

Studio di Geologia Dott. Stefano Ronci

**RELAZIONE GEOLOGICA**  
**VARIANTE N.2 AL P.P. EX CONVENZIONE**  
**REP.132247RACC.21171 IN ZONA C/2**  
**LOC. SANTA GIUSTINA**

*Ubicazione:* Via Pedrizzo, Santa Giustina  
Comune di Santarcangelo di Romagna (RN)

*Progettazione:* Consulenza & Progetti  
Studio Associato

*Committente :* Pesaresi Giuseppe spa



Rimini Giugno 2023

---

*Dott. Stefano Ronci Geologo*  
Viale Cordevole 21/a, 47921 RIMINI, Cell.0335/5894090  
e-mail: [stefanoronci20@gmail.com](mailto:stefanoronci20@gmail.com) pec:stefanoronci@pec.epap.it

1 – PREMESSA .....	1
2 – GEOLOGIA .....	2
2.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	2
2,2 IDROGEOLOGIA .....	7
3– INDAGINI GEOGNOSTICHE .....	10
3.1 INDAGINI PENETROMETRICHE .....	13
3.3 CORRELAZIONI FRA DATI DELLE PENETROMETRIE DINAMICHE E PARAMETRI GEOTECNICI .....	13
3.3 - INDAGINE GEOFISICA.....	16
3.4 RILIEVO DEL LIVELLO DI FALDA.....	16
4 – STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOFISICHE .....	16
4.1 RISULTATI DELL’INDAGINE GEOFISICA .....	20
5 –RISCHIO SISMICO .....	22
5,1 SISMICITÀ DELL’AREA .....	22
5,2 MAGNITUDO DI RIFERIMENTO.....	24
5,3– MICROZONAZIONE SISMICA .....	24
5,4 EFFETTI LOCALI: LIQUEFAZIONE DEI TERRENI SABBIOSI .....	31
6 – ORIENTAMENTI GEOTECNICI .....	31
7 – CONCLUSIONI .....	32

#### ALLEGATI

ALLEGATO 1 INDAGINE GEOFISICA

ALLEGATO 2 PROVE PENETROMETRICHE CPTU

## FIGURE NEL TESTO

Figura 1 Vista aerea (Google Maps ).....	1
Figura 2 Inquadramento cartografico.....	3
Figura 3 Carta Geologica.....	5
Figura 4 Tracce sezioni stratigrafiche.....	6
Figura 5 Sezione Longitudinale Conoide del Marecchia.....	6
Figura 6 Sezione 149.....	7
Figura 7 Rischio allagamenti per reticolo idrografico secondario.....	8
Figura 8 PTCP Tavola D, Rischi Ambientali.....	9
Figura 9 Planimetria del lotto ed ubicazione punti di indagine.....	11
Figura 10 Penetrometro Pagani TG63/200 nel corso delle prove.....	12
Figura 11 Profili penetrometrici e dati stratigrafici.....	17
Figura 12 Sezione stratigrafica.....	18
Figura 13 Velocità onde di taglio (m/s) – profondità (m).....	20
Figura 14 Confronto fra frequenza ampiezza picchi H/V rilevati da terremoti.....	21
Figura 15 Rapporti spettrali H/V.....	22
Figura 16 Zone sismogenetiche dal DISS 3.1 (sotto lo schema delle strutture tettoniche attive).....	23
Figura 17 Istogramma degli eventi sismici.....	24
Figura 18 ITHACA Catalogo delle Faglie Capaci.....	26
Figura 19 Carta Comunale delle zone suscettibili di effetti locali Rischio sismico (PSC 2008 tav.9).....	27
Figura 20 Carta di microzonazione sismica: Individuazione degli ambiti Atto indirizzo 112(PSC 2010).....	27
Figura 21 Carta di microzonazione sismica: valori di Vs e Fattori di amplificazione PGA (PSC 2010).....	28
Figura 22 Carta di microzonazione sismica: valori di Vs e Fattori di amplificazione S.I.(0.5 s <T <sub>0</sub> <1.0 s).....	28
Figura 23 Carta di microzonazione sismica: valori di Vs e Fattori di amplificazione S.I.(0.1 s <T <sub>0</sub> <0.5s).....	29
Figura 24 Schermata Google Earth con parametri della maglia di punti prossima al sito di interesse.....	31

## 1 – PREMESSA

Il presente studio è reso necessario per la variante n.2 al Piano Particolareggiato ex Convenzione Rep.132247 Racc.21171 in Zona C/2 in località Santa Giustina nel Comune di Santarcangelo di Romagna; è prevista la realizzazione di 4 palazzine residenziali.

Figura 1 Vista aerea (Google Maps)



Lo studio si è svolto in riferimento all'Atto di Coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, LR 24/2017) di cui al DPR 630 del 2019, al successivo aggiornamento alla Delibera Num.476 del 12/04/2021 e all'Integrazione di cui alla Delibera Num.564 del 26/04/2021. Si è preso atto della Relazione di Microzonazione Sismica del Piano Strutturale Comunale di Santarcangelo.

Lo studio ha le seguenti finalità:

- a) *descrivere il contesto geologico e geomorfologico dell'area*
- b) *descrivere l'assetto idrogeologico ed eventuali aspetti di vulnerabilità o pericolosità*
- c) *descrivere la stratigrafia del sottosuolo ed i caratteri geotecnici dei terreni al fine di orientare le scelte progettuali*
- d) *definire le caratteristiche sismiche del sito, così come previsto dalla normativa sopra citata.*
- e) *analizzare le pericolosità sismiche locali*
- f) *fornire indicazioni sulle caratteristiche dei terreni del sottosuolo in relazione all'edificabilità*

Sono state quindi eseguite l'analisi dei dati bibliografici, delle indagini in sito disponibili e nuove indagini geognostiche consistenti in penetrometrie statiche con piezocono e rilievi sismici attivi e passivi (MASW e Re.Mi.) e passivi a stazione singola (HVSR). Si dispone in oltre delle prove penetrometriche eseguite nel corso della prima indagine del 2002 (penetrometrie dinamiche leggere PDL e scavi in trincea con escavatore meccanico). Nel corso della campagna geognostica del 2002 erano stati prelevati campioni ed eseguite analisi granulometriche.



## 2 – GEOLOGIA

### 2.1 Inquadramento Geologico e Geomorfologico

L'area oggetto di intervento è descritta dall'Elemento CTR 256101 Santa Giustina e dalla Carta Geologica Regionale CTR 256100 Santarcangelo di Romagna (vedi *Fig. 2 e 3*).

Si tratta di area appartenente alla pianura alluvionale di sinistra idrografica del Fiume Marecchia che è compresa fra la Strada Statale n.9 Via Emilia e la linea ferroviaria Bologna-Ancona.

La zona della provincia riminese è caratterizzata dal passaggio dagli ultimi rilievi collinari appenninici, alle pianure di origine alluvionale e quindi, alla pianura costiera.

La pianura alluvionale è costituita dalla potente conoide del fiume Marecchia, che passa da uno spessore di pochi metri appena a monte della località di Sant'Arcangelo, ad uno spessore di qualche centinaio di metri in corrispondenza della costa; anche trasversalmente all'asse vallivo si registra un notevole inspessimento dei sedimenti alluvionali recenti (vedi *fig.4*). Si tratta di argille, limi-argillosi e/o sabbiosi, ghiaie e sabbie alternate in profondità in maniera irregolare secondo le geometrie tipiche delle conoidi alluvionali (vedi *figure 4 e 5*).

Gli ultimi rilievi collinari sono formati prevalentemente da sedimenti marini depositi dal Pleistocene (Sabbie di Imola) che, con la loro origine in ambiente di transizione, marcano il passaggio fra i depositi francamente marini (Argille Azzurre, Arenarie e Argille di Savignano), ed i depositi continentali alluvionali. Il substrato del materasso alluvionale è quindi costituito dai sedimenti marini che affiorano sui primi rilievi.

La tettonica compressiva che caratterizza questo tratto di regione appenninica si estrinseca in fronti di sovrascorrimento, accavallamenti e nella peculiare coltre alloctona che ha subito imponenti traslazioni orizzontali e i cui terreni si sono in buona parte depositi in un antico oceano ligure-piemontese. A questi elementi si sommano sistemi di faglie trasverse (in parte ancora attive) con andamento "antiappenninico" e cioè SW-NE.

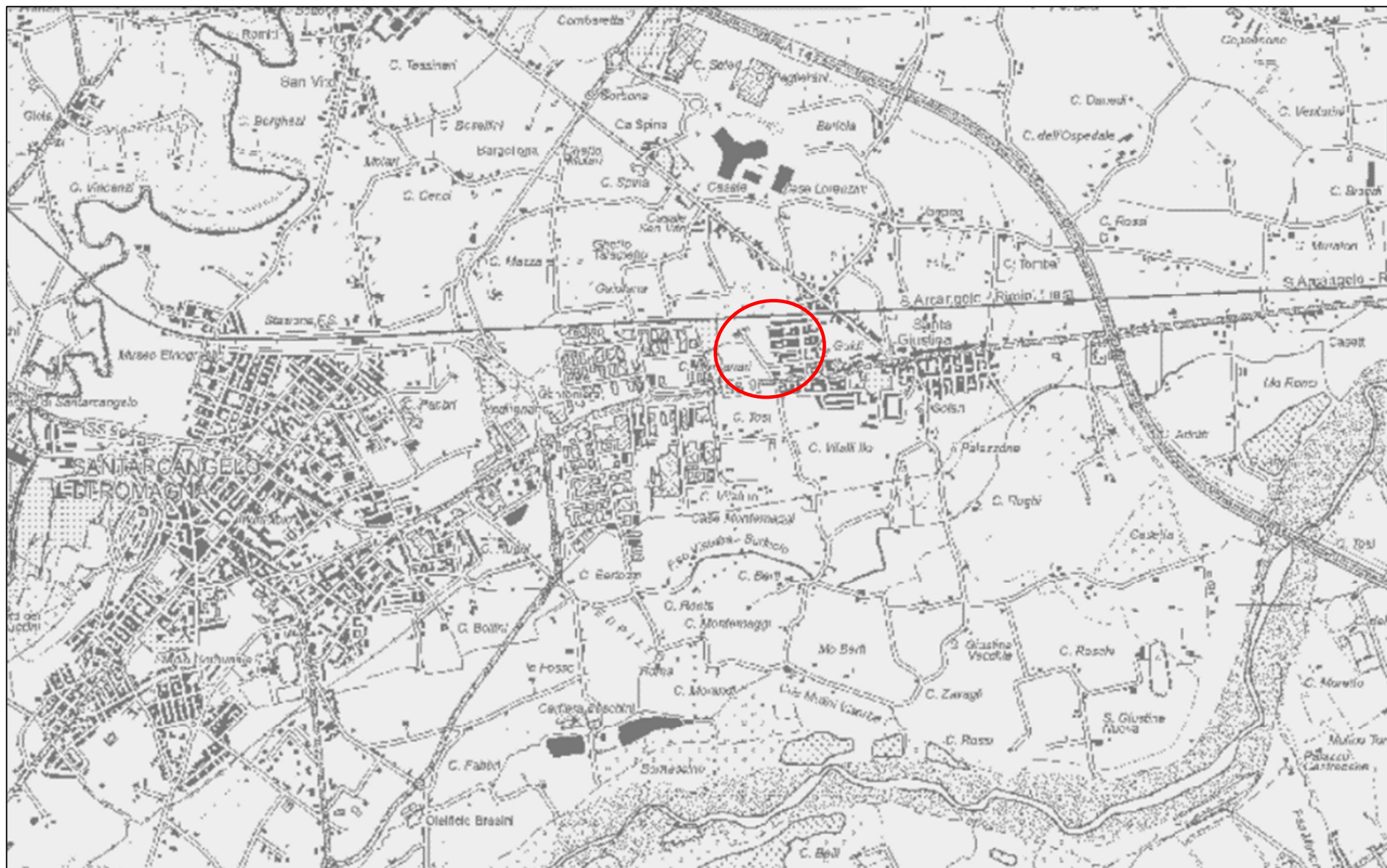
I processi deposizionali, che danno origine ai terreni di interesse applicativo, sono condizionati dalle deformazioni che l'evoluzione tettonica impone definendo aree in sollevamento ed altre subsidenti; in queste si sono instaurati i bacini dell'Avanfossa appenninica adriatica. La geometria della coltre alluvionale nella Valmarecchia esplicita queste dinamiche.

#### *Condizioni geologiche e geomorfologiche locali*

Nell'area in studio il sottosuolo risulta costituito da sedimenti alluvionali il cui spessore, come accennato, è dell'ordine delle centinaia di metri; si tratta della zona di transizione fra le alluvioni di conoide ghiaiose "amalgamate" e la zona di valle in cui si distinguono orizzonti ghiaiosi alternati a strati pelitici che hanno, verso valle, spessori via via crescenti.

La presenza di depositi ghiaiosi superficiali e gli orli di terrazzo fluviale indicano il percorso di un paleoalveo entro cui si trova l'area in studio.

