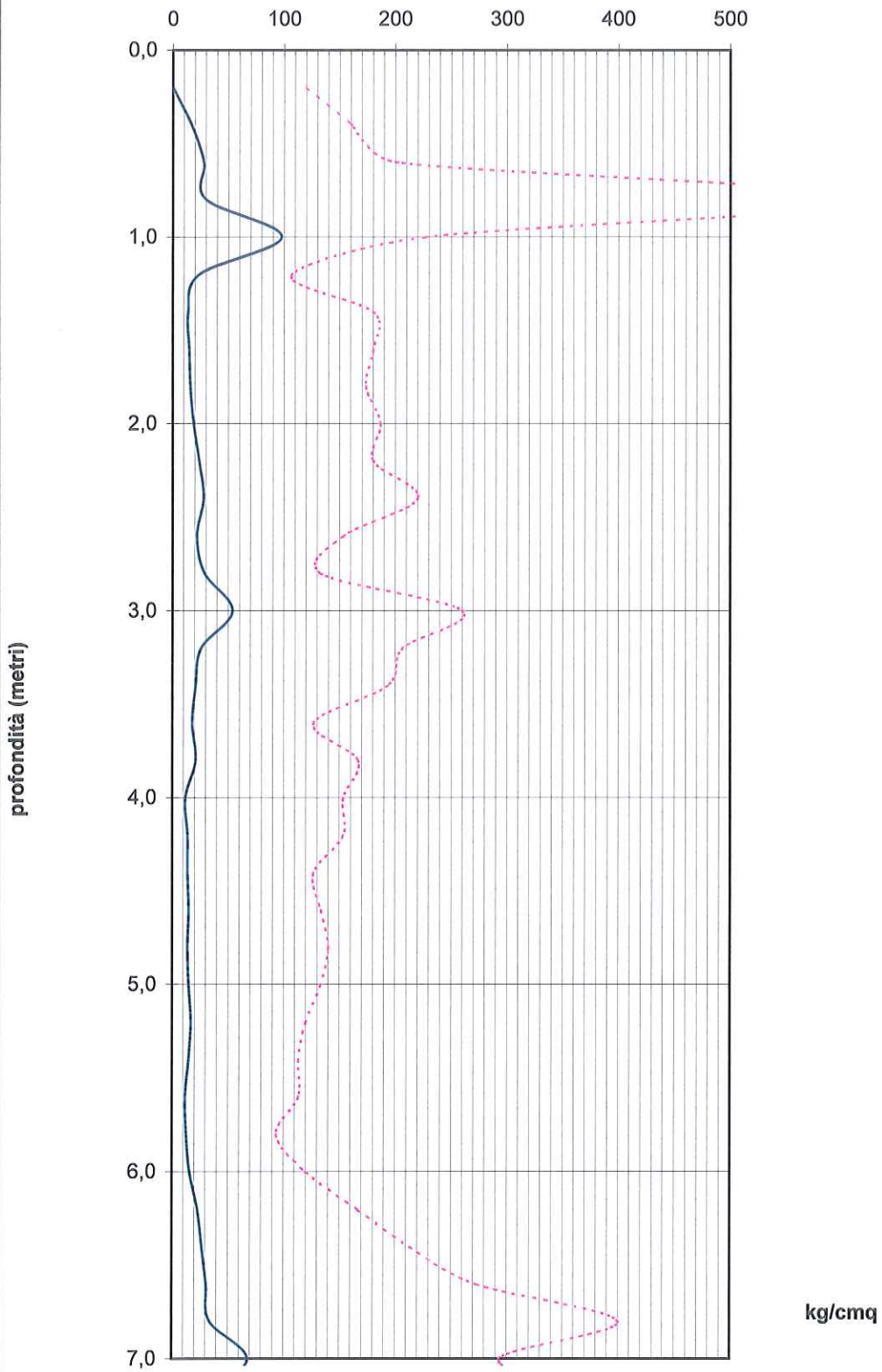
profondità superficiale piezometrica: metri >6,4