Figura 2 Inquadramento cartografico





Dettaglio Elemento CTR 256101 Santa Giustina









Figura 4 Tracce sezioni stratigrafiche

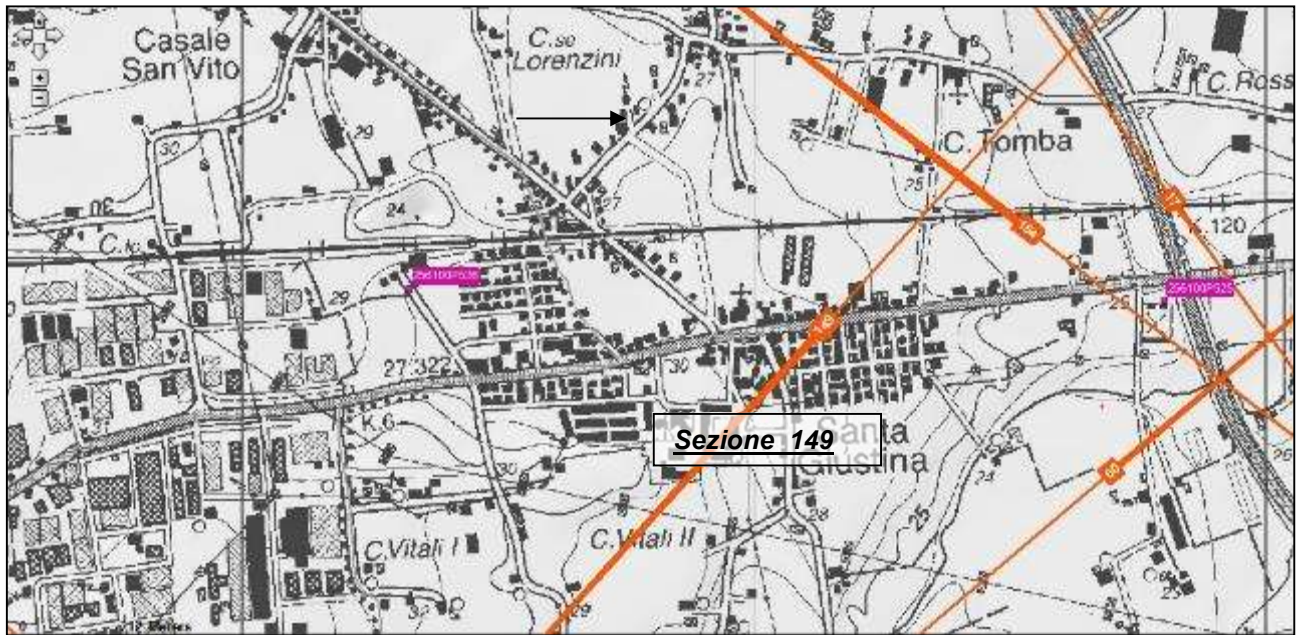


Figura 5 Sezione Longitudinale Conoide del Marecchia

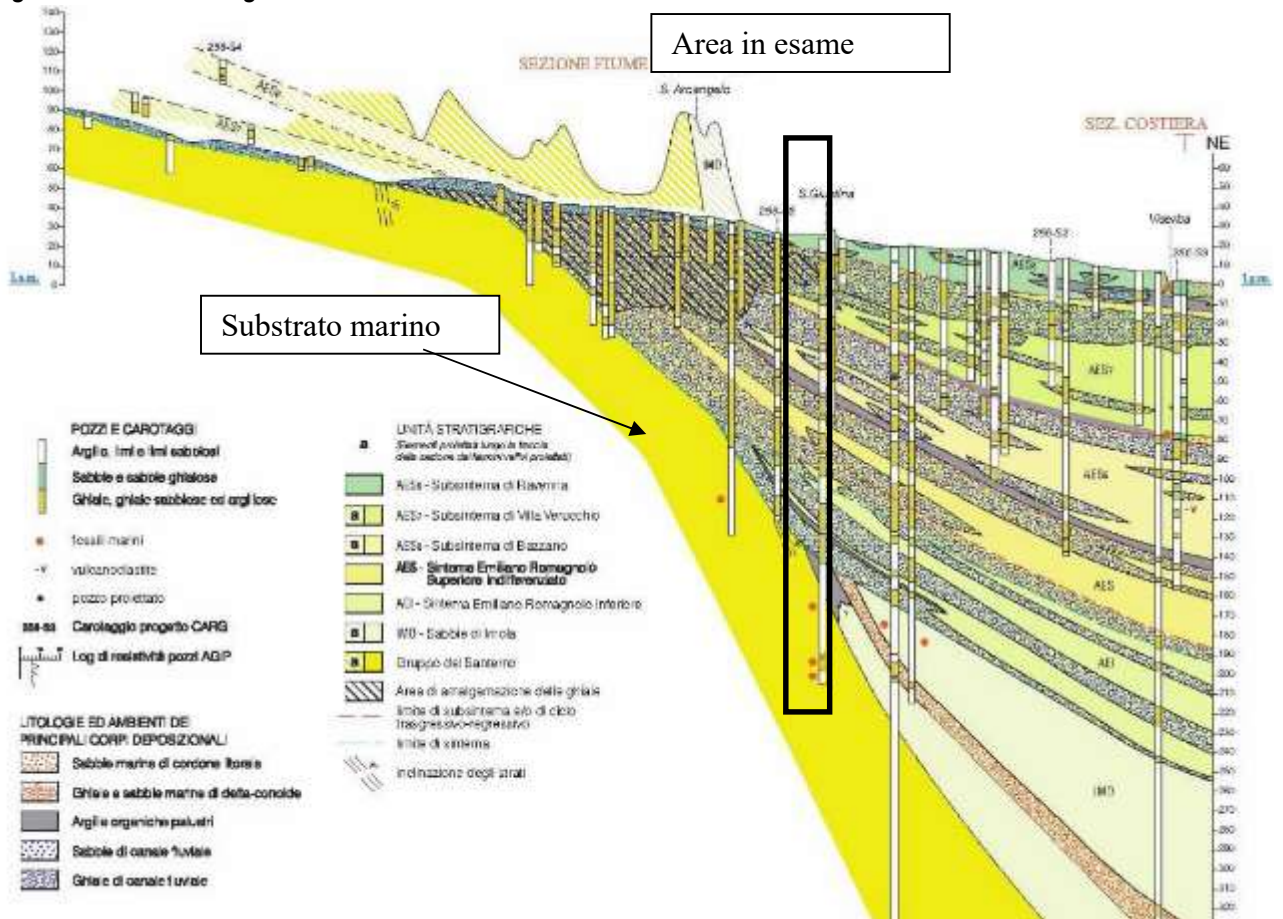
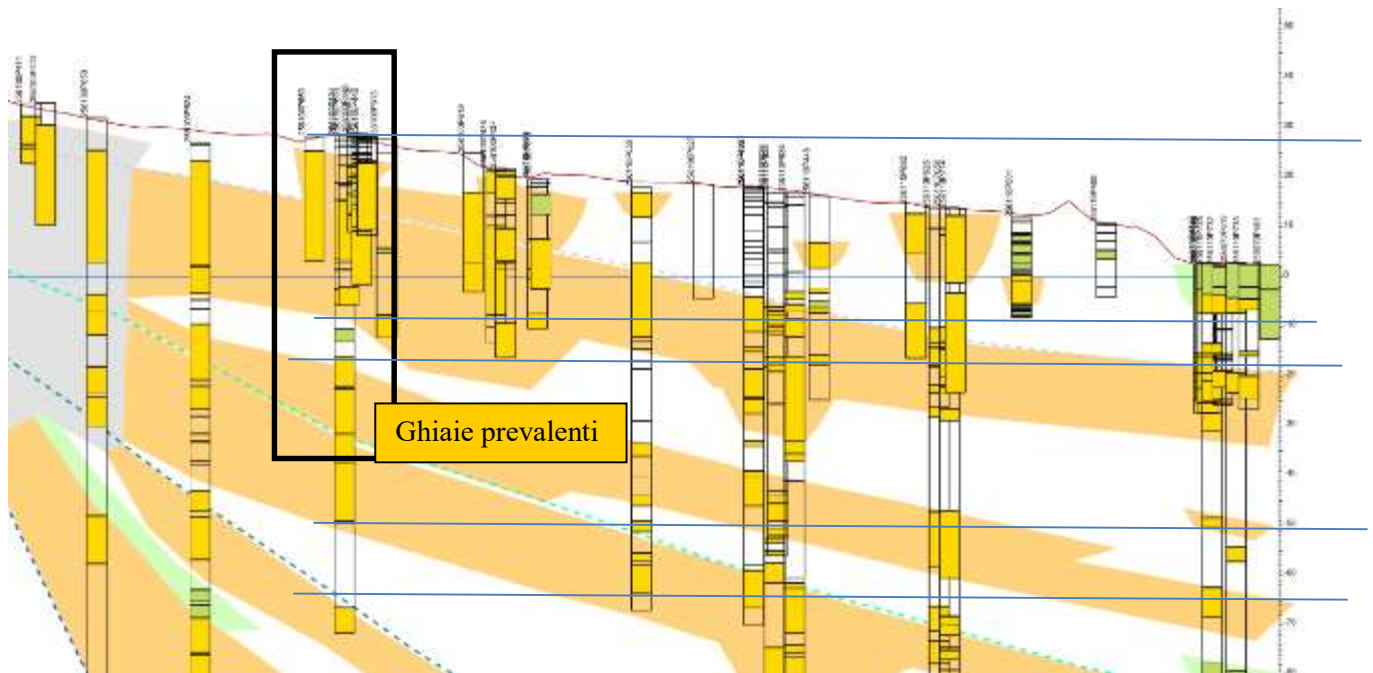


Figura 6 Sezione 149



### Stratigrafia

I depositi alluvionali (e in parte marini), che poggiano in discordanza sui depositi marini del Gruppo del Santerno o delle Sabbie di Imola, sono distinti in Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES) e Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (AEI). Ai fini del corrente lavoro è di interesse il Subsintema di Ravenna (AES8) che appartengono al Sintema Emiliano Romagnolo Superiore. Questo è così descritto dalle Note Illustrative della Carta Geologica Regionale:

#### Subsintema di Ravenna (AES8)

*Depositi alluvionali eterometrici dati da ciottoli, sabbie e limi. Corrisponde nelle aree intravallive ai depositi terrazzati più bassi. Rientrano in questa unità anche le alluvioni attualmente in evoluzione in alveo e quelle del primo terrazzo, talora fissate da arbusti. Limite superiore coincidente con il piano topografico, dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno, al tetto, colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'orizzonte decarbonatato da 0,3 ad 1 m e contengono reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a. Limite inferiore coincidente, in affioramento, con una superficie di erosione fluviale o con il contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo non calcareo al tetto di AES7. (Pleistocene sup. - Olocene*

Dalla carta dello spessore delle coperture del PSC di Rimini, il cui confine è prossimo all'area di interesse, si possono trarre le seguenti informazioni:

- la base del Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (AEI) è compresa fra -100 e -150 metri (slm)
- la base del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (AES) è inferiore a -100 metri (slm)
- sono presenti ghiaie al tetto del Subsintema di Villa Verucchio (AES7) a circa -25 metri (slm)

## 2.2 Idrogeologia

Alla base della esigua copertura pelitica è presente un orizzonte di ghiaioso che in ragione della elevata permeabilità costituisce un naturale drenaggio alle acque di superficie. Ciò si traduce in un regime idraulico dinamico in profondità con una percolazione molto più lenta negli orizzonti più superficiali. E' logico quindi attendersi che eventuali ristagni idrici superficiali derivati dagli eventi meteorologici intensi, possano in tempi relativamente rapidi estinguersi.

Falde idriche sono presenti negli orizzonti ghiaiosi più profondi presenti da oltre 10-12 metri dal pc ed oltre i 30 metri dal pc; tali orizzonti sono confinati da strati argillosi e possono generare falde in pressione.

Non è stata rilevata falda nel corso delle indagini e dai dati derivati dal database geognostico

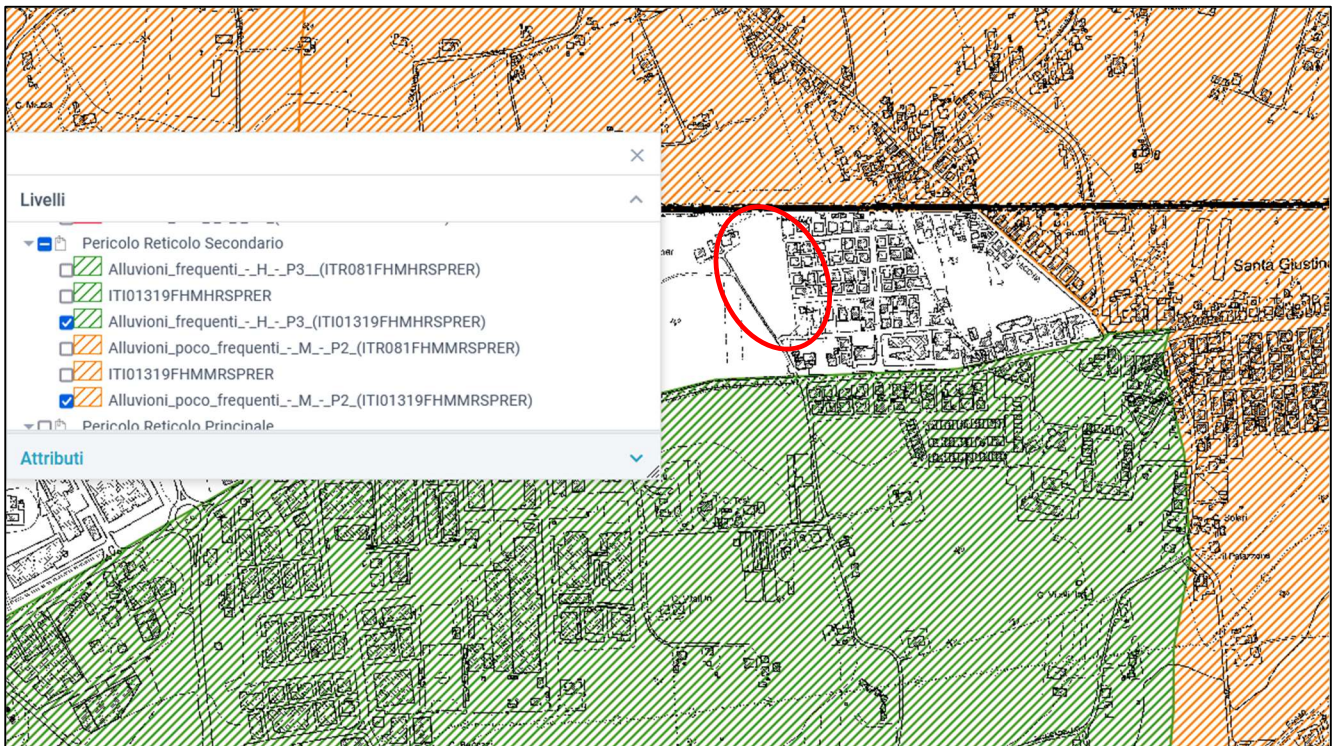


regionale e dalla Carta dell'idrogeologia del PSC di Santarcangelo si evince che la falda ha una profondità superiore ai 10-12 metri dal pc.

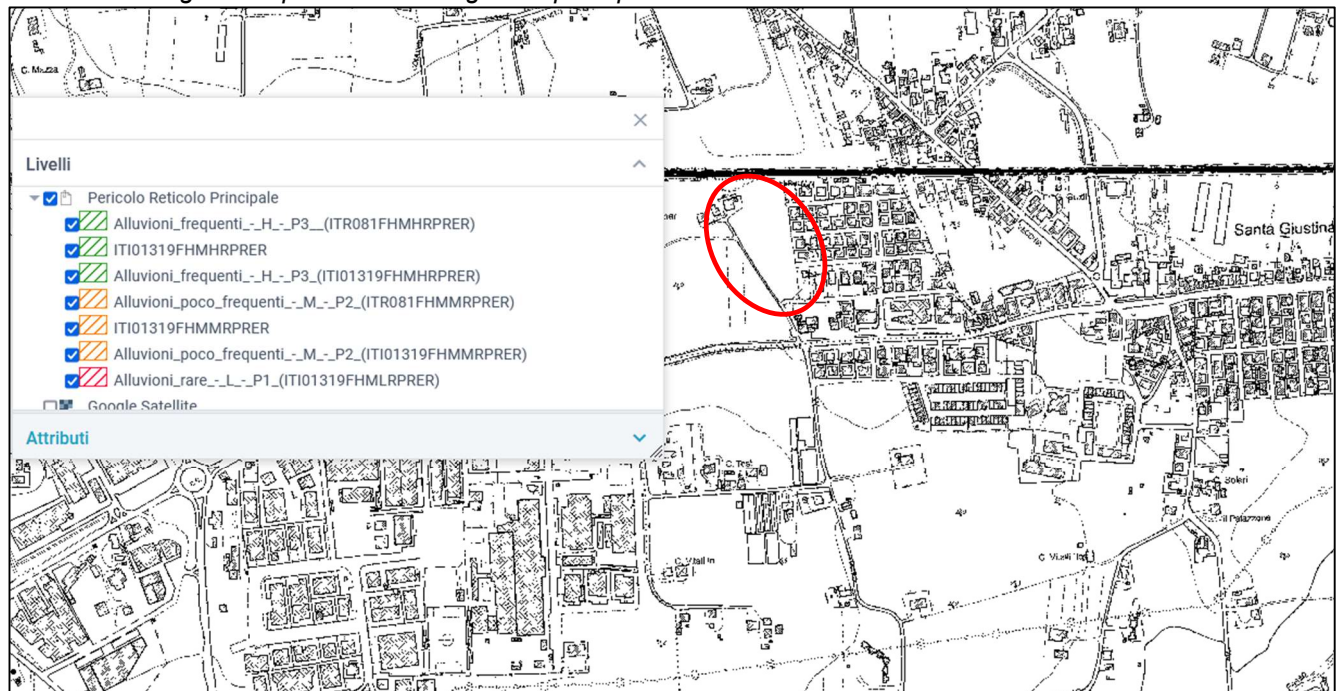
Dal *Piano Gestione Rischio Alluvioni* recentemente adottato dall'Autorità di Distretto del Po (e consultabile sul sito cartografico della Provincia di Rimini <http://opensitua.provincia.rimini.it/webgis/PGRA/>), si evince che per l'area esiste un rischio legato al reticolo idrografico secondario (alluvioni frequenti e alluvioni poco frequenti).

Non sono previsti rischi per alluvioni legate al reticolo idrografico principale o secondario.

Figura 7 Rischio allagamenti per reticolo idrografico secondario



Rischio allagamenti per reticolo idrografico principale

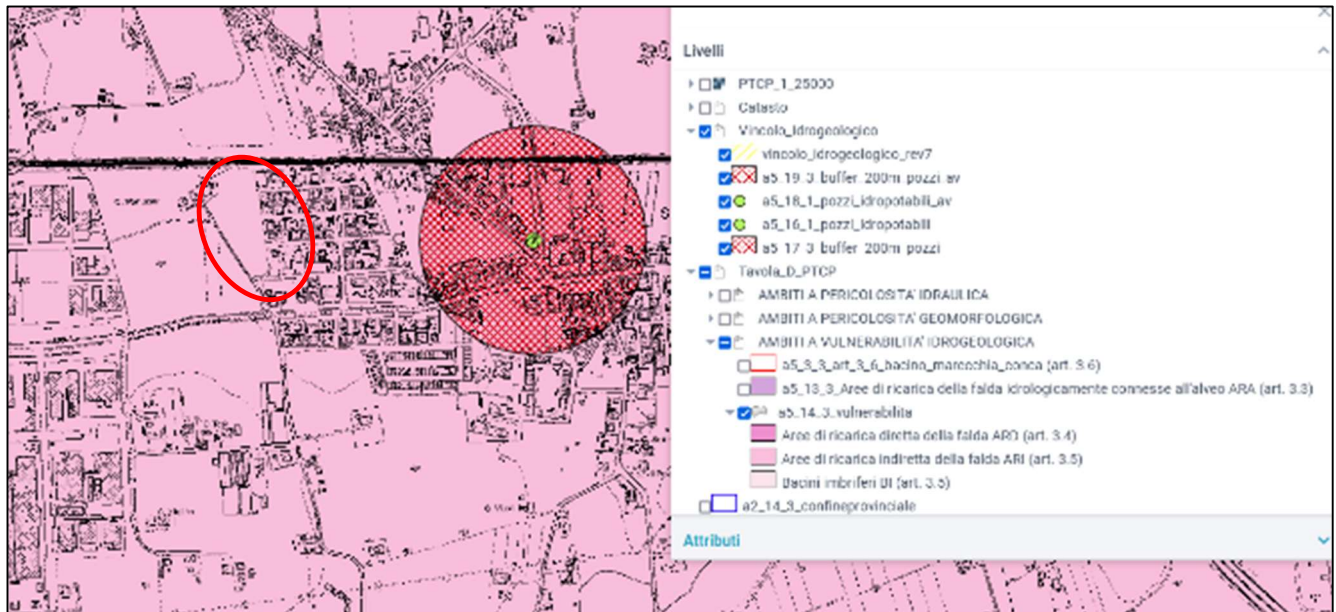




### Vulnerabilità idrogeologiche

Dalla tavola D “Rischi ambientali” del PTCP della Provincia di Rimini risulta che sulla zona in esame grava l’articolo 3.5 che, nell’ambito della “salvaguardia degli ambiti a vulnerabilità idrogeologica”, tutela la ricarica delle falde idriche, mirando ad un’eccessiva impermeabilizzazione del territorio:

Figura 8 PTCP Tavola D, Rischi Ambientali



### Articolo 3.5 Aree di ricarica indiretta della falda - ARI e bacini imbriferi – BI

- 1.(D) Al fine di salvaguardare la ricarica della falda e la relativa qualità delle acque, ferme restando le disposizioni di cui al precedente art. 3.2, all'interno delle aree di ricarica indiretta della falda e dei bacini imbriferi valgono le seguenti disposizioni:
- sono ammessi interventi di nuova urbanizzazione di norma in continuità al territorio urbanizzato esistente nel rispetto delle disposizioni relative al sistema insediativo e ambientale del presente Piano; b) al fine di limitare il rischio idraulico derivante dallo smaltimento delle acque meteoriche operano le prescrizioni di cui al precedente articolo 2.5. Inoltre nelle Aree di ricarica indiretta (ARI) **i Comuni, nella predisposizione degli strumenti urbanistici generali, a compensazione di eventuali nuove impermeabilizzazioni individuano le aree da destinare a ripascimento della falda per un'estensione di norma non inferiore a quella di nuova impermeabilizzazione**, fermo restando l'obbligo di gestione delle acque di prima pioggia ai sensi dell'art. 10.2 delle presenti norme;
  - nelle aree urbanizzate e nelle aree destinate alla urbanizzazione dagli strumenti urbanistici vigenti o che saranno destinate all'urbanizzazione, nonché nelle aree rurali con particolare riferimento ai nuclei sparsi valgono le disposizioni di cui al comma 6 del precedente articolo 3.3.

### 3– INDAGINI GEOGNOSTICHE

Sul lotto in esame, a cura dello scrivente, sono state eseguite due successive campagne geognostiche: nel Giugno 2002 una prima indagine constava di penetrometrie dinamiche leggere (PDL) e di sondaggi con escavatore meccanico; nel Giugno 2023 sono state eseguite tre penetrometrie dinamiche pesanti (DPSH) ed un indagine geofisica basata su rilievi sismici attivi multicanale (MASW) e passivi a stazione singola (HVSr)

In sintesi si dispone di:

- Tre prove penetrometriche dinamiche leggere (PDL1÷PDL3)
- Tre prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH1÷DPS3)
- Due sondaggi con escavatore meccanico (S1÷S2)
- Rilievi sismici multicanale attivi (MASW)
- Rilievi sismici passivi a stazione singola (HVSr)

Sono consultabili sul database geognostico regionale dati penetrometrici, sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo, stratigrafia di pozzi idrici; dall'archivio personale, a scopo comparativo, sono state considerate le indagini condotte in via Baldini, Via Gaiofana, Via Emilia vecchia..