- parametri geotecnici medi -

profondità da m	qc [kg/cm <sup>2</sup> ]	fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	Ic	granulometria (cf. ROBERTSON 1990)	comportamento prevalente	spessore m	qc [kg/cm <sup>2</sup> ]	fs [kg/cm <sup>2</sup> ]	N60 colpi/30 cm	Dr %	φ °	φcv °	cu [kg/cm <sup>2</sup> ]	φ clay °	St	OCR cu/cu r	Eed [kg/cm <sup>2</sup> ]	Go [kg/cm <sup>2</sup> ]	E' [kg/cm <sup>2</sup> ]	k m/s	Vs m/s
0,2	1,27	-	-																		
0,4	13	1,40	2,3	terre cementate o n.d.																	
0,6	14	15,00	3,4	argille																	
0,8	45	1,00	1,8	sabbie																	
1,0	56	2,33	2,0	sabbie cementate																	
1,2	24	1,53	2,4	terre cementate o n.d.	incoerente	1,0	30	3,97	10	69	42	30,3					475	542	347	≈6,7E-06	165
1,4	14	1,27	2,8	terre cementate o n.d.																	
1,6	14	1,27	2,8	argille limose																	
1,8	16	1,60	2,8	argille limose																	
2,0	15	1,40	2,9	argille limose																	
2,2	14	1,47	3,0	argille																	
2,4	17	1,53	2,9	argille limose																	
2,6	22	1,13	2,6	argille limose																	
2,8	24	1,33	2,6	argille limose																	
3,0	23	1,93	2,8	argille limose																	
3,2	15	1,33	2,9	argille limose																	
3,4	18	1,27	2,8	argille limose																	
3,6	20	1,93	2,9	argille limose																	
3,8	24	1,67	2,8	argille limose																	
4,0	24	1,80	2,8	argille limose																	
4,2	25	1,80	2,8	argille limose																	
4,4	27	1,60	2,7	argille limose																	
4,6	29	1,87	2,7	argille limose																	
4,8	29	2,00	2,8	argille limose																	
5,0	32	2,07	2,7	argille limose																	
5,2	27	1,87	2,8	argille limose	coesivo	4,0	21	1,61	9,71				1,25	≈25	0,9	25	292	635	≈3,6E-08	183	
5,4	49	1,33	2,3	limi sabbiosi																	
5,6	42	2,67	2,7	argille limose																	
5,8	48	2,93	2,6	terre cementate o n.d.																	
6,0	40	2,60	2,7	argille limose																	
6,2	37	2,27	2,7	argille limose																	
6,4	47	2,47	2,6	limi sabbiosi																	
6,6	58	5,00	2,7	terre cementate o n.d.																	
6,8	45	1,73	2,5	limi sabbiosi	coesivo	1,6	46	2,63	18,46				2,68	≈26	1,0	33	625	1087	≈1,8E-07	239	
7,0	124	5,33	2,3	terre cementate o n.d.																	
7,2	67	5,67	2,7	terre cementate o n.d.																	
7,4	80	2,07	2,2	limi sabbiosi																	
7,6	289	3,60	1,6	sabbie																	
7,8	220	4,07	1,9	sabbie																	
8,0	297	2,40	1,5	sabbie	incoerente	1,2	180	3,86	45,01	76	43	31,6				2187	1801	1444	≈6,2E-05	308	