Figura 9 Planimetria del lotto ed ubicazione punti di indagine



S1, S2, Sondaggi con escavatore 2002  
PDL 1÷3 Penetrometrie dinamiche leggere 2002  
DPSH 1÷3 Penetrometrie dinamiche Pesanti 2023  
MASW + HVSR 2023



Figura 10 Penetrometro Pagani TG63/200 nel corso delle prove

**DPSH1**



**DPSH2**





**DPSH3****3.1 Indagini penetrometriche**

La presenza di ghiaia ha impedito la realizzazione di penetrometrie statiche e imposto la realizzazione di penetrometrie dinamiche pesanti.

Le penetrometrie dinamiche consistono nell'infissione, per mezzo dei colpi dell'apposito maglio, di una batteria di aste munite, all'estremità, di una punta conica e permettono di indagare il sottosuolo anche presenza di sedimenti grossolani. Viene misurato il numero di colpi necessario a fare avanzare la batteria di aste di una lunghezza prestabilita. Sono disponibili differenti configurazioni; nel caso in esame è stata adottata un attrezzatura tipo DPSH e cioè con maglio da 63 kg, volata 75 cm, punte coniche da 20 cmq e passo di lettura 20 cm (precedentemente si era impiegata la configurazione SCPT cioè con maglio da 73 kg).

Si è impiegato un penetrometro da 20 tonnellate di spinta (Foto 10, Pagani TG63/200). L'esecuzione delle prove rispetta le modalità indicate dalle raccomandazioni dell'Associazione Geotecnica Italiana del 1977.

**3.3 Correlazioni fra dati delle penetrometrie dinamiche e parametri geotecnici**

La prova penetrometrica standard (SPT) è quella per la quale sono disponibili la maggior parte delle correlazioni con i parametri geotecnici ed è presa a riferimento. Generalmente si procede quindi correlando il numero dei colpi ricavati dalla prova eseguita (SCPT, DPSH o PDL) a quelli della Prova Penetrometrica Standard (SPT).

*“Normalizzazione” del numero di colpi*

La correlazione fra i vari tipi di penetrometri dipende in prima analisi dalle differenti caratteristiche dei modelli adoperati e cioè, peso del maglio, altezza di caduta, area della sezione della punta, peso delle aste, passo di lettura efficienza energetica del sistema.

Il coefficiente di correlazione C può essere stimato con la seguente relazione proposta da LaCroix e Horn (1973):

$$\text{LaCroix e Horn (1973):} \quad N(\text{spt}) = (W * H) / (6.2 * D^2 * L) * N$$



Dove:  $W$  = peso del Maglio (kg),  $H$  altezza di caduta (cm),  $D$  = diametro della Punta ( $cm^2$ ),  $L$  = Passo di lettura (cm),  $N$  = numero di colpi della prova non standard.

Per il penetrometro utilizzato (Superpesante tipo Meardi-Agi) il coefficiente di trasformazione vale 1.51 (per  $N=1$ ).

In alternativa si è ottenute una correlazione fra le diverse configurazioni previste per i penetrometri dinamici (ad esempio da DPSH a SCPT) facendo ricorso alla Formula degli Olandesi, dalla quale si ricava la Resistenza Dinamica  $R_d$ .

L'equazione deve essere risolta ricavando  $e_2$  da cui si ricava  $N_{spt}$ .

$$\frac{(W_1^2 * L_1)}{(A_{p1} * e_1 * (W_1 + Pa_1))} = R_d = \frac{(W_2^2 * H_2)}{(A_{p2} * e_2 * (W_2 + Pa_2))}$$

“ $e$ ” è detto “rifiuto” ed è il rapporto fra passo di lettura e numero di colpi  $N$ ,  $Pa$  è il peso totale delle aste ed eventualmente del sistema di battuta escluso la massa battente,  $A_p$  è l'area della punta.

A influenzare l'andamento delle prove dinamiche vi sono altri fattori che sono meno facilmente quantificabili e dipendono dal tipo di prove (continue SCPT o discontinue SPT), dall'efficienza del sistema (attrito e elasticità della batteria di aste) e non da ultimo, dalle litologie attraversate.

Per uniformare i risultati ottenuti, Skempton (1986) propose di riportare i valori rilevati ad un valore standard corrispondente ad un'energia del 60 % e propose la seguente relazione.

$$\text{Skempton (1986)} \quad N_{(60)} = N C_E C_B C_S C_R$$

Dove:

$C_E = E_R / 60$  Correzione per il rapporto di energia

$E_R$  = Rendimento del sistema di battuta (norma (ASTM D-4633-86)

$C_B$  = Correzione per il diametro del foro ( $C_B = 1$  per foro 65÷115 mm,  $C_B = 1.05$  per foro 150 mm,  $C_B = 1.15$  per foro 200 mm)

$C_S$  = Correzione per il metodo di campionamento ( $C_S = 1$  Standard,  $C_S = 0.8$  Portacampioni sabbie dense,  $C_S = 0.9$  Portacampioni sabbie sciolte)

$C_R$  = Correzione per lunghezza aste ( $C_R = 0.75$  prof. fino a 3÷4 metri dalla testa battuta,  $C_R = 0.85$  prof. fino a 4÷6 metri dalla testa battuta,  $C_R = 0.95$  prof. fino a 6÷10 metri dalla testa battuta,  $C_R = 1.0$  prof. > 10 metri dalla testa battuta)

Un'ulteriore normalizzazione dei valori del numero dei colpi avviene attraverso la correzione per la pressione litostatica attraverso il coefficiente  $C_N$ .

$$N_{1(60)} = N_{(60)} C_N$$

Liao e Whitman indicano:

$$C_N = (98.1/\sigma_v')^{0.5}$$

Dove:  $\sigma_v'$  pressione litostatica efficace espressa in kPa e  $C_N$  deve mantenersi inferiore a 2 (consigliabile 1.5).

Per tenere conto della litologia si applica un ulteriore fattore di conversione da per passare dal sistema SCTP a quello SPT: si applica un coefficiente pari a uno per i litotipi ghiaiosi e, cautelativamente, pari a due per i litotipi argillosi e limo argillosi.

#### *Correlazioni parametri geotecnici*

Si ritengono ragionevolmente conservative tali relazioni, applicate per ricavare i parametri geotecnici.

Il di peso di volume naturale  $\gamma$  viene stimato in prima istanza con la relazione polinomiale proposta da Bruschi (2005)

$$\gamma = 98,1 \cdot (1,39 + 0,053N_{60} - 0,0011N_{60}^2 + 0,0000076N_{60}^3)$$

**Per terreni granulari** esistono, fra le altre, correlazioni fra il numero di colpi necessari all'avanzamento della punta (*rifiuto*) e l'angolo di attrito interno  $\phi$ , la densità relativa  $D_r$ , il modulo edometrico  $E_d$ .

Angolo di attrito interno

Hatanaka e Uchida (1996)

Valido anche per sabbie limose con fini fino al 30%.  $\phi = 20 + (15.5 N_{1(60)})^{1/2}$ 

De Mello

$$\phi = 19 - 0,38\sigma + 8,73 \text{Log}(N_{spt})$$

Non valida per  $\phi > 38^\circ$ 

$$\sigma = \text{pressione litostatica efficace in } \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Schmertmann

Propone di correlare indirettamente l'angolo di attrito alla densità relativa ed alla granulometria dei materiali granulari con le seguenti relazioni

$$\phi = \text{tg}^{-1} \left[ \frac{N_{spt}}{\left( 12,2 + 20,3 \cdot \frac{\sigma'_{vs}}{p_a} \right)} \right]^{0,34}$$

Densità relativa

Terzaghi e Peck (1967)

La determinazione si esegue normalizzando la resistenza penetrometrica rispetto alla pressione di 1 kg/cmq con la relazione di Liao e Whitman (1986):

$$D_r (\%) = 100 \cdot (N_{1(60)} / 60)^{0,5}$$

Modulo Edometrico

Menzebach e Malcev Indicano le seguenti relazioni

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

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

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

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

**Per terreni coesivi** esistono, analogamente a quanto avviene per terreni granulari, relazioni fra il numero di colpi necessari all'avanzamento della punta (*rifiuto*) e alcuni parametri geotecnici (coesione non drenata  $C_u$ , modulo edometrico,  $E_d$ , OCR ecc.). E' necessario precisare che per terreni a grana fine (coesivi) le determinazioni basate su penetrometrie dinamiche sono meno affidabili rispetto a quelle sui terreni a grana grossa.

Coesione non drenata

Terzaghi e Peck propongono per argille mediamente plastiche

$$C_u = 0,067 \cdot N_{spt}$$

Modulo edometrico

Strout e Butler

$$E_d(\text{kg} / \text{cmq}) = 5 N_{spt} \text{ (argille a media plasticità)}$$

$$E_d(\text{kg} / \text{cmq}) = 6 N_{spt} \text{ (argille a bassa plasticità)}$$

**Rapporto di Sovraconsolidazione** Si adottano le medesime relazioni espone per le penetrometrie statiche basate sulla coesione non drenata.

Ladd e Foot

$$\text{OCR} = (C_u / \sigma_{KK})^{1,25}$$

Dove  $KK=7 - K_p$  e  $K_p$  calcolato secondo la seguente tabella (Con  $KK=0,25$ , se risulta  $KK < 0,25$ )

<i>Profondità media dello strato (m)</i>	$K_p$ $KK < 0,25$ si pone $KK = 0,25$
$P \leq 1$	$K_p = 0,2 P/p$
$1 < P < 4$	$K_p = (0,2/p) + (0,35(P-1)/p)$
$P > 4$	$K_p = (0,2/p) + (0,35 (3/p)) + (0,5 ((P-4)/p)$

### 3.3 - Indagine geofisica

La scelta della metodologia di indagine è dettata da fattori tecnici, operativi, oltre che ovviamente, economici. La determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio con tecniche di misurazione diretta (Down Hole, Cross Hole, Cono Sismico...) impone costi e richiede sforzi, in termini di organizzazione di cantiere, impegno di macchine operatrici (come sonde e penetrometri) e l'utilizzo di apparecchiature di misura, tali da rendere ampiamente conveniente, per i fini perseguiti, ricorrere a determinazioni indirette con prove tipo MASW, REMI o HVSR. Per i vantaggi operativi ed economici (il loro costo è di un ordine di grandezza inferiore a quello di misure dirette) queste tecniche, sono ormai prassi quotidiana per studi relativi a progettazione di fabbricati ordinari in zone geologiche che non presentano criticità specifiche.

Si è optato per un indagine geofisica basata su acquisizioni di sismica passiva a stazione singola (HVSR) e rilievi multicanale attivi (MASW).

L'analisi congiunta dei risultati di questi rilievi con le dettagliate informazioni stratigrafiche, consente di superare i limiti propri delle singole tecniche permettendo di definire con migliore dettaglio ed a maggiore profondità il profilo della velocità delle onde di taglio.

La tecnica HVSR offre la possibilità di evidenziare le frequenze caratteristiche o di risonanza del sito, e quindi permette di tenere conto nella progettazione strutturale, di eventuali fenomeni di "doppia risonanza" terreno-struttura.

In allegato 1 la relazione esplicativa della prova fornisce ulteriori cenni teorici e operativi su tale metodo geofisico.

### 3.4 Rilievo del livello di falda

Non è stata rilevata falda entro le profondità di indagine.

Si ritiene che, escluso i temporanei accumuli idrici superficiali seguenti ai periodi di precipitazioni meteoriche, l'acqua possa rinvenirsi negli strati ghiaiosi oltre i 10 metri di profondità.

## 4 – STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOFISICHE

La stratigrafia è stata ricostruita sulla base delle considerazioni di carattere geologico e dagli esiti delle indagini in sito. Si è fatto riferimento in particolare ai dati penetrometrici, al sondaggio con escavatore ed al sondaggio geognostico della Regione Emilia Romagna 256110P526.

Nel sottosuolo possono essere distinti, ai fini geotecnici del presente studio, i seguenti orizzonti litotecnici:

- Orizzonte superficiale costituita prevalentemente suolo limo argilloso
- Ghiaie eterometriche in matrice limo sabbiosa
- Argilla limosa
- Ghiaie eterometriche in matrice limo sabbiosa
- Argilla limosa – Limi argillosi

In termini generali la stratigrafia può essere sommariamente riassunta dalla tabella che segue che fornisce indicazioni di massima sulle caratteristiche geotecniche desunte sulla base delle correlazioni sui dati penetrometrici che sono state esposte poco sopra.

Dal database geognostico regionale la stratigrafia dei pozzi idrici 256110P601, P603 e P613 e le sezioni stratigrafiche (fig-5 e 6) indicano la presenza di estesi corpi orizzonti ghiaiosi; questi elementi sono stati considerati sia per l'elaborazione dell'indagine sismica, e quindi nella definizione del modello geofisico, sia nelle valutazioni sulla microzonazione sismica.



Figura 12 Sezione stratigrafica..

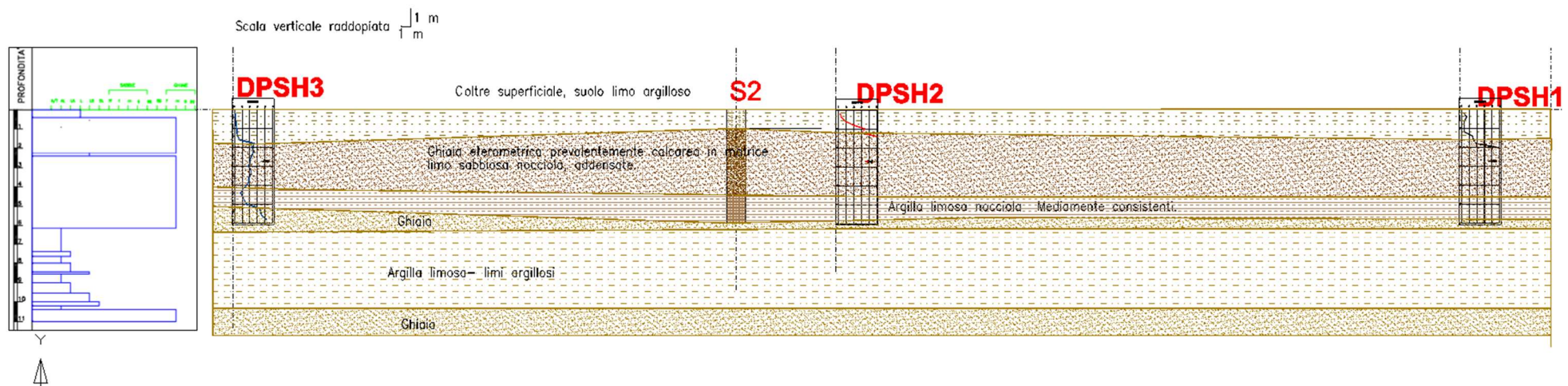


Tabella di riepilogo della Stratigrafia con indicazione orientativa dei parametri geotecnici

Prof.		Descrizione	$\gamma$	$\phi$	Cu	Ed
m			g/cm <sup>3</sup>	°	Kg/cm <sup>2</sup>	Kg/cm <sup>2</sup>
<b>A</b>	0.0÷1.4	orizzonte superficiale costituito da terreni limo argillosi	1.4-1.8	12°-18°	-	
<b>B</b>	0.0/1.4 ÷ 4.2-4.6	Ghiaia eterometrica prevalentemente calcarea addensata, in matrice limo sabbiosa,	1.8-2.0	33°-38°	-	>150
<b>C</b>	4.2-4.6 ÷ 5.6/6.0	Argilla limosa nocciola Consistenti.	1.8-1.9	18°-20°	1.0-2.0	40-80
<b>D</b>	> 5.6/6.0	Ghiaia eterometrica	1.9-2.0	33°-38°	-	>150
<b>D</b>	> 6.8/7.20	Argilla limosa – Limi argillosi Consistenti	1.9-2.0	18°-20°	1.5-2.5	40-80

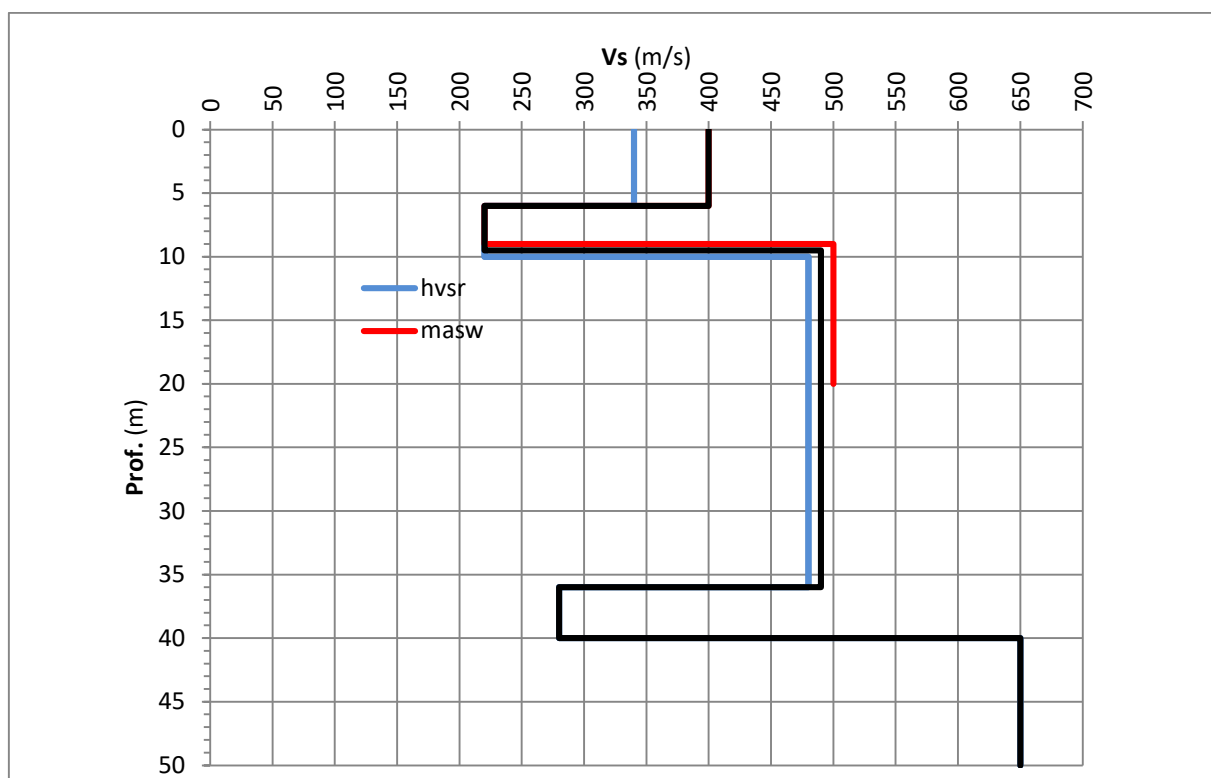


#### 4.1 Risultati dell'indagine Geofisica

Il profilo della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) è ottenuto dall'analisi congiunta dei rilievi MASW e HVSR. In allegato 1 i dettagli dei rilievi e delle elaborazioni eseguite.

MASW			HVSR		
Spessore. (m)	Prof. (m)	$V_s$ (m/s)	Spessore. (m)	Prof. (m)	$V_s$ (m/s)
6.0	6.0	400	6.0	6.0	340
3.0	9.0	220	4.0	10.0	220
inf.	Inf.	500	26.0	36.0	480
			4.0	40.0	280
			inf	inf	650

Figura 13 Velocità onde di taglio (m/s) – profondità (m)



Il grafico sopra riportato evidenzia delle *inversioni di velocità* delle onde elastiche che sembrerebbero definire un quadro in contraddizione con il "miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità" previsto dalle NTC ai fini della definizione della Categoria di Sottosuolo.

Per valutare l'entità dell'inversione di velocità che possa avere significativa influenza sulla risposta sismica locale si può fare riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica della Protezione Civile (\*) che definisce Inversione di Velocità la contemporanea sussistenza delle seguenti quattro condizioni:

1. Terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto  $V_{srig} / V_{ssof} > 2$ ;
2. La differenza fra le  $V_s$  dei due terreni deve essere  $> 200$  m/s;
3. Lo spessore dello strato a minore velocità deve essere  $> 5$ mt
4. La  $V_s$  dello strato più rigido deve essere  $\geq 500$  m/s

(\*) Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7, OPCM 13 novembre 2010, n. 3907). Microzonazione sismica LINEE GUIDA PER LA REALIZZAZIONE DELLA CARTA GEOLOGICO-TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA CON ADATTAMENTO AI CONTESTI VULCANICI Versione 1.0

Nel caso in esame relativamente gli spessori degli orizzonti soffici sono inferiori a 5 metri si ritiene quindi che le inversioni di velocità siano trascurabili.

A rafforzamento di questa considerazione si riporta quanto contenuto nel documento citato sull'influenza delle inversioni in relazione alla geometria ed alle caratteristiche di rigidità:

“Se lo strato intermedio è più soffice, si verificano amplificazioni maggiori rispetto al modello “omogeneo equivalente” fino a profondità di  $h=15-20$  m; con  $h>15-20$  m si verificano amplificazioni minori rispetto al modello “omogeneo equivalente” e per  $h>20-30$  si hanno deamplificazioni ( $F_a<1$ ). Per modello “omogeneo equivalente” si intende un modello che presenti, nel profilo di velocità, un solo strato (oltre al bedrock) con la stessa velocità media pesata (sulla base dello spessore degli strati) del modello con inversione.”

“Se lo strato intermedio è più soffice si possono riscontrare i pochi casi in cui è apprezzabile l'amplificazione rispetto al caso “omogeneo equivalente”, almeno per un input energetico; la presenza dello strato soffice è significativa quando è poco profondo ( $h<10$  m). La tendenza all'amplificazione sparisce quando aumenta lo spessore dello strato soffice ( $D>20$  m) e quando questo si approfondisce ( $h>10-15$  m)”

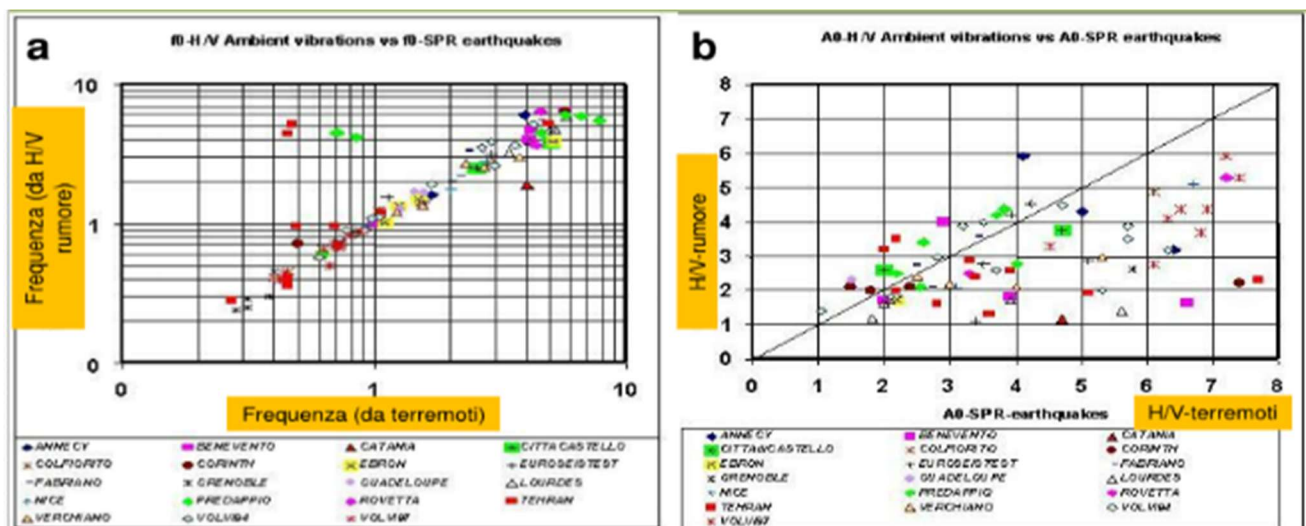
“Infine, i risultati dello studio prevedono che le situazioni nelle quali è possibile trascurare la presenza dell'inversione e utilizzare un modello omogeneo sono quelle in cui si verificano le seguenti tre condizioni:

- è presente uno strato soffice tra due strati rigidi ( $V_{s2} \ll V_{s1}$ );
- lo strato soffice è a profondità modesta ( $h=5-10$  m);
- lo spessore dello strato soffice non è molto grande ( $D>3$  m e  $D<15$  m).

Si ribadisce quindi che le inversioni di velocità, generate da orizzonti pelitici presenti entro strati ghiaiosi rigidi, sono da considerarsi trascurabili ai fini della risposta sismica.

Esiste una buona correlazione fra le frequenze dei picchi H/V rilevate e le frequenze naturali di risonanza di sito rilevate nel corso di eventi sismici; vice versa il rapporto fra il valore H/V di picco e il valore relativo ai terremoti reali vi è una più accentuata dispersione (si veda fig. 14 con frequenza HVSR e frequenza terremoti, H/V da rilievi passivi e da terremoti naturali —tratto da: Sismica passiva con tecniche a stazione singola e antenna, Dario Albarello Univ. Siena)

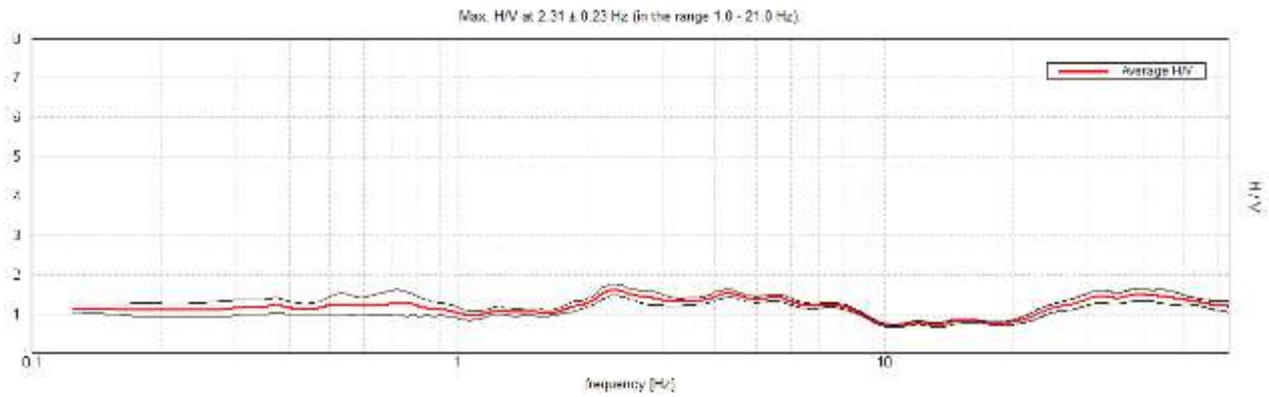
Figura 14 Confronto fra frequenza ampiezza picchi H/V rilevati da terremoti



L'eventuale corrispondenza delle frequenze H/V con quelle proprie delle strutture, anche in considerazione della perdita di rigidità che queste hanno dopo le prime sollecitazioni sismiche, renderebbe più severo l'effetto del sisma (doppia risonanza) ed andrebbe considerato nella progettazione strutturale.

I rilievi H/V eseguiti nel sito di interesse evidenziano moderati picchi a frequenze comprese fra 2.5 e 4.5 Hz (fig.17).

Figura 15 Rapporti spettrali H/V



#### Velocità equivalente delle onde di taglio $V_{seq}$

Secondo l'approccio semplificato definito dalle NTC 2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ .

La Norma definisce quindi il parametro  $V_{seq}$ , *Velocità equivalente delle onde di taglio* con il quale è possibile attribuire la Categoria Sismica di Sottosuolo.

$$V_{s,eq} = H / \sum (h_i/V_{si})$$

Dove:  $h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;  $V_{si}$  Velocità onde di taglio strato  $i$ -esimo,  $H$  Profondità del substrato (Substrato con  $V_s > 800$  m/s e  $H_{max} = 30$  metri)

Applicando la relazione esposta ai valori ottenuti con i due rilievi eseguiti si ottengono valori di  $V_{seq}$ , compatibili con una **Categoria di Sottosuolo B**:

$$V_{seq} = V_{s30} = 374 \text{ m/sec (0÷30 m)}$$

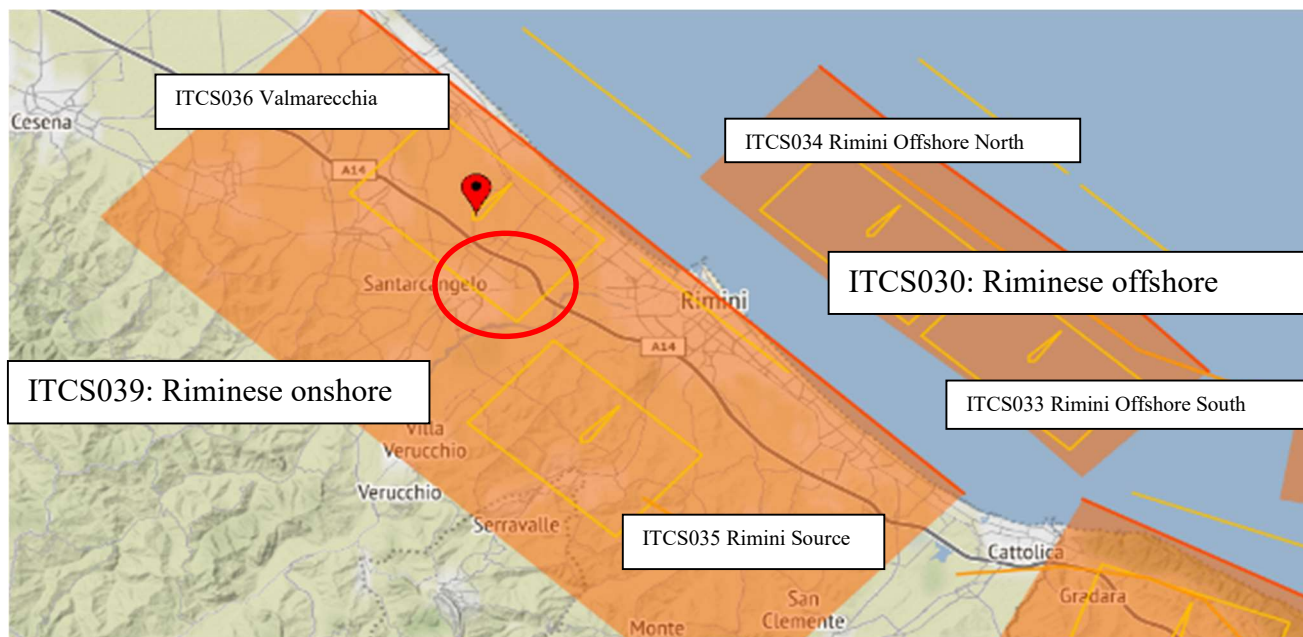
## 5 –RISCHIO SISMICO

### 5,1 Sismicità dell'area

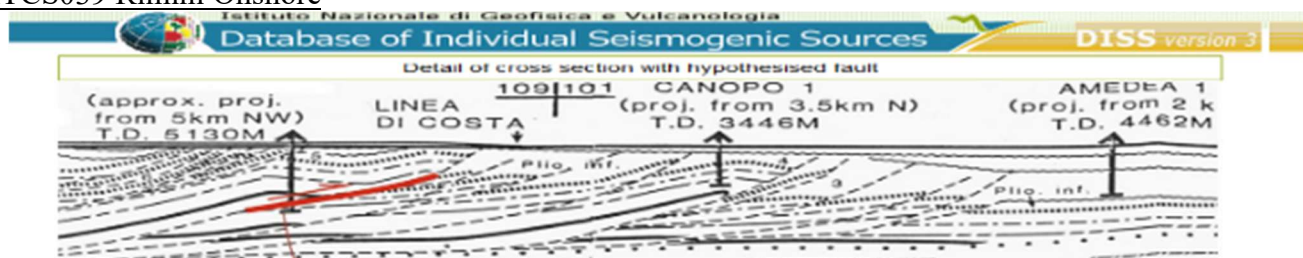
La sismicità dell'area è dovuta alla fascia in compressione più esterna dell'Appennino Umbro-marchigiano con sistemi di sovrascorrimenti (thrust, faglie inverse basso angolo) della catena appenninica settentrionale.

Nella figura seguente (fig. 17) la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.1 Database of Individual Seismogenic Sources (\*); evidenziata in arancione le "zone" indicate come *Composite Seismogenic Sources: ITCS039: Riminese onshore (max  $M_w = 5.9$ ) e ITCS030 (max  $M_w = 6.1$ ) Riminese offshore*. Nei rettangoli in giallo le sorgenti sismigenetiche (*Individual Seismogenic Sources*) ITCS035 Rimini, ITCS036 Valmarecchia, ITCS034 Rimini Offshore North, ITCS033 Rimini Offshore South.

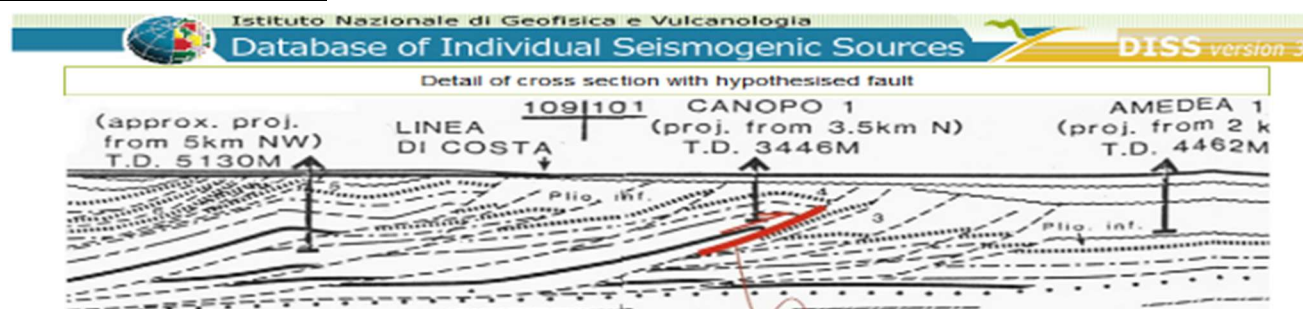
Figura 16 Zone sismogenetiche dal DISS 3.1 (sotto lo schema delle strutture tettoniche attive)



### ITCS039 Rimini Onshore



### ITCS030 Rimini Offshore



(\*) Gruppo di lavoro DISS (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Versione 3.2.1: Una raccolta di potenziali sorgenti di terremoti superiori a  $M 5.5$  in Italia e nelle aree circostanti. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; doi: 10.6092 / INGV.IT-

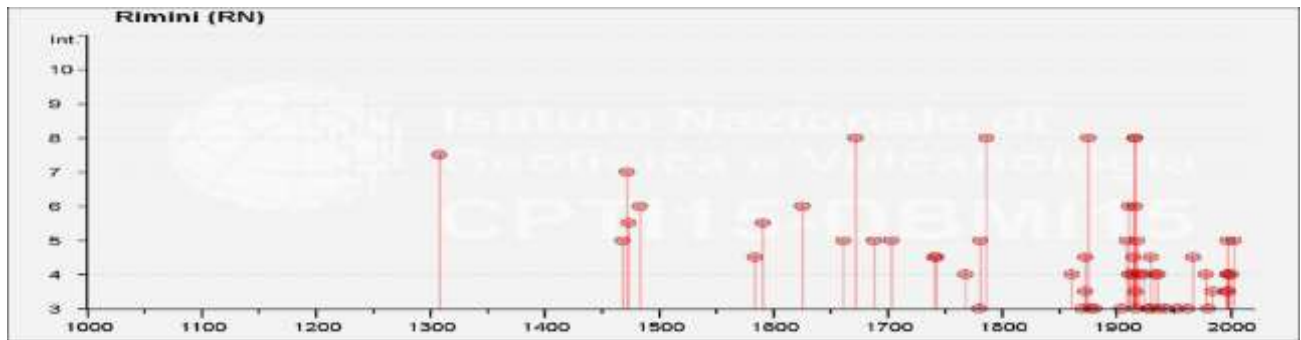
### Eventi sismici

Il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani DBM15 (consultabile al sito dell' INGV) compilato anche in base a rilievi macrosismici (non basati cioè su rilievi strumentali ma sullo studio degli effetti dei terremoti stessi), raccoglie le informazioni che sono state in parte riassunte negli istogrammi e nelle tabelle seguenti (figura 19).