Prova CPT n.2

— qc kg/cmq  
- - - fs x 100 kg/cmq



CPT n.2

profondità superficie piezometrica: metri >9,0

- parametri geotecnici locali -

profondità m	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	Rf = 100xfs/qc	γ	uo l/mc	ove' kg/cm <sup>2</sup>	ovo kg/cm <sup>2</sup>	Qti %	Fr %	lc cm	N60 coppi/30 cm	n	Qtn	Kc	QtnCS	Dr %	φp °	φcv °	Nk -	cu kg/cm <sup>2</sup>	φ clay °	St culca/r	OCR	αM	Eed kg/cm <sup>2</sup>	Go kg/cm <sup>2</sup>	Ei kg/cm <sup>2</sup>	K m/s	Vs m/s
0,20	0	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,40	17	1,60	9,4	1,9	0,00	0,02	0,02	874	9,4	2,3	5,5	0,71	280	1,8	508	89	45	=28,5						14	238	266	212	=1,2E-06	119
0,60	28	2,00	7,1	2,0	0,00	0,06	0,06	476	7,2	2,2	8,8	0,70	203	1,7	349	76	43	=29,6						14	391	419	334	=1,6E-06	149
0,80	30	6,53	21,8	2,1	0,00	0,10	0,10	289	21,9	2,7	13,3	0,90	238	4,3	1035				19,9	1,50	=23	0,3	234	14	419	871	=4,0E-08	215	
1,00	98	2,27	2,3	2,1	0,00	0,14	0,14	691	2,3	1,7	22,1	0,51	264	1,0	275	87	44	=32,5						12	1219	764	609	=5,6E-05	202
1,20	24	1,07	4,4	1,9	0,00	0,18	0,18	131	4,5	2,3	8,0	0,74	84	4,4	166	49	39	=30,5						14	333	399	318	=6,6E-07	146
1,40	14	1,80	12,9	1,9	0,00	0,22	0,22	63	13,1	2,9	6,7	0,96	59	5,4	319				18,3	0,75	=23	0,5	36	14	193	472	=1,6E-08	156	
1,60	15	1,73	10,8	2,0	0,00	0,26	0,26	57	12,2	2,9	7,2	0,96	54	5,4	293				18,1	0,81	=23	0,6	32	14	206	505	=1,6E-08	164	
1,80	16	1,87	9,8	2,0	0,00	0,34	0,34	55	10,0	2,9	7,6	0,95	50	5,3	265				17,8	0,88	=24	0,6	29	14	220	528	=1,8E-08	168	
2,00	19	1,87	9,8	2,0	0,00	0,34	0,34	55	10,0	2,8	8,8	0,94	52	4,9	253				17,5	1,07	=24	0,7	31	14	261	592	=2,5E-08	177	
2,20	24	1,80	7,5	2,0	0,00	0,38	0,38	63	7,6	2,7	10,2	0,89	57	9,3	527				16,7	1,42	=25	0,9	36	14	331	638	=6,1E-08	164	
2,40	28	2,20	7,9	2,0	0,00	0,42	0,42	66	8,0	2,7	11,9	0,92	60	9,4	567				16,8	1,64	=25	0,9	38	14	386	746	=6,1E-08	199	
2,60	22	1,53	7,0	1,9	0,00	0,46	0,46	47	7,1	2,7	9,7	0,89	44	4,3	191				16,5	1,31	=25	1,0	26	14	302	624	=4,1E-08	182	
2,80	29	1,33	4,6	1,9	0,00	0,49	0,49	58	4,7	2,5	11,3	0,85	52	3,9	200	38	36	=26,9						14	399	646	516	=1,6E-07	185
3,00	54	2,60	4,8	2,0	0,00	0,53	0,53	100	4,9	2,4	19,2	0,79	88	2,3	206	60	39	=29,2						14	749	1015	810	=4,3E-07	232
3,20	26	2,07	7,9	2,0	0,00	0,57	0,57	44	8,1	2,8	12,0	0,95	43	4,8	207				16,9	1,51	=25	0,9	24	14	356	798	=2,7E-08	206	
3,40	21	1,93	9,2	2,0	0,00	0,61	0,61	33	9,5	2,9	10,5	1,00	33	6,1	201				17,3	1,18	=24	0,7	17	14	285	756	=1,1E-08	201	
3,60	18	1,27	7,0	1,9	0,00	0,65	0,65	27	7,3	2,9	8,9	1,00	27	5,9	156				15,5	1,05	=25	1,0	13	14	243	630	=1,2E-08	183	
3,80	21	1,67	7,9	2,0	0,00	0,69	0,69	29	8,2	2,9	10,5	1,00	29	6,0	175				16,9	1,20	=24	0,9	14	14	284	744	=1,1E-08	199	
4,00	12	1,53	12,8	1,9	0,00	0,73	0,73	15	13,6	3,3	7,5	1,00	15	10,4	160				18,4	0,51	=22	0,5	7	14	158	644	=8,7E-10	185	
4,20	14	1,53	11,0	1,9	0,00	0,77	0,77	17	11,6	3,2	8,3	1,00	17	9,2	158				17,9	0,74	=22	0,6	8	14	185	681	=1,7E-09	190	