Fra gli eventi che meritano di essere menzionati il doppio terremoto del 17 Maggio e del 16 Agosto 1916 (entrambi  $M_w 5.9$ , Alto Adriatico e probabilmente legati alla zona offshore), il terremoto del 14 Aprile 1672 ( $M_w 5.6$ ) del 25 Dicembre 1786 ( $M_w 5.7$ ) ed i terremoti del 17 Marzo 1875 ( $M_w 5.7$ ). L'area mostra anche una sismicità intermedia sparsa ( $4,5 < M_w < 5,0$ )



Figura 17 Istogramma degli eventi sismici



Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia  
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015

Seismic history of		Rimini	PlaceID: IT_41984	
Coordinates (lat, lon)		44.059, 12.568	No. of reported earthquakes 78	
Intensità al sito	Year Mo Da Ho Mi Se	Epic. area	Io Intensità Epic. Scala MCS	Magnitudo Momento Mw
7-8	1308 01 25 17 15	Rimini	7-8	5.33
7	1472	Rimini	7	5.1
5-6	1473 02 02	Rimini	5-6	4.4
6	1483 08 11 19 40	Romagna	8	5.69
5-6	1591 07 10	Romagna	6-7	5.13
6	1625 12 05	Rimini	6	4.63
8	1672 04 14 15 45	Riminese	8	5.59
8	1786 12 25 01	Riminese	8	5.66
8	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	8	5.74
6	1911 03 26 13 51	Riminese	5	5.04
8	1916 05 17 12 50	Riminese	8	5.82
6	1916 06 16 01 27	Riminese	6	4.82
8	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	8	5.82

(File downloaded from CPTI15 - DBMI15) Fonte dati DBTI15: Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

## 5.2 Magnitudo di riferimento

L'INGV ha prodotto la zonazione sismogenetica del territorio nazionale (ZS9) includendo l'area in studio nella zona sismogenetica 917; si tratta della porzione esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, caratterizzata da terremoti con meccanismi focali di tipo thrust e strike-slip con assi SW-NE.

Relativamente a tale zona sono stati individuati due valori di Magnitudo Momento Mw:

- Mwmax= 6,1; per opere ordinarie e calibrato cautelativamente su dati geologici e sismologici
- Mwmax= 6,14; maggiormente cautelativo, (Vedi "Indicazioni e criteri per la Microzonazione Sismica" a cura del Dipartimento Nazionale Protezione Civile, 2008 (definito per la progettazione di opere di particolare importanza).

*Si consiglia, in ragione dell'importanza dell'opera da realizzare di adottare il valore Mwmax=6.14*

## 5.3– Microzonazione Sismica

Si è osservato che la variabilità dei danni e degli effetti che i terremoti provocano è molto elevata, e spesso correlabile a condizioni locali sfavorevoli dei siti e dei terreni.

I fattori geomorfologici, stratigrafici e geotecnici (condizioni locali) possono modificare, talora amplificandolo, il moto sismico nella propagazione dalla roccia di substrato (bedrock) alla superficie.

Lo studio delle caratteristiche geologiche, la campagna geognostica con le prospezioni geofisiche, consentono di definire le condizioni locali, e quindi di indagare gli effetti di sito; in altri termini di quantificare la modificazione delle caratteristiche dello scuotimento sismico nella propagazione verso la superficie (amplificazione sismica).

Oltre ai fenomeni di amplificazione sismica vi possono essere effetti locali che dipendono dalle caratteristiche geomorfologiche e stratigrafiche del sito. I terremoti infatti, possono indurre, ad esempio,

frane e crolli, addensamento di terreni soffici o ancora, la liquefazione dei terreni sabbiosi.

Per la valutazione degli effetti di sito (amplificazione sismica) e degli effetti locali (nel caso in esame liquefazione e cedimenti post-sismici) si fa riferimento all' *Atto di Coordinamento Tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica* di cui al DPR 630 del 2019, al successivo aggiornamento alla Delibera Num.476 del 12/04/2021 e all'Integrazione di cui alla Delibera Num.564 del 26/04/2021. Si è poi preso atto del PSC del Comune di Santarcangelo di Romagna (2010).

La microzonazione sismica, per l'indirizzo regionale, prevede due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento, che brevemente, possono essere così descritti:

**Prima fase** (è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale) cioè identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ...).

**Seconda fase** ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento: a) un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) e b) una analisi approfondita (terzo livello di approfondimento), come di seguito specificato

- a) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività  $\leq 15^\circ$ , vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità sismica locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico può essere stimata attraverso tabelle e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;
- b) un'analisi più approfondita (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta per la definizione di indici di rischio negli areali che presentano le caratteristiche elencate al successivo paragrafo 2.1, lettera c), specificamente individuati dalla cartografia della pericolosità sismica locale predisposta dai piani di area vasta e recepita nel quadro conoscitivo dei piani urbanistici comunali (vedere Allegato A1).

Nell'ambito della pianificazione si può escludere il Terzo Livello di approfondimento qualora qual ora non sussistano particolari condizioni o rischi che sono specificate al Punto 4.2 del DGR n.564/2021

- 1) nuove urbanizzazioni
- 2) addensamento e la sostituzione urbana (Art.20, comma 4, lettera c, L.R. 24/2017)
- 3) ristrutturazione urbanistica (Art.7, comma 4, lettera b, L.R. 24/2017)
- 4) edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli interventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile e edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.
  - a) aree suscettibili di liquefazione o densificazione
  - b) aree di versante instabili e potenzialmente instabili
  - c) aree con rapide variazioni della profondità del bedrock sismico, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali
  - d) aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte)



Relativamente a questi punti sono valide le seguenti considerazioni:

Per quanto concerne i punti di di 1÷4, la rilevanza dal punto di vista dell'interesse pubblico e le condizioni urbanistiche che danno luogo all'obbligatorietà del terzo livello non sono negli ambiti di competenza dello scrivente e si fa riferimento a quanto indicato dal progettista: non sono previsti edifici strategici o infrastrutture significative e l'area è in territorio urbanizzato.

Per quanto concerne le condizioni geologiche citate ai punti a,b,c, d, valgono le seguenti considerazioni:

Lettera a) non è presente uno strato superficiale sabbioso in falda e quindi esiste il rischio liquefazione/densificazione.

Lettera b) l'area di interesse è pianeggiante e quindi non sussistono problemi di stabilità

Lettera c) i versanti vallivi sono distanti dall'area in esame ed il substrato della copertura alluvionale digrada dolcemente verso valle; lo spessore dei sedimenti continentali è dell'ordine delle centinaia di metri ed alla luce delle indagini penetrometriche ed in base agli approfondimenti geofisici, si può affermare che il modello geologico sia assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

Lettera d) Si esclude che l'area in esame ricada fra quelle dove possono essere riscontrati effetti differenziali legati al contatto laterale fra litotipi diversi e con importanti differenze fra le caratteristiche fisico meccaniche, alla presenza di cavità sepolte o ancora con faglie attive e capaci. In merito a questo ultimo punto si è consultato l'archivio informatico disponibile alla pagina dedicata del sito dell'ISPRA (<http://sqj2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>). Indicativamente, nella zona di interesse, vengono segnalati sovrascorrimenti profondi (thrust) appartenenti all'Arco Romagnolo-Ferrarese. Si tratta quindi strutture che non inducono effetti locali ma che viceversa hanno rilevanza regionale (vedi fig.18) (L'effetto locale che distingue una faglia capace da una ordinaria è la "capacità" di indurre in superficie deformazioni permanenti o meglio secondo il glossario della Protezione Civile: "Faglia attiva ritenuta in grado di produrre fagliazione in superficie cioè la dislocazione istantanea – cosismica – verticale e/o orizzontale dei terreni lungo uno o più piani di taglio")

Figura 18 ITHACA Catalogo delle Faglie Capaci In rosso i sovrascorrimenti profondi appartenenti Sistema Comacchio-Ravenna, nome faglia Rimini - Ravenna (93798)



L'analisi di Primo e Secondo livello è contenuta nel PSC del Comune di Santarcangelo i cui stralci sono riportati nel seguito.

Figura 19 Carta Comunale delle zone suscettibili di effetti locali Rischio sismico (PSC 2008 tav.9)

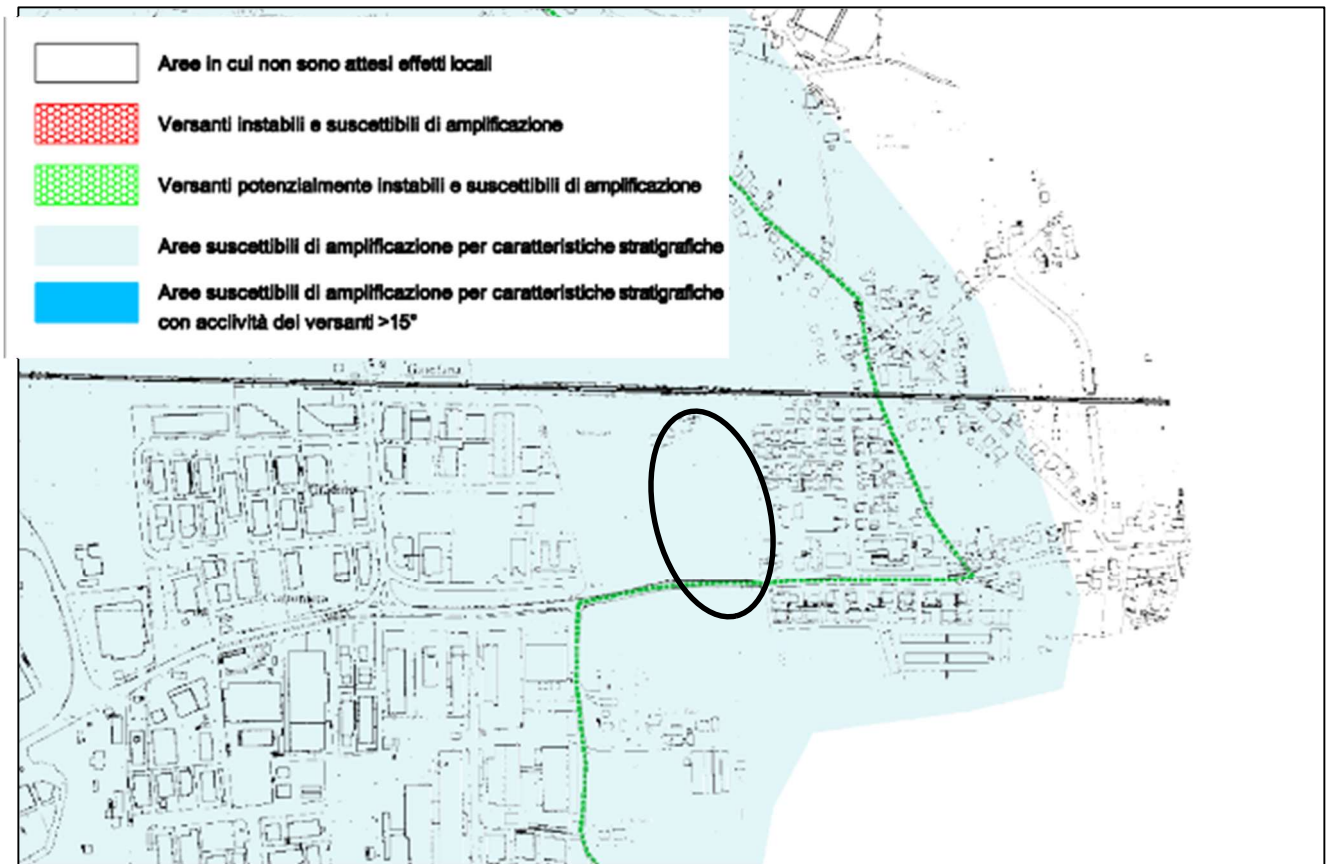


Figura 20 Carta di microzonazione sismica: Individuazione degli ambiti Atto indirizzo 112(PSC 2010)

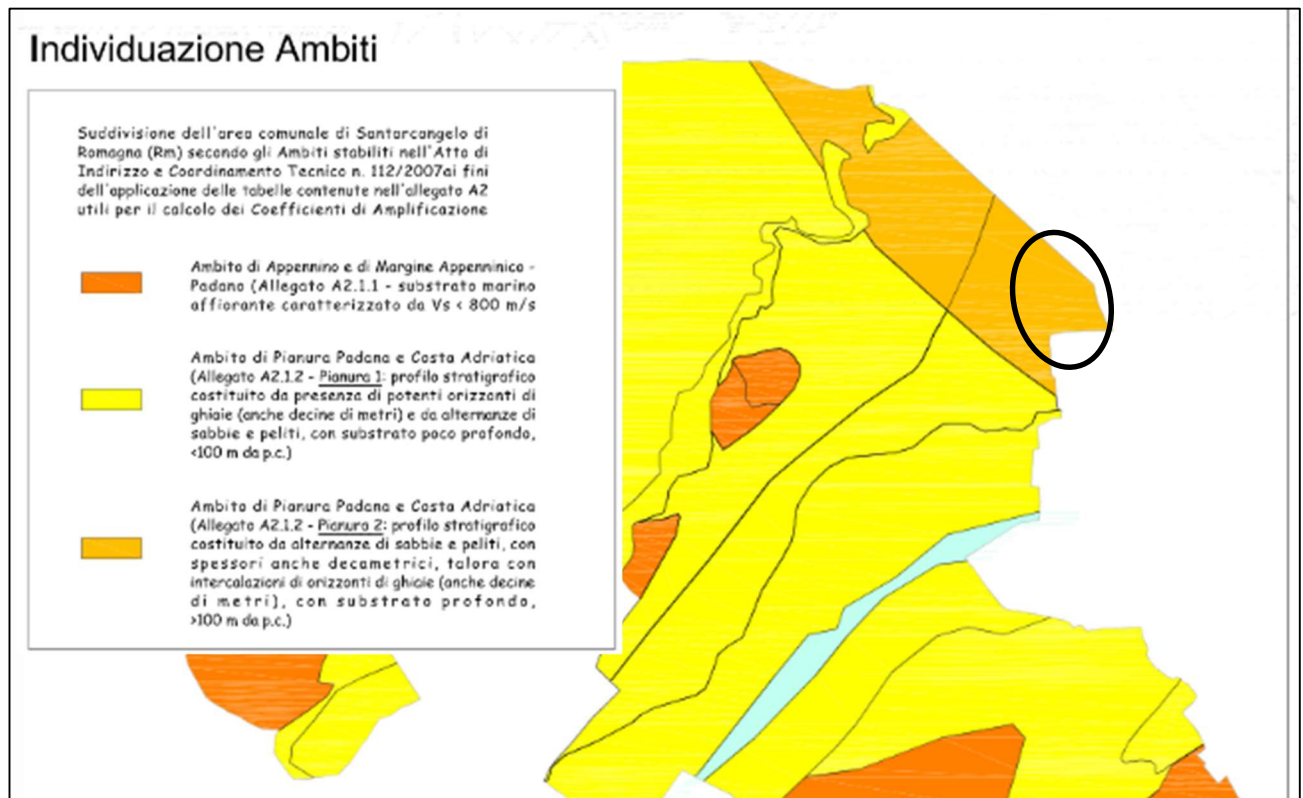




Figura 21 Carta di microzonazione sismica: valori di Vs e Fattori di amplificazione PGA (PSC 2010)

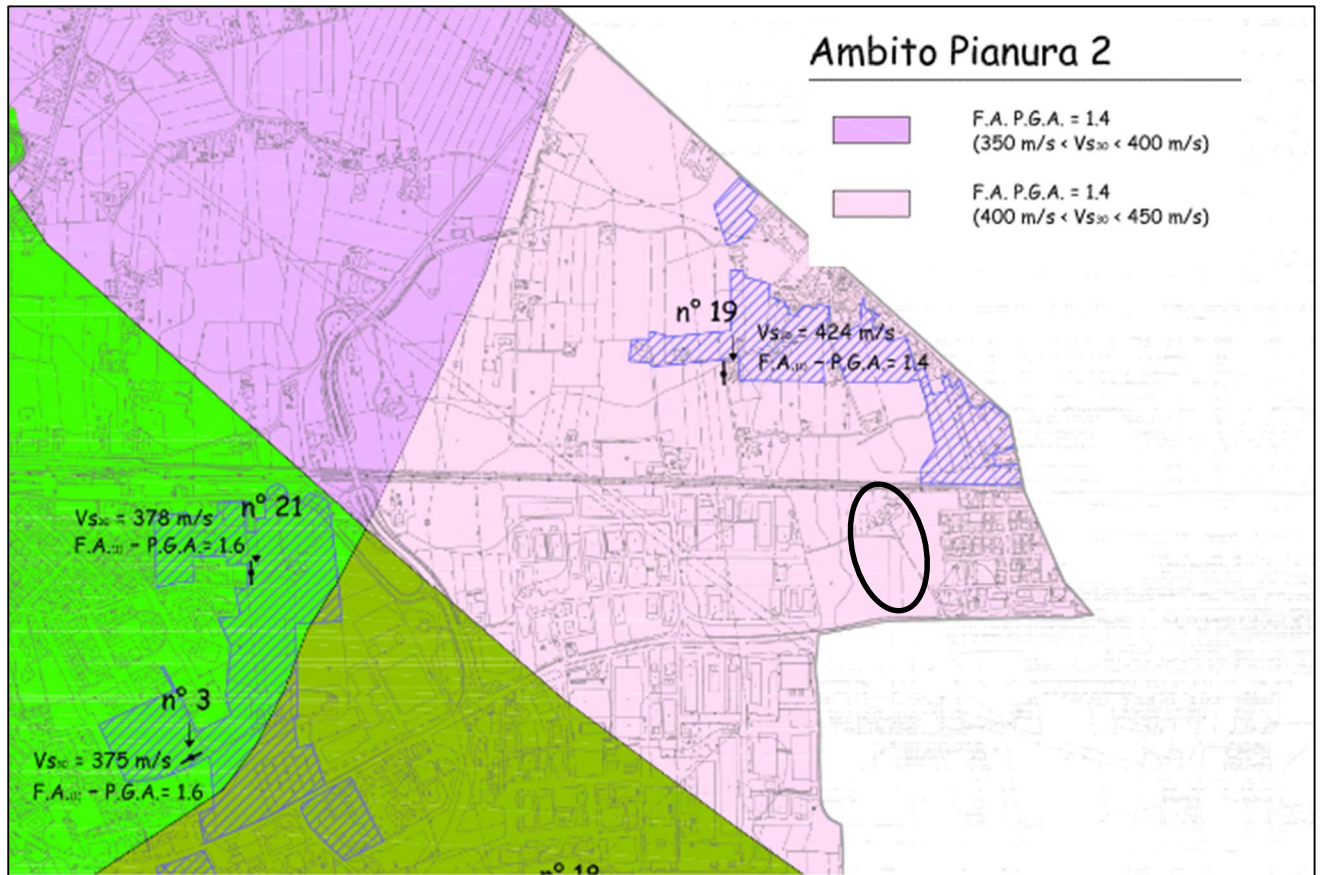


Figura 22 Carta di microzonazione sismica: valori di Vs e Fattori di amplificazione S.I. (0.5 s < T<sub>0</sub> < 1.0 s) (PSC 2010)