4,40	14	1,27	9,0	1,9	0,00	0,81	0,81	16	9,6	3,2	8,1	1,00	16	8,6	141				17,4	0,76	=23	0,7	7	14	185	644	=2,3E-09	185	
4,60	15	1,33	8,9	1,9	0,00	0,85	0,85	17	9,4	3,1	8,6	1,00	17	8,4	141				17,7	0,82	=23	0,7	7	14	198	679	=2,5E-09	190	
4,80	14	1,40	10,0	1,9	0,00	0,88	0,88	15	10,7	3,2	8,4	1,00	15	9,5	140				17,3	0,74	=22	0,7	6	14	184	692	=1,5E-09	192	
5,00	15	1,33	8,9	1,9	0,00	0,92	0,92	15	9,5	3,2	8,8	1,00	15	8,8	135				17,3	0,81	=23	0,7	7	14	197	702	=2,1E-09	193	
5,20	17	1,20	7,1	1,9	0,00	0,96	0,96	17	7,5	3,1	9,3	1,00	17	7,6	127				16,6	0,97	=24	0,9	7	14	225	706	=4,1E-09	194	
5,40	15	1,13	7,6	1,9	0,00	1,00	1,00	14	8,1	3,2	8,6	1,00	14	8,6	120				16,9	0,83	=24	0,9	6	14	196	681	=2,4E-09	190	
5,60	12	1,13	9,4	1,9	0,00	1,04	1,04	11	10,3	3,3	7,7	1,00	11	10,9	115				17,6	0,62	=22	0,7	4	11	116	655	=6,7E-10	197	
5,80	13	0,93	7,2	1,9	0,00	1,07	1,07	11	7,8	3,2	7,8	1,00	11	9,5	105				16,8	0,71	=23	0,9	4	11	132	630	=1,5E-09	183	
6,00	16	1,20	7,5	1,9	0,00	1,11	1,11	13	8,1	3,2	9,3	1,00	13	8,8	117				16,7	1,31	=24	0,9	9	14	306	920	=5,2E-09	221	
6,20	23	1,67	7,2	2,0	0,00	1,15	1,15	19	7,6	3,0	12,3	1,00	19	7,2	136				16,9	1,53	=24	0,8	10	14	361	1064	=5,9E-09	238	
6,40	27	2,13	7,9	2,0	0,00	1,19	1,19	22	8,3	3,0	14,3	1,00	22	7,0	151				17,2	1,73	=24	0,8	11	14	417	1226	=5,9E-09	255	
6,60	31	2,73	8,8	2,0	0,00	1,23	1,23	24	9,2	3,0	16,4	1,00	24	7,0	169				18,1	1,81	=22	0,6	12	14	458	1479	=3,6E-09	230	
6,80	34	4,00	11,8	2,1	0,00	1,27	1,27	26	12,2	3,1	18,9	1,00	26	7,8	202									14	934	1547	1234	=1,4E-07	287
7,00	68	2,93	4,3	2,1	0,00	1,31	1,31	51	4,4	2,6	26,8	0,89	52	4,3	227	39	37	=26,1						14	485	1480		=4,9E-09	281
7,20	36	3,67	10,2	2,1	0,00	1,35	1,35	26	10,6	3,0	19,4	1,00	26	7,3	187				17,7	1,96	=23	0,7	12	14	485	1480		=1,3E-08	271
7,40	40	2,80	7,0	2,0	0,00	1,39	1,39	28	7,3	2,9	19,7	1,00	28	5,8	159				16,5	2,34	=25	1,0	13	14	540	1376		=1,5E-08	283
7,60	39	2,40	6,2	2,0	0,00	1,44	1,44	26	6,4	2,9	18,9	1,00	26	5,5	145				16,1	2,33	=25	1,1	13	14	526	1303		=1,5E-08	283
7,80	55	0,67	1,2	1,9	0,00	1,47	1,47	36	1,2	2,3	18,5	0,81	39	2,0	79	33	35	=32,0						14	749	908	725	=6,0E-07	220
8,00	78	0,80	1,0	1,9	0,00	1,51	1,51	51	1,0	2,2	23,6	0,75	56	1,6	88	40	37	=32,9						22	1688	1058	844	=2,5E-06	237
8,20	81	0,80	1,0	1,9	0,00	1,55	1,55	51	1,0	2,1	24,3	0,74	57	1,5	86	40	37	=33,0						22	1723	1080	861	=2,7E-06	240
8,40	89	1,93	2,2	2,0	0,00	1,59	1,59	55	2,2	2,3	30,2	0,82	60	2,1	123	41	37	=30,9						14	1224	1509	1204	=7,3E-07	283
8,60	125	3,07	2,5	2,0	0,00	1,63	1,63	76	2,5	2,3	40,6	0,80	84	1,8	155	49	39	=30,9						23	4319	2707	2160	=1,1E-06	373
8,80	189	5,27	2,8	2,2	0,00	1,67	1,67	112	2,8	2,2	58,5	0,77	126	1,6	208	60	41	=30,9						23	4319	2707	2160	=1,1E-06	379
9,00	221	0,47	0,2	1,9	0,00	1,72	1,72	128	0,2	1,5	42,8	0,50	168	1,0	168	69	42	=33,7						9	2024	1269	1012	=3,1E-04	280

PROVA CPT

profondità superficie piezometrica: metri >9,0

- parametri geotecnici medi -

profondità da m.	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	lc	granulometria (cf. ROBERTSON 1990)	comportamento prevalente	spessore m	qc kg/cm <sup>2</sup>	fs kg/cm <sup>2</sup>	N60 colpi/30 cm	Dr %	φp °	φcvr °	cu kg/cm <sup>2</sup>	φ clay °	St	OCR calcoli r	Eed kg/cm <sup>2</sup>	Go kg/cm <sup>2</sup>	E' kg/cm <sup>2</sup>	k m/s	Vs m/s	
0,2	1,20	-	-																			
0,4	17	1,60	2,3	terre cementate o n.d.																		
0,6	28	2,00	2,2	terre cementate o n.d.																		
0,8	30	6,53	2,7	terre cementate o n.d.																		
1,0	98	2,27	1,7	sabbie cementate																		
1,2	24	1,07	2,3	terre cementate o n.d.	incoerente	1,0	39	2,37	12	75	43	30,3					520	544	368	≈1,2E-05	166	
1,4	14	1,80	2,9	terre cementate o n.d.																		
1,6	15	1,80	2,9	argille limose																		
1,8	16	1,73	2,9	argille limose																		
2,0	19	1,87	2,8	argille limose																		
2,2	24	1,80	2,7	terre cementate o n.d.																		
2,4	28	2,20	2,7	terre cementate o n.d.																		
2,6	22	1,53	2,7	argille limose	coesivo	1,4	20	1,82	9				1,13	≈24	0,7	33	271	586	≈3,4E-08	176		
2,8	29	1,33	2,5	limi sabbiosi																		
3,0	54	2,60	2,4	limi sabbiosi	incoerente	0,4	42	1,97	15	44	38	28,1				574	831	663	≈3,0E-07	209		
3,2	26	2,07	2,8	argille limose																		
3,4	21	1,93	2,9	argille limose																		
3,6	18	1,27	2,9	argille limose																		
3,8	21	1,67	2,9	argille limose																		
4,0	12	1,53	3,3	argille																		
4,2	14	1,53	3,2	argille																		
4,4	14	1,27	3,2	argille																		
4,6	15	1,33	3,1	argille																		
4,8	14	1,40	3,2	argille																		
5,0	15	1,33	3,2	argille																		
5,2	17	1,20	3,1	argille																		
5,4	15	1,13	3,2	argille																		
5,6	12	1,13	3,3	argille																		
5,8	13	0,93	3,2	argille																		
6,0	16	1,20	3,2	argille																		
6,2	23	1,67	3,0	argille																		
6,4	27	2,13	3,0	argille																		
6,6	31	2,73	3,0	argille																		
6,8	34	4,00	3,1	argille	coesivo	3,8	19	1,66	10,33				1,04	≈23	0,8	9	247	793	≈6,4E-09	204		
7,0	68	2,93	2,6	limi sabbiosi																		
7,2	36	3,67	3,0	argille																		
7,4	40	2,80	2,9	argille limose																		
7,6	39	2,40	2,9	argille limose	coesivo	0,8	46	2,95	21,20				2,21	≈24	0,9	13	621	1426	≈4,4E-08	275		
7,8	55	0,67	2,3	limi sabbiosi																		
8,0	78	0,80	2,2	limi sabbiosi																		
8,2	81	0,80	2,1	limi sabbiosi																		
8,4	69	1,93	2,3	limi sabbiosi																		
8,6	125	3,07	2,3	limi sabbiosi																		
8,8	189	5,27	2,2	limi sabbiosi																		
9,0	221	0,47	1,5	sabbie	incoerente	1,4	120	1,86	34,07	48	38	32,0				1922	1489	1196	≈4,5E-05	277		