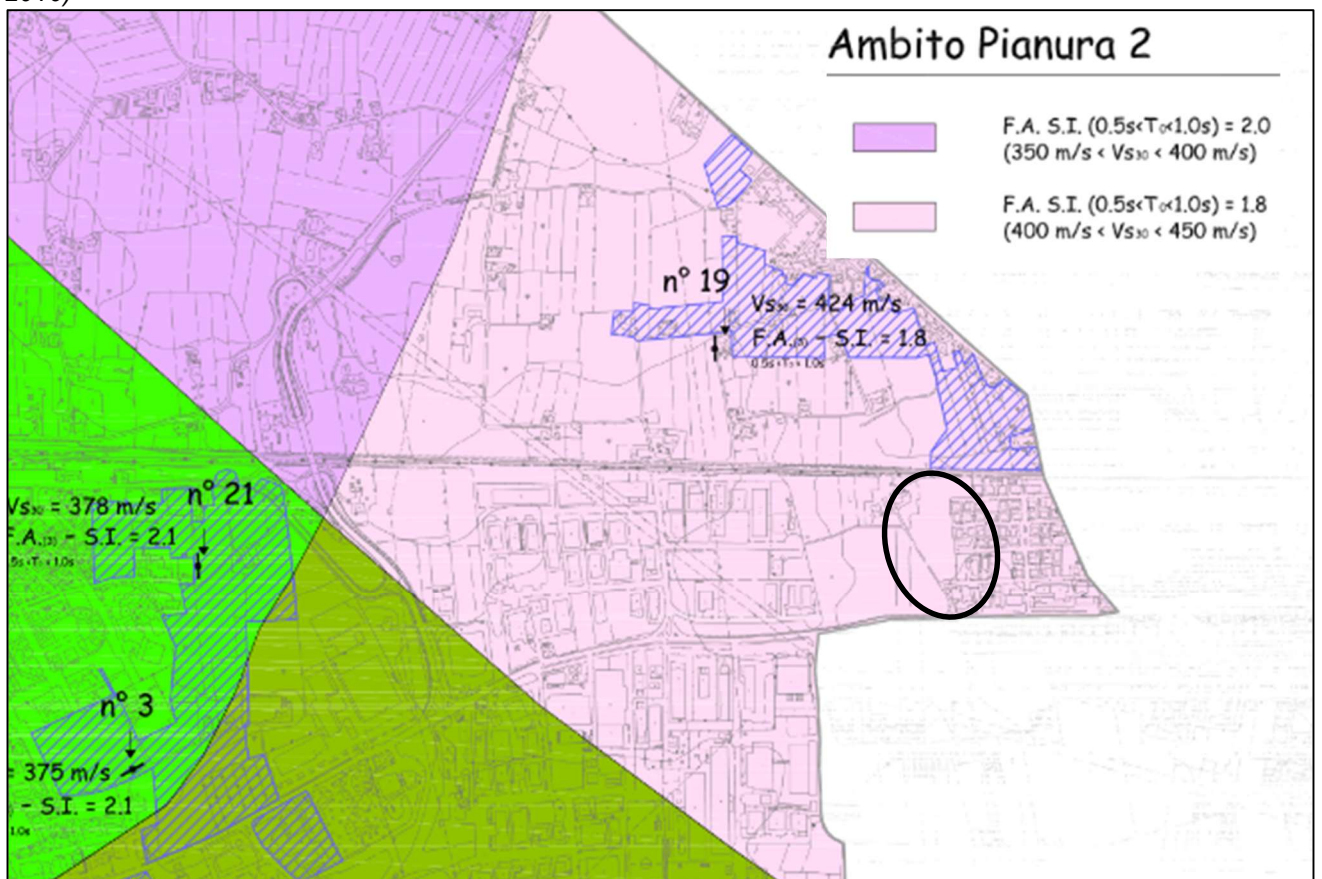
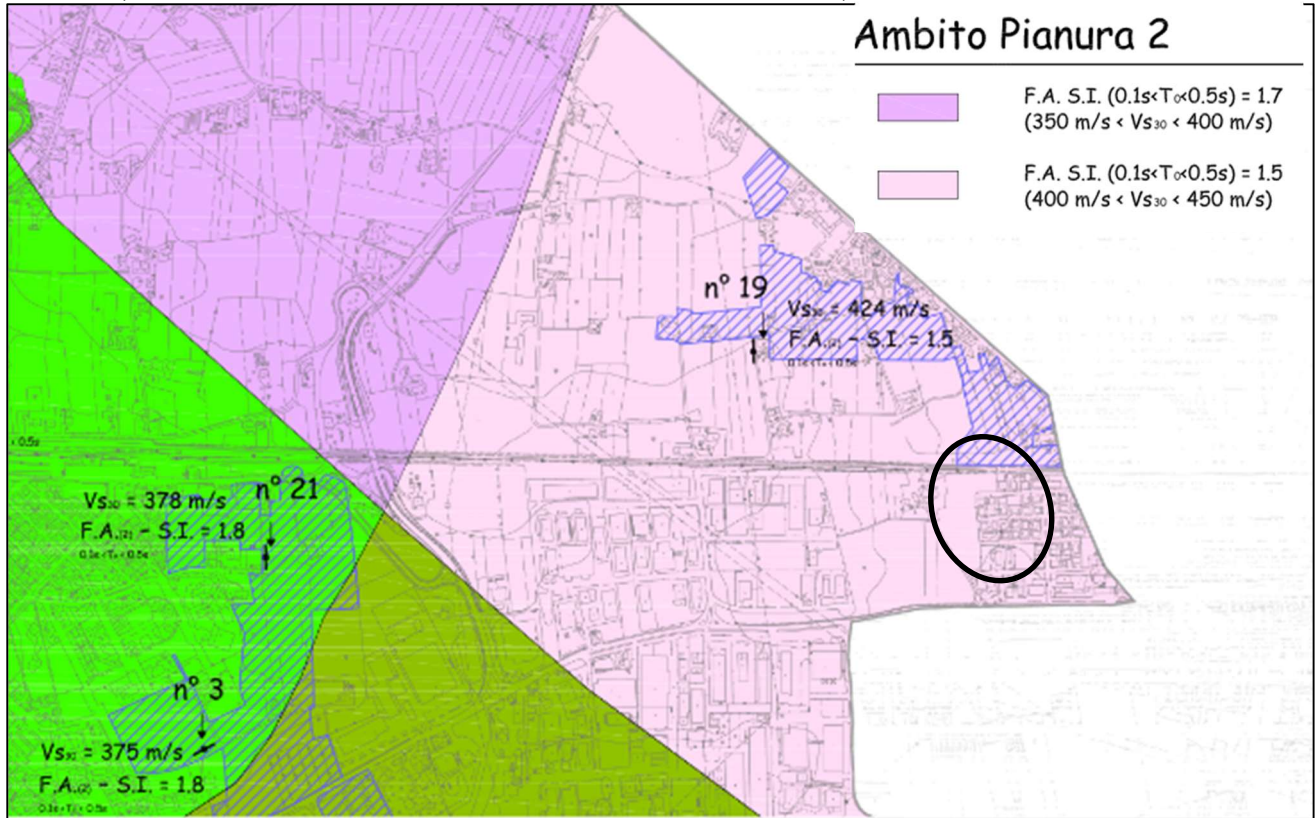


Figura 23 Carta di microzonazione sismica: valori di  $V_s$  e Fattori di amplificazione S.I.(0.1 s  $<T_0<0.5s$ ) (PSC 2010)



Dalle carte di microzonazione si evincono i seguenti risultati:

**Amplificazione di Accelerazione Orizzontale massima (FA<sub>PGA</sub>)**

Fattore amplificazione PGA F.A. = 1.4

**Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (Intensità di Housner) (FA<sub>0.1-0.5 s</sub>) 0,1 s <T<sub>0</sub>< 0,5 s**

Fattore amplificazione S.I. F.A. = 1.5

**Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (Intensità di Housner) (FA<sub>0.5-1.5 s</sub>) 0,5 s <T<sub>0</sub>< 1,5 s**

Fattore amplificazione S.I. F.A. = 1.8

Facendo riferimento alle tabelle dei citati recenti aggiornamenti dell'atto di indirizzo regionale per la microzonazione sismica e sulla base delle nuove indagini condotte, si è rivista la microzonazione di secondo livello già eseguita nel psc del comunale.

Le tabelle dei fattori di amplificazione relative alle zone di pianura contemplano modelli stratigrafici individuati come PIANURA 1,2,3 e MARGINE di tipo A o B. Queste ultime fanno riferimento ad una profondità del substrato geologico (argille Azzurre, Sabbie Gialle) compreso fra 50 e 100 metri dal pc ed appare quindi non adatto alle condizioni del sito di interesse.

Le tabelle relative a PIANURA 2 prevedono un substrato geologico a circa 150 metri e contrasti di impedenza significativi a 100 metri e sono condizioni correlabili alla stratigrafia di interesse dove potenti orizzonti ghiaiosi intermedi possono generare contrasti di impedenza sismica sopra al substrato geologico.



PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ), **SA4** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

**Amplificazione di Accelerazione Orizzontale massima ( $FA_{PGA}$ )**

**Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (Spettro in accelerazione) FA SA**

**Fattore di Amplificazione Intensità Spettrale (Spettro in velocità) FH SI** (Intensità di Housner)

Dal DGR 564 2021

Il fattore di amplificazione ( $F$ ) è dato dal rapporto tra spettro di risposta elastico di output, alla superficie del suolo in esame, e spettro di risposta elastico di input, al suolo di riferimento (rigido e pianeggiante, classe di sottosuolo A delle NTC 2018), per prefissati intervalli di periodi  $T$ , calcolati per un tempo di ritorno  $T_R=475$  anni e smorzamento  $\zeta=5\%$ :

$F_{PGA} = PGA/PGA_0$ , dove  $PGA_0$  è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  al suolo di riferimento e  $PGA$  è l'accelerazione massima orizzontale a periodo  $T=0$  alla superficie del sito;

$FA = SA/SA_0$ , dove  $SA_0$  è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione al suolo di riferimento e  $SA$  è l'integrale dello spettro di risposta in accelerazione alla superficie del sito per prefissati intervalli di periodi  $T$ : SA1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , SA2 per  $0,4s \leq T \leq 0,8s$ , SA3 per  $0,7s \leq T \leq 1,1s$ , SA4 per  $0,5s \leq T \leq 1,5s$ ;

$FH = SI/SI_0$ , dove  $SI_0$  è l'integrale dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) al suolo di riferimento e  $SI$  l'integrale dello spettro di risposta in velocità (o corrispondente grandezza di Housner) al suolo di riferimento e del sito per prefissati intervalli di periodi  $T$ : SI1 per  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , SI2 per  $0,5s \leq T \leq 1,0s$ , SI3 per  $0,5s \leq T \leq 1,5s$

Dovrà essere prodotta anche una carta della distribuzione sul territorio dei valori di  $H_{SM}$  (Naso et al., 2019<sup>18</sup>), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in  $cm/s^2$ ), dato dal prodotto del parametro Acceleration Spectrum Intensity ( $ASl_{UHS}$ ), valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi  $0,1s \leq T \leq 0,5s$ , diviso per  $\Delta T$  (in questo caso pari a  $0,4s$ ) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione ( $FA$ ) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

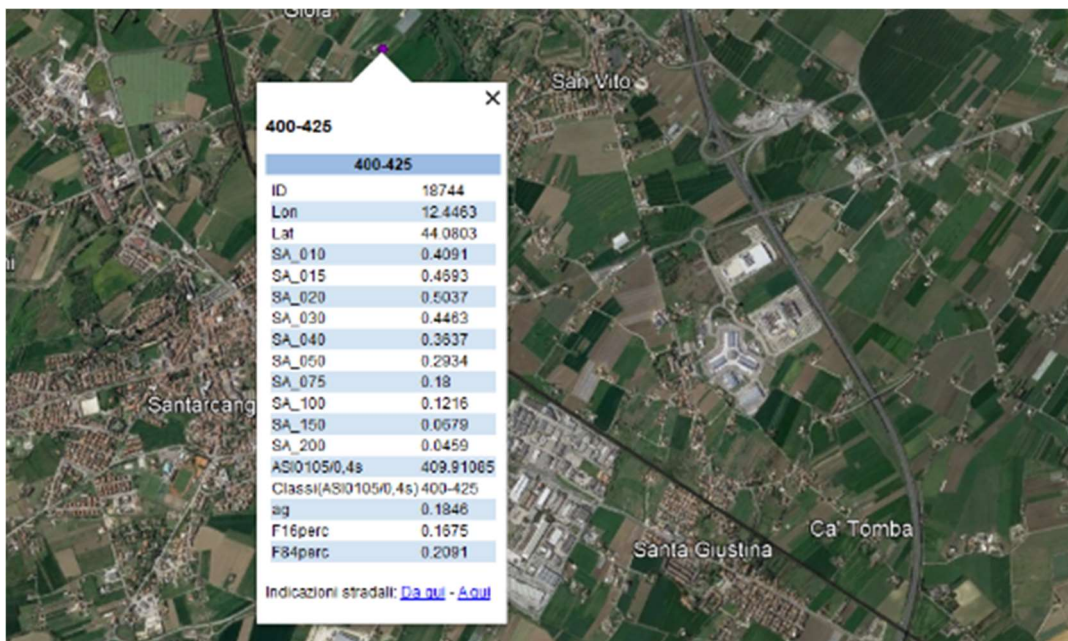
$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di  $ASI_{UHS}/\Delta T$ , calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file PSbaseRER.kmz disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli.

Sulla base di queste indicazioni, dalla pagina di Google Earth (PSbaseRER.kmz vedi fig.24), si evidenziano punti relativi alla classe  $ASI_{0.105}/\Delta T = 400-425$ . I tre punti al contorno dell'area di interesse hanno  $ASI_{0.105}/\Delta T$  rispettivamente pari ha 411, 410 e 405; da questi scaturisce un valore medio  $ASI_{0.105}/\Delta T = 409$ . Dalla tabella dei fattori di amplificazione dallo spettro in accelerazione (derivati dalla tabella alla pagina precedente) si ottiene  $FA = 1.6$

$$H_{SM} = 409 \times 1.6 = 654 \text{ cm/s}^2$$

Figura 24 Schermata Google Earth con parametri della maglia di punti prossima al sito di interesse



## 5,4 Effetti locali: Liquefazione dei Terreni Sabbiosi

### Liquefazione

Per liquefazione si intende il fenomeno di riduzione od annullamento di resistenza al taglio, che può avvenire in caso di forti sollecitazioni cicliche (sisma) nei terreni a prevalente granulometria sabbiosa, in falda. La perdita di resistenza, che si manifesta come fluidificazione dei terreni, è dovuta all'aumento progressivo delle pressioni interstiziali che giungono a contrastare o ad eguagliare la pressione di confinamento. Nel caso in esame i terreni presenti sono di natura argillosa oppure ghiaiosa: si escludono quindi i rischi correlati alla liquefazione. Anche il livello di falda (>10 metri dal pc) è comunque piuttosto profondo per dare luogo a significativi rischi.

## 6 – ORIENTAMENTI GEOTECNICI

I terreni presenti hanno caratteristiche geotecniche discrete e compatibili con fondazioni superficiali per fabbricati ordinari.

La coltre superficiale di natura coesiva ed argillosa può dare luogo a fenomeni di essiccazione con contrazioni volumetriche e dilatazioni nelle fasi di imbibizione.

Sarà necessario preliminarmente alla progettazione geotecnica di fondazioni e parti interrato, eseguire ulteriori indagini geognostiche tese a stabilire gli spessori e le caratteristiche degli orizzonti ghiaiosi.

## 7 – CONCLUSIONI

➤ Il lotto in esame giace sulla pianura alluvionale del Marecchia; la morfologia è pianeggiante ed il sottosuolo è costituito da una potente coltre sedimentaria prevalentemente ghiaiosa che ha spessori complessivi dell'ordine di 150 metri. L'area in esame è nella zona di transizione fra le alluvioni di conoide ghiaiose "amalgamate" e la zona di valle in cui si distinguono orizzonti ghiaiosi alternati a strati pelitici che hanno, verso valle, spessori via via crescenti. Le indagini geognostiche evidenziano la presenza di terreni ghiaiosi addensati già entro il primo metro dal pc.

➤ I rilievi geofisici hanno consentito di definire il profilo di velocità delle onde di taglio e di individuare le frequenze di risonanza del sito; queste, che hanno cause prettamente stratigrafiche sono evidenti indicativamente circa a 2.5 e 8 Hz. Il sottosuolo con una  $V_{seq}=374$  m/s, è annoverabile fra i terreni di tipo B

➤ Al momento delle indagini, Giugno 2023, non è stata rilevata acqua nei fori di sondaggio. Gli orizzonti ghiaiosi superficiali, in ragione della elevata permeabilità, costituiscono un naturale drenaggio alle acque di superficie; è logico quindi attendersi che eventuali ristagni idrici superficiali derivati dagli eventi meteorologici intensi, possano in tempi relativamente rapidi estinguersi. Falde idriche sono presenti negli orizzonti ghiaiosi più profondi presenti da oltre 10-12 metri dal pc ed oltre i 30 metri dal pc; tali orizzonti sono confinati da strati argillosi e possono generare falde in pressione.