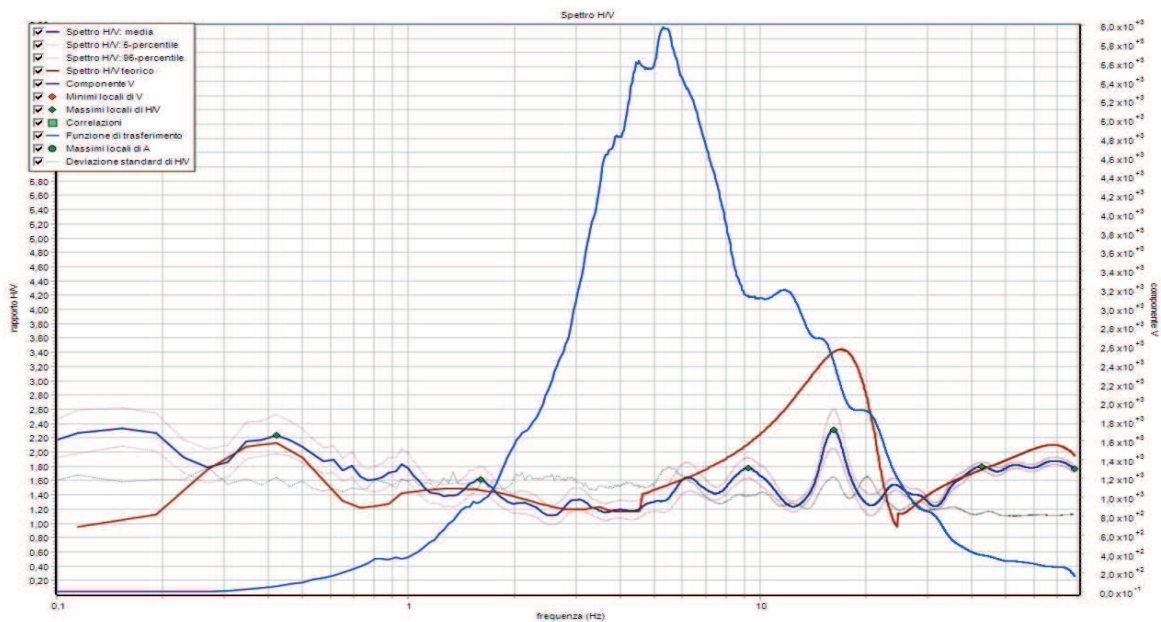
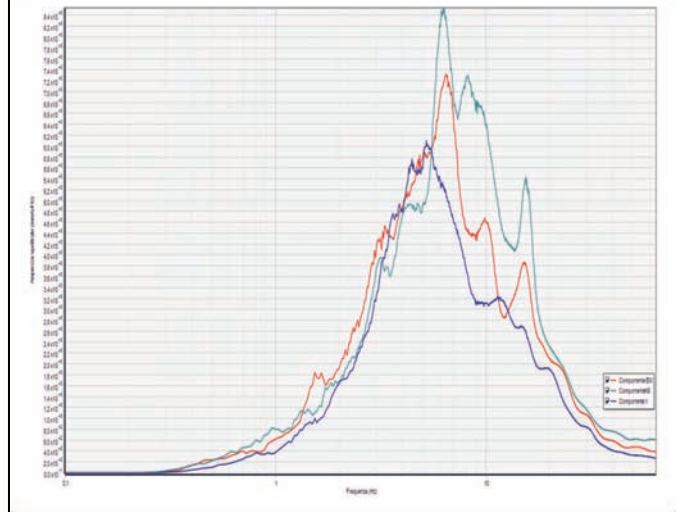
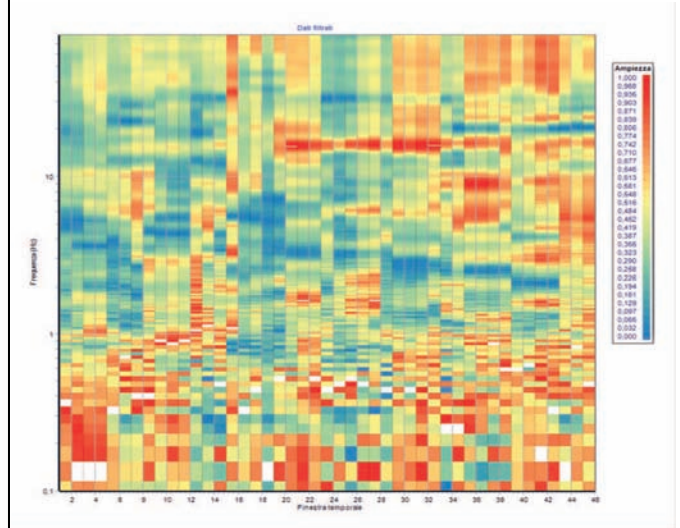
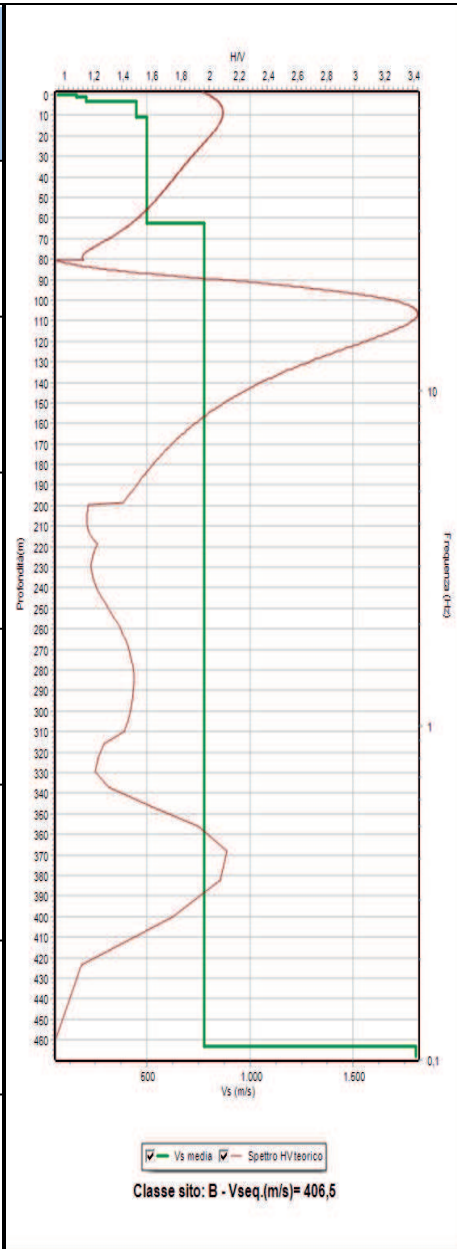
ACCORDO OPERATIVO  
ai sensi degli art. 4 e 38 della LR n°24 21/12/2017  
**Ambito residenziale R11**  
Comune di Ponte dell'Olio

**PROVA HVSR**  
validazione curva H/V secondo  
criteri **SESAME**  
**Giugno 2022**



# Riassunto interpretazione HVSR V1

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0,22	70
2	0,94	161
3	3,21	208
4	10,8	450
5	62,57	500
6	463,09	778
7	Oltre	1804



## Tabella parametri picchi stratigrafici da spettro H/V delle onde di Rayleigh e Love V1

Criteria SESAME (2005) per una curva H/V attendibile S1:  $f_p > 10/L_w$  - S2:  $L_w \times N_w \times f_p > 200$  - S3:  $s_a < 2$  per  $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGENDA:  $L_w$ =lunghezza della finestra (s) -  $N_w$ =n. finestre -  $f_p$ (Hz)=frequenza del picco stratigrafico -  $s_a$ =deviazione standard