Il Piano Gestione Rischio Alluvioni non annovera l'area fra quelle a rischio di allagamenti legati al reticolo idrografico principale o secondario.

Dalla tavola D "Rischi ambientali" del PTCP della Provincia di Rimini risulta che sulla zona in esame grava l'articolo 3.5 che, nell'ambito della "*salvaguardia degli ambiti a vulnerabilità idrogeologica*", tutela la ricarica delle falde idriche, mirando ad un'eccessiva impermeabilizzazione del territorio

➤ La "pericolosità geologica del territorio" dalla sua intrinseca sismicità. Si tratta sia degli effetti di sito, e quindi di amplificazione nella propagazione delle onde sismiche, non sono attesi effetti locali e cioè rischi di liquefazione dei depositi granulari o instabilità di versante.

Per la microzonazione sismica è stata eseguita un'analisi semplificata (secondo livello di approfondimento) facendo riferimento alle tabelle "Pianura 2" del DGR 564 / 2021 risulta:

Fattore di amplificazione della PGA  $F_{PGA} = 1.5$ ,

Fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione  $FA = 1.6-1.9-2.3-2.1$  (rispettivamente per intervalli di periodi T, 0.1÷0.5; 0.4÷0.8; 0.7÷1.1 e 0.5÷1.5 secondi)

Fattore di amplificazione dello spettro in velocità  $FH = 1.7-2.1-2.2$  (rispettivamente per intervalli di periodi T, 0.1÷0.5; 0.5÷1.0; 0.5÷1.5 secondi)

➤ Ai fini edificatori si rileva che i terreni presenti hanno caratteristiche discrete e sono compatibili con fondazioni superficiali per fabbricati ordinari; si ritiene comunque opportuna una puntuale verifica della stratigrafia preliminarmente alla fase di progettazione geotecnica.



**Allegato 1**

**INDAGINE GEOFISICA**

**MASW**

**MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES**

**HVSR**

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

## MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES

### 1 - PREMESSA

La campagna di indagine, eseguita il giorno 8 Giugno 2023, e consta di uno stendimento MASW con 24 geofoni (ed acquisizioni e Re.Mi.) e di rilievi passivi a stazione singola HVSR.

L'analisi congiunta consiste nel generare un modello geofisico del sottosuolo che, in coerenza con la stratigrafia, generi una risposta la più approssimata possibile ai rilievi sperimentali masw e hvsr; questo consente di ridurre le incertezze dei singoli metodi geofisici indiretti. Si sono utilizzati i software Grilla, Geopsy ed il correlato applicativo Dinver, e MASW di Vitantonio Roma.

Figura 1 Ubicazione dell' indagine



### 2 – CENNI SUL METODO MASW

#### 2.1 - Propagazione delle Onde di Superficie

Il metodo si basa sul rilievo di onde di superficie (onde di Rayleigh); queste si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente e sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 2). In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate. Le onde superficiali di

Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92 V_s$ . In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ . La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

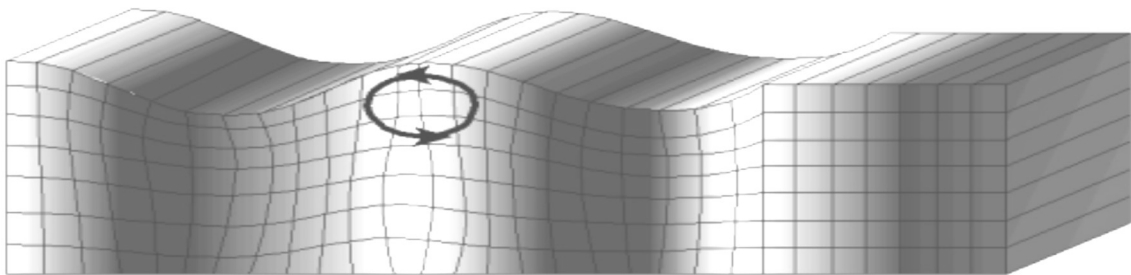
La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati (Fig. 3). Ciò consente, analizzando la variazione delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che dipende dall'inverso della lunghezza d'onda), di determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite il processo detto di "inversione".

## 2.2 – Tecnica Masw

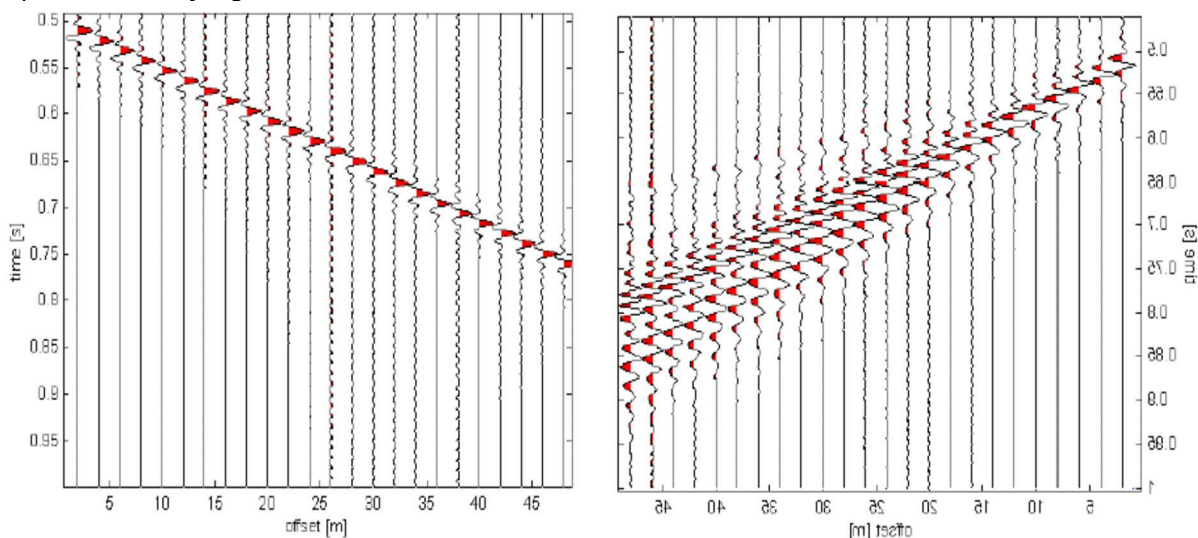
La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali (a 4.5 Hz) e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti tecniche: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time Analysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves); su quest'ultima si basa il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale; successivamente le tracce vengono analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

*Figura 25 Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.*



*Figura 26 Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.*



Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano



negli strati più superficiali, mentre le onde a bassa frequenza raggiungono gli strati più profondi.

Il metodo di indagine MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo -REMI- (Zywicki, D.J., 1999); è qui impiegata la tecnica attiva così definita in quanto le onde superficiali sono generate artificialmente in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente o con fucile sismico). Tale metodo consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenza compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo.

In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, la propagazione delle onde superficiali presenta un comportamento dispersivo (a frequenze diverse corrispondono diverse velocità di fase). Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati diversi ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione. Quindi, nel caso di un mezzo eterogeneo, le onde superficiali non hanno una singola velocità ma una velocità di fase che è funzione della frequenza: tale fenomeno, dipende dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione.

Alle alte frequenze, la velocità di fase coincide con la velocità delle onde di Rayleigh dello strato più superficiale, mentre, alle basse frequenze, l'effetto degli strati più profondi diventa importante, e la velocità di fase tende asintoticamente alla velocità dello strato più profondo come se questo fosse esteso infinitamente in profondità. La curva di dispersione gioca un ruolo centrale nell'utilizzo delle onde di Rayleigh ai fini della caratterizzazione dei terreni, infatti, è funzione delle caratteristiche di rigidità del mezzo e, posto di riuscire a misurarla sperimentalmente, può essere utilizzata per un processo inverso avente come obiettivo la stima delle caratteristiche di rigidità stesse.

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multi-modale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione, e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente (armoniche superiori).

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche con il metodo MASW è una curva apparente, derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che per i limiti indotti dal campionamento non necessariamente coincide con i singoli

modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali può essere suddiviso nelle tre fasi di: 1) Acquisizione 2) Processing 3) Inversione

1) Acquisizione. Successive acquisizioni multicanale dei segnali sismici (Fig. 5), generati da una sorgente energizzante artificiale (mazza battente), ai due estremi di uno stendimento rettilineo di geofoni.

2) Processing. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione delle velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione) (Fig. 6);

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda).

3) Inversione. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle Vs (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);

La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura.

Lo scopo è quello di raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato; l'affidabilità del profilo di velocità Vs trovato durante il processo di inversione è valutata tramite la definizione dell'errore relativa tra le due curve.

### 3 STRUMENTAZIONE E MODALITÀ DI ACQUISIZIONE MASW

La strumentazione utilizzata è composta da: un acquisitore a 24 canali della SARA Electronics Instruments a 16 bit (registratore DOREMI), 24 geofoni da 4.5 Hz e da un notebook. Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza di 8 kg battente su un piattello metallico. E' stato predisposto un stendimento lineare di 48 m di lunghezza con 24 geofoni equidistanziati di 2 m.

Considerando il non trascurabile rumore ambientale di fondo, sono state eseguite numerose energizzazioni per ottimizzare l'operazione di stacking (fig.5).

Figura 27 Stendimento dei geofoni



### 3 – ELABORAZIONE DATI

La prima fase dell'elaborazione consiste nell'ottenere le curve di dispersione di ogni acquisizione (eseguita per mezzo del software MASW V. Roma, 2007). L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "f-k" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo la linea sismica. In questo grafico è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie

Il confronto delle curve consente di scartare eventuali rilievi anomali (disturbati ad esempio dal rumore di fondo), e scegliere un rilievo che risulti ripetibile e stabile, e che garantisca quindi una buona rappresentatività (fig.6). Individuata una curva di dispersione affidabile occorre definire il range di frequenze utili entro cui è possibile assegnare i punti significativi su cui ricostruire il modello attendibile di Vs (piking) (fig.7). Alte frequenze sono relative ai primissimi strati del sottosuolo; alle basse frequenze (cioè per profondità relativamente alte) la curva di dispersione assume contorni poco definiti tendendo rapidamente all'asintoto verticale.

E' stata utilizzata una traccia ottenuta attraverso un'operazione di "stacking" che consente una riduzione del disturbo legato al rumore antropico; si nota comunque che le curve sono molto simili tra loro denotando una buona ripetibilità delle acquisizioni.

Sullo spettro di frequenza prescelto, viene eseguito un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze. Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione del modello interpretativo. Variando la geometria del modello di partenza ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "fitting" con i valori sperimentali. Tale procedura viene eseguita in maniera congiunta e quindi in parallelo a quella analoga, di ricerca della migliore stratigrafia sismica, con metodo HVSR.

#### 3.1 – Dati Sperimentali

Nome del file della traccia: 2023-06-12\_08-15-36\_01000\_00200\_024\_StckAv\_SEG2

Numero di ricevitori: 24, Numero di campioni temporali: 2000, Passo temporale di acquisizione 1 ms

Numero di ricevitori usati per l'analisi; 24, L'intervallo considerato per l'analisi comincia a 0 ms; L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1999 ms

Figura 28 Tracce sperimentali (da stacking)

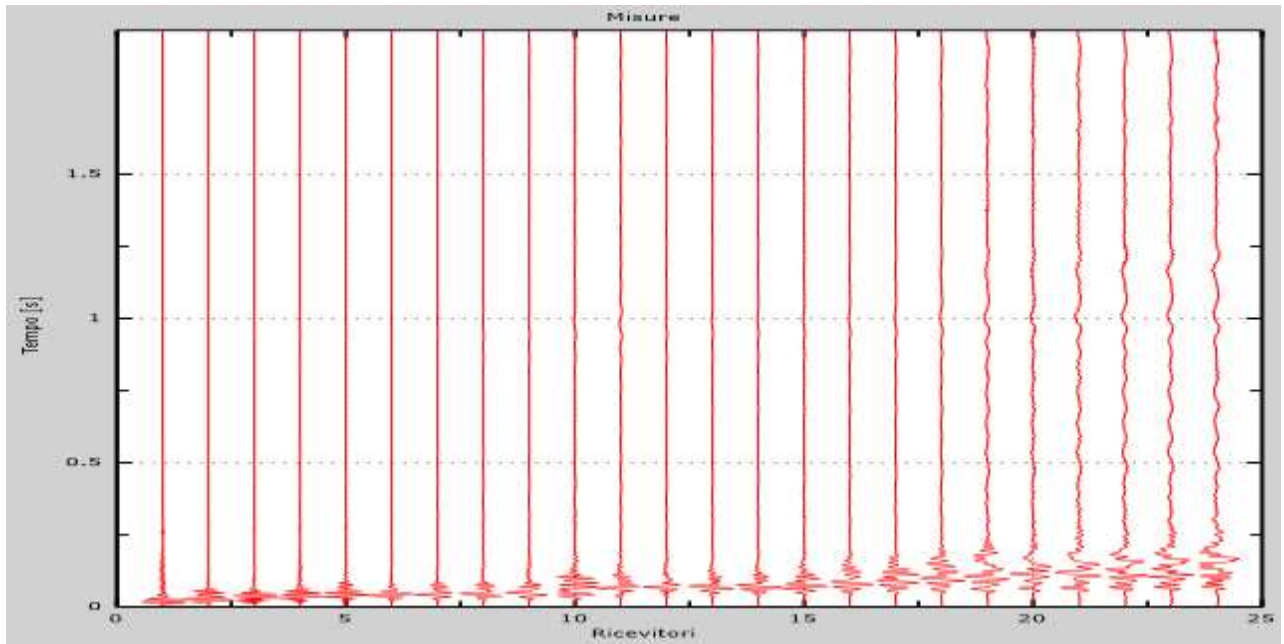
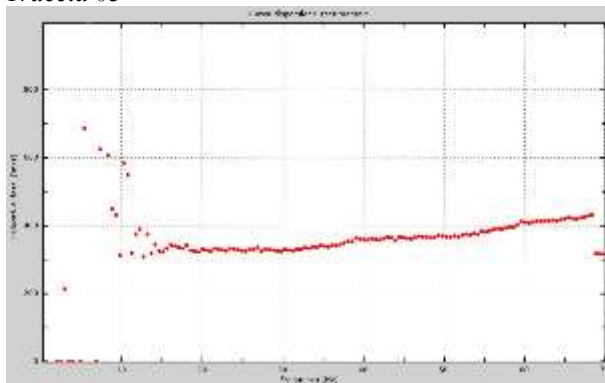
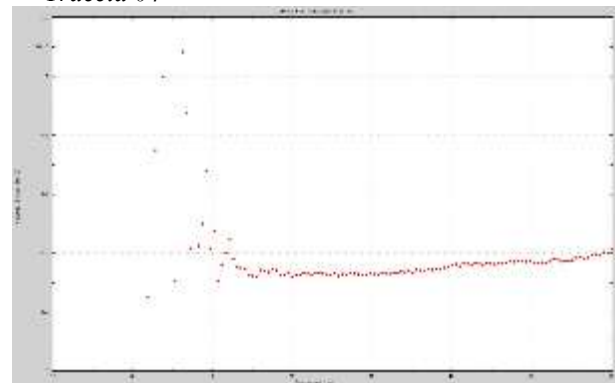


Figura 6 – Confronto fra le Curve di dispersione sperimentali relative a diverse acquisizioni (Curve di dispersione delle velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh, rappresentazione generata dal Software "MASW 2007")