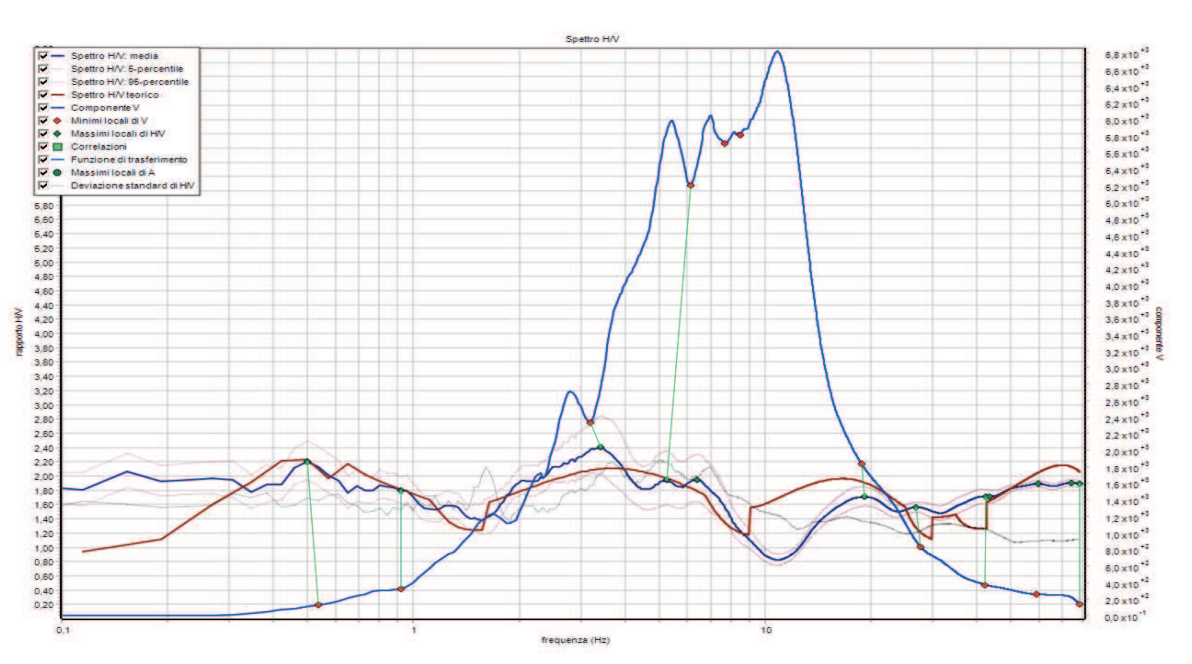
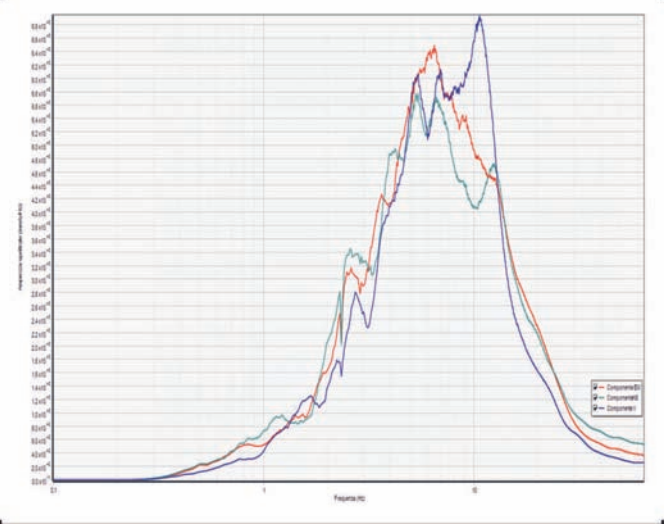
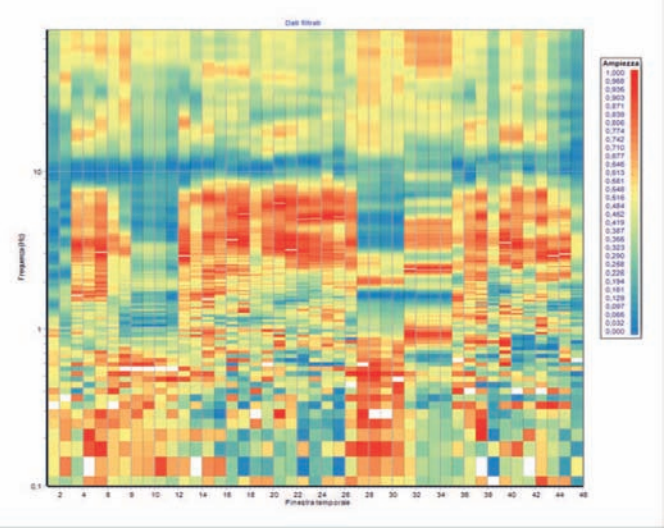
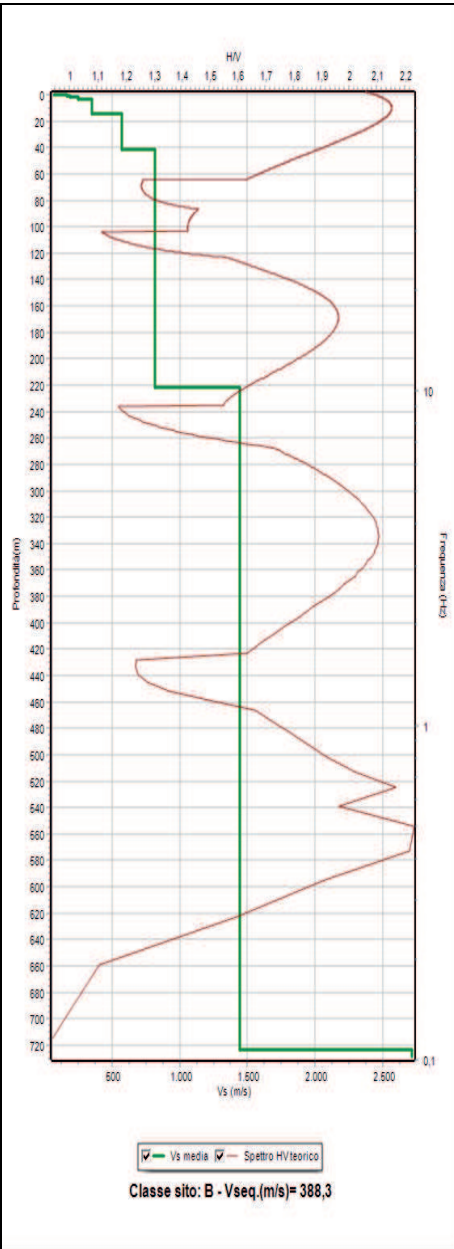
N.	$f_z$ (Hz)	H/V	Kg	H1(m)	H2(m)	H3(m)	S1	S2	S3
1	0,42	2,23	11,81	171,49	99,89	84,54	No	Sì	Sì
2	1,61	1,61	1,62	28,75	16,75	14,17	Sì	Sì	Sì
3	9,28	1,77	0,34	2,78	1,62	1,37	Sì	Sì	Sì
4	16,18	2,31	0,33	1,33	0,77	0,65	Sì	Sì	Sì
5	42,78	1,8	0,08	0,36	0,21	0,18	Sì	Sì	Sì
6	78,5	1,76	0,04	0,16	0,09	0,08	Sì	Sì	Sì

ACCORDO OPERATIVO  
ai sensi degli art. 4 e 38 della LR n°24 21/12/2017  
**Ambito residenziale R11**  
Comune di Ponte dell'Olio

**PROVA HVSR**  
validazione curva H/V secondo  
criteri **SESAME**  
**Ottobre 2022**

# Riassunto interpretazione HVSR V1

N.	H(m)	Vs(m/s)
1	0,22	70
2	0,96	164
3	1,78	192
4	3,32	250
5	14,57	350
6	41,86	571
7	221,74	816
8	723,5	1447
9	Oltre	2718



## Tabella parametri picchi stratigrafici da spettro H/V delle onde di Rayleigh e Love V1

Criteria SESAME (2005) per una curva H/V attendibile S1:  $f_p > 10/L_w$  - S2:  $L_w \times N_w \times f_p > 200$  - S3:  $s_a < 2$  per  $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGENDA:  $L_w$ =lunghezza della finestra (s) -  $N_w$ =n. finestre -  $f_p$ (Hz)=frequenza del picco stratigrafico -  $s_a$ =deviazione standard

N.	$f_z$ (Hz)	H/V	Kg	H1(m)	H2(m)	H3(m)	S1	S2	S3
1	0,5	2,2	9,74	137,25	79,95	67,66	No	Sì	Sì
2	0,92	1,79	3,49	60,62	35,31	29,88	Sì	Sì	No
3	3,41	2,4	1,69	10,57	6,15	5,21	Sì	Sì	No
4	5,25	1,94	0,72	5,95	3,46	2,93	Sì	Sì	No
5	19,17	1,71	0,15	1,06	0,62	0,52	Sì	Sì	Sì
6	26,83	1,56	0,09	0,68	0,39	0,33	Sì	Sì	Sì
7	42,51	1,72	0,07	0,37	0,21	0,18	Sì	Sì	Sì
8	78,5	1,89	0,05	0,16	0,09	0,08	Sì	Sì	Sì