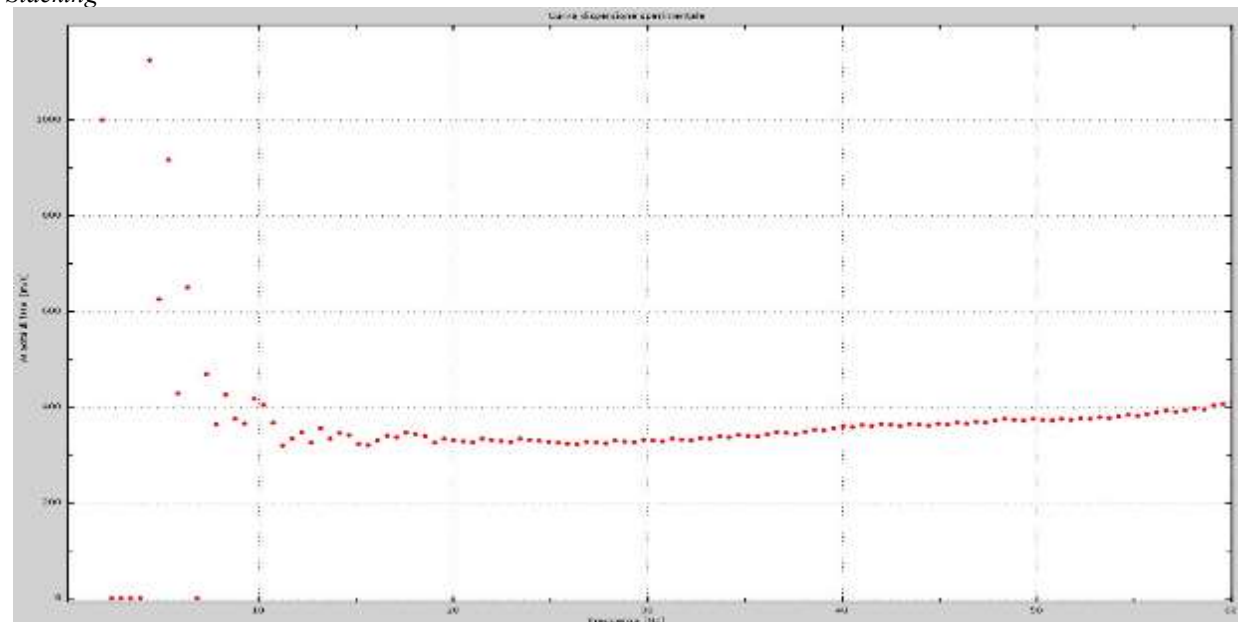
Traccia 03



Traccia 04



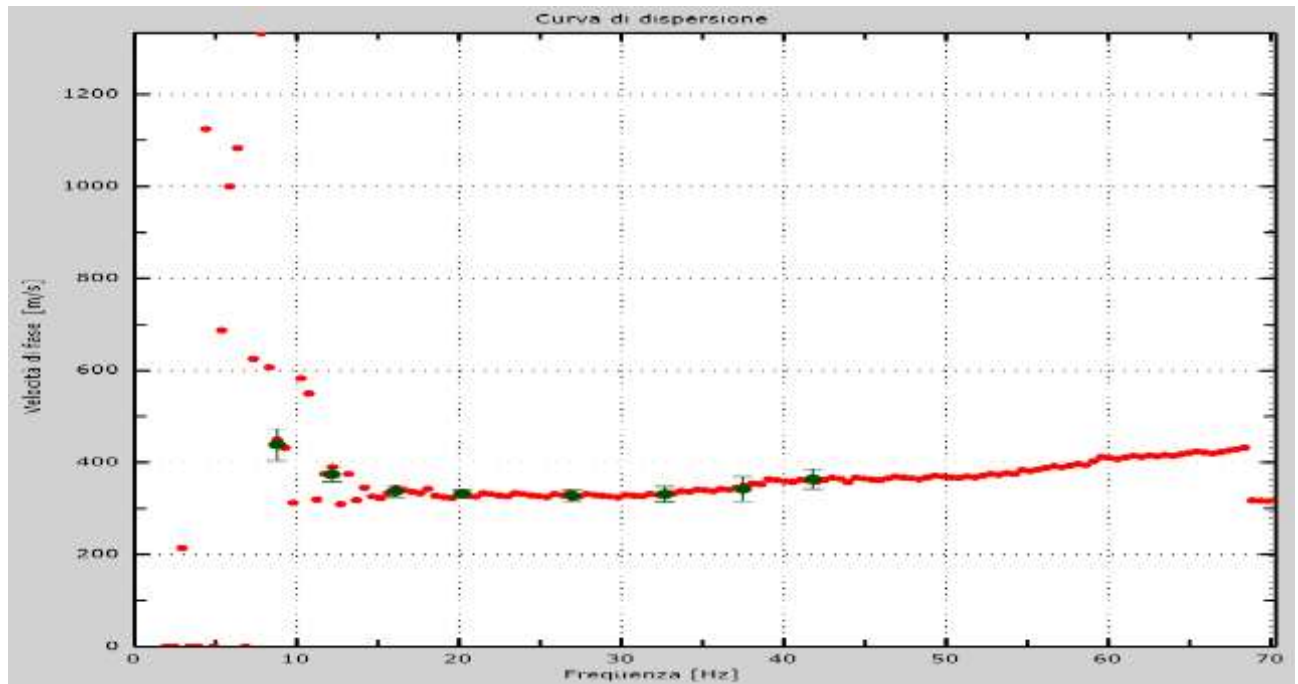
Stacking





## 3.2 – Risultati Delle Analisi

Figura 7 – Curva dispersione sperimentale e Picking

*Picking della curva di Dispersione*

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
8.7905	438.76	403.922	473.599
12.1645	374.06	357.471	390.65
16.0656	337.563	324.291	350.835
20.1777	332.586	324.291	340.881
26.9783	327.609	315.997	339.222
32.6719	330.927	314.338	347.517
37.4693	342.54	315.997	369.084
41.7922	364.107	342.54	385.673

*Profilo in sito*

	h (m)	Z (m)	Vs (m/sec)
Strato 1	6	6	<b>400</b>
Strato 2	3	9	<b>220</b>
Semispazio	-	-	<b>500</b>

Figura 8 – Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigh (ciano), curva apparente (blu), curva numerica (rosso)

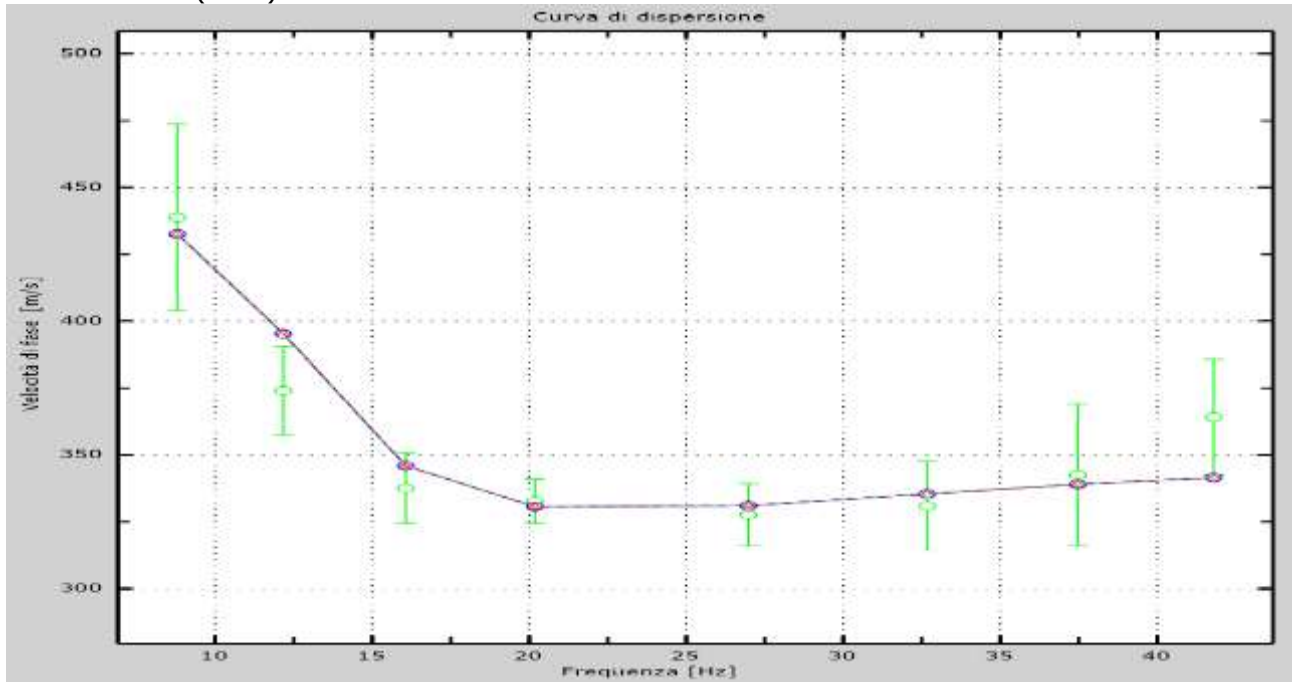
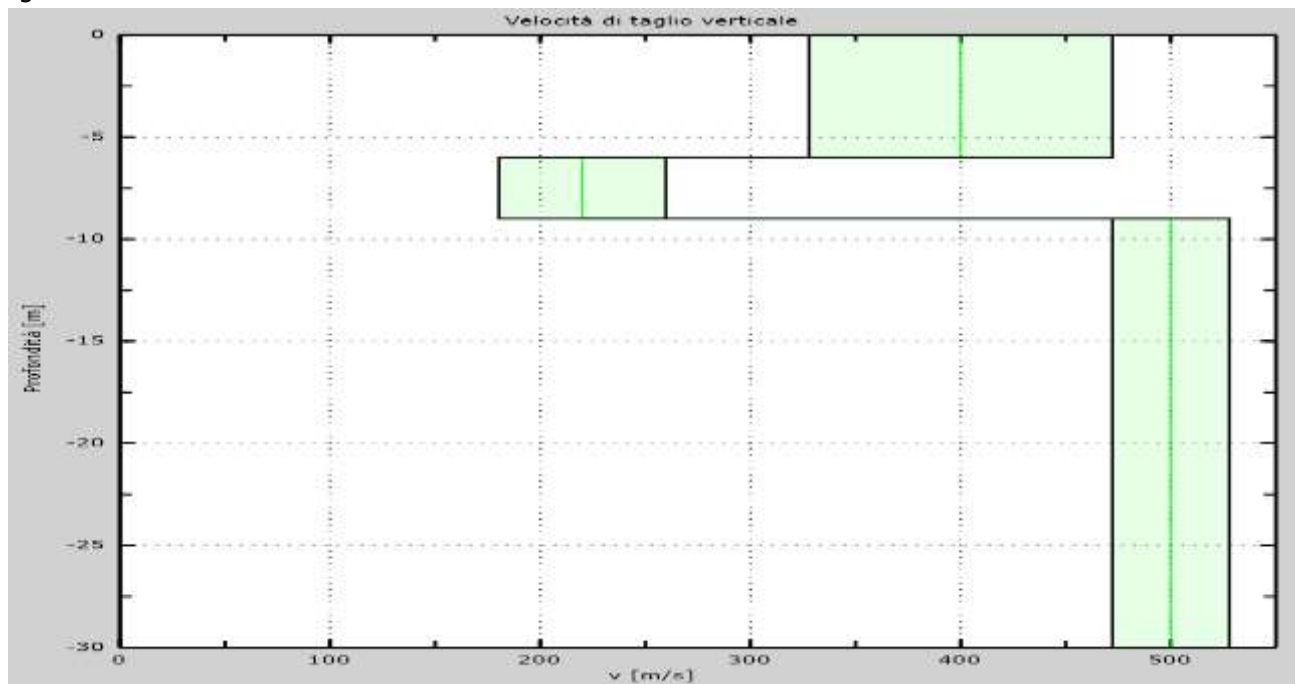


Figura 10 – Profilo Vs numerico



## 5- CENNI SUL METODO HVSR

Il metodo si basa sul rilievo delle componenti orizzontali (H) e verticali (V) del moto delle onde di superficie del rumore sismico ambientale. Il rumore ambientale, cioè l'insieme delle piccole vibrazioni che percuotono il suolo, è presente permanentemente in ogni sito della superficie terrestre. La sua origine ha cause naturali, ad esempio legata all'azione delle onde oceaniche, o artificiali (fra le più comuni cause il traffico veicolare o le attività industriali). Tali sollecitazioni generano onde di superficie (onde di Rayleigh) che sono di bassa energia ed hanno ampiezze che vanno da un centesimo ad un decimillesimo di millimetro ( $10^{-2}$ ÷ $10^{-4}$  mm); si parla genericamente di microsismica qualora la loro frequenza sia inferiore a 0.5 Hz e di microtremore (che è primariamente di origine antropica) in caso contrario.

Il rumore sismico è utilizzabile per ottenere informazioni sul sottosuolo, in quanto la propagazione delle onde risponde alle leggi fisiche sulla risonanza; tale fenomeno è indotto anche dalla stratigrafia del terreno. Lo studio del rumore sismico, in termini dei rapporti spettrali H/V, può rispondere quindi alle necessità di indagare il sottosuolo consentendo, attraverso l'utilizzo di strumenti di facile impiego, relativamente economici, e di appropriate metodologie (Nakamura 1989), di ottenere informazioni sulla stratigrafia o sulla propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo (velocità delle onde di taglio Vs).

Il metodo di Nakamura (1989) si basa sul rapporto degli spettri di Fourier della componente del rumore sul piano orizzontale (H) e della componente sul piano verticale (V) (fig.3). Il rapporto fra tali componenti varia in funzione della frequenza, massimizzandosi in corrispondenza delle frequenze di risonanza determinate dalle caratteristiche del sistema bedrock-copertura.

Il principio su cui si fonda il metodo è relativamente semplice: in un sistema 2d, con suolo rigido e copertura di spessore h, la frequenza caratteristica f vale  $f = V_s / (4 h)$  dove Vs è la velocità delle onde di taglio. Tale equazione deriva dal fatto che un'onda che si propaga in uno strato superficiale viene riflessa dall'interfaccia con lo strato sottostante, entrando in interferenza costruttiva con le onde incidenti e sommandosi ad esse qualora la loro lunghezza d'onda ( $\lambda$ ) sia quattro volte lo spessore dello strato superficiale ( $\lambda = 4 h$ ).

L'esito della prima elaborazione delle registrazioni del rumore sismico (rapporto fra gli spettri di Fourier), è il grafico del rapporto H/V in funzione della frequenza, in cui le oscillazioni (picchi) di H/V in termini di ampiezza e frequenza dipendono dalla stratigrafia e dalla velocità delle onde di taglio negli strati del sottosuolo. In altri termini, l'andamento del grafico, è funzione dallo spessore degli strati e dall'entità del contrasto di impedenza sismica fra di essi (l'impedenza sismica è il prodotto fra la velocità di propagazione delle onde s e la densità del mezzo).

In estrema sintesi la posizione ed il valore di un picco H/V dipende dalla profondità (h) del contrasto di impedenza che lo ha indotto, e dal valore della velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) nei due strati. E' ovvio quindi che per la corretta elaborazione dei dati occorre fissare uno di questi ultimi due parametri per ricavare l'altro; nota la profondità dello strato si ricava la velocità o vice versa.

Nei casi reali, anche quelli in cui la stratigrafia non può essere ricondotta ad un sistema elementare bedrock-copertura, è sufficiente la conoscenza della Vs del primo strato di sottosuolo o l'identificazione della profondità del primo contrasto di impedenza sismica, per la determinazione di spessori e velocità Vs dei successivi orizzonti litologici e/o sismici.

### Lo strumento

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un tromometro digitale "TROMINO®" (brevetto internazionale della Micromed SpA) (fig.10). Lo strumento è estremamente compatto (10x14x8 cm) e leggero (1.1 kg) e consente la misura di microtremore nel range di frequenza compreso fra 0.1 e 200 Hz

Lo strumento è dotato di tre sensori velocimetrici elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore. L'ancoraggio al suolo avviene tramite l'infissione di appositi piedini; l'orizzontalità è controllata per mezzo di una bolla sferica.

Su memoria interna (1Gb) vengono salvati in un unico file i dati rilevati in automatico; si tratta delle velocità misurate secondo le direzioni ortogonali Est-Ovest, Nord-Sud (dello strumento) e sulla verticale.



### Il software

Il trasferimento dati dallo strumento al pc, avviene successivamente all'acquisizione per mezzo di un cavo usb, grazie software "Grilla" a cui si è già accennato. Questo consente l'archiviazione ed il trattamento dei dati. I dati, fra l'altro, possono essere eventualmente "ripuliti" per la presenza di tracce disturbate, filtrati in funzione della loro dispersione espressa in termini di deviazione standard, è possibile imporre un "lisciamento" (smoothing) alle curve per smorzarne le spigolosità, imporre l'ampiezza delle finestre temporali di analisi in funzione della frequenza minima di interesse, decidere l'intervallo di analisi in frequenza. Grazie a queste operazioni preliminari è possibile la corretta interpretazione della curva sperimentale H/V (fig.11) che grilla genera e quindi l'elaborazione delle curve H/V di sintesi.

Il fulcro del metodo è infatti la definizione di un "modello sismico" del sottosuolo, espresso in termini di velocità delle onde di taglio Vs, spessori, peso specifico e rapporti di Poisson, che, in coerenza con le informazioni stratigrafiche e geotecniche, sia tale da generare una curva H/V allineata con la curva H/V rilevata (fig.6).

Figura 29 Tromino



Grilla esegue inoltre un controllo di qualità sui dati e sulla loro elaborazione sulla base dei criteri dettati dal Progetto SESAME (Site EffectS Assessment using AMBient Excitations 2005) nelle Linee Guida 2005 ([http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV\\_User\\_Guidelines.pdf](http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Papers/HV_User_Guidelines.pdf)), riportando i risultati nella tabella che chiude l'elaborazione. I primi tre criteri riguardano l'ampiezza della misura e il numero delle finestre di analisi necessarie per avere una affidabile curva HVSR e devono essere tutti soddisfatti. La qualità e rappresentatività del picco analizzato è ritenuta soddisfacente se dei successivi sei criteri esaminati almeno cinque sono positivi.

Si illustrano brevemente nel seguito, le elaborazioni grafiche prodotte da grilla e riportate nel seguito relativamente al caso trattato.

Il grafico di figura 11 descrive l'andamento del rapporto fra le componenti orizzontali e verticali

del moto in funzione della frequenza.

Il grafico di figura 12, H/V serie TEMPORALE, rappresenta l'intensità H/V con diverse sfumature di colori in funzione della frequenza e per ognuna delle finestre di acquisizione (finestre della durata di 12 secondi per un tempo totale di 20 minuti). Permette di individuare se sono presenti finestre anomale, disturbate, e quindi eventualmente di escluderle dall'analisi (fasce oscurate in nero).

Il grafico di figura 3 DIREZIONALITA' H/V rappresenta la proiezione del HVSR lungo le diverse direzioni, da 0° a 180° in senso orario, dove 0° rappresenta la direzione del Nord segnato sullo strumento (da 180° a 360° i risultati sono simmetrici). Questo permette di rilevare se la media HVSR è influenzata fortemente da una delle due componenti orizzontali e quindi può indicare eventuali anisotropie del sottosuolo o sorgenti di particolari di rumore.

Il grafico di figura 13, SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI mostra l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S; E-O; Verticale). L'analisi dei tracciati, il confronto con lo spettro H/V, consente la corretta interpretazione del profilo sperimentale H/V riportato in figura 5.

## 6 - ELABORAZIONE HVSR

L'indagine consta di successivi rilievi da quindici minuti circa, eseguiti ruotando lo strumento di 90 gradi sul piano orizzontale per discriminare univocamente eventuali sorgenti puntiformi di disturbo.

I picchi della curva H/V dipendono, nelle condizioni morfologiche del sito, dalle condizioni stratigrafiche ma possono influenzati dal traffico veicolare e dal rumore di fondo urbano ed industriale.

La ricerca della stratigrafia sismica che genera una curva di risposta coerente con il rilievo sperimentale, viene eseguita in maniera congiunta e quindi in parallelo a quella analoga relativa al metodo MASW.

Per quanto riguarda i criteri di qualità dettati dalle Linee Guida 2005 SESAME (Tab.2), risultano soddisfatti quelli relativi all'affidabilità della curva H/V e disattesi quelli relativi alla chiarezza del picco a causa dell'assenza di decisi contrasti di impedenza sismica e dell'entità dei disturbi antropici.



### SANTA GIUSTINA VIA PEDRIZZO SNC, DPSH2 MASW 0001

Strumento: TRZ-0129/01-10

Formato dati: 16 byte

Start recording: 09/06/2023 15:00:11 End recording: 09/06/2023 18:20:11

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 97% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10 %

Fig. 2

Figura 30 RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE CONFRONTO ACQUISIZIONI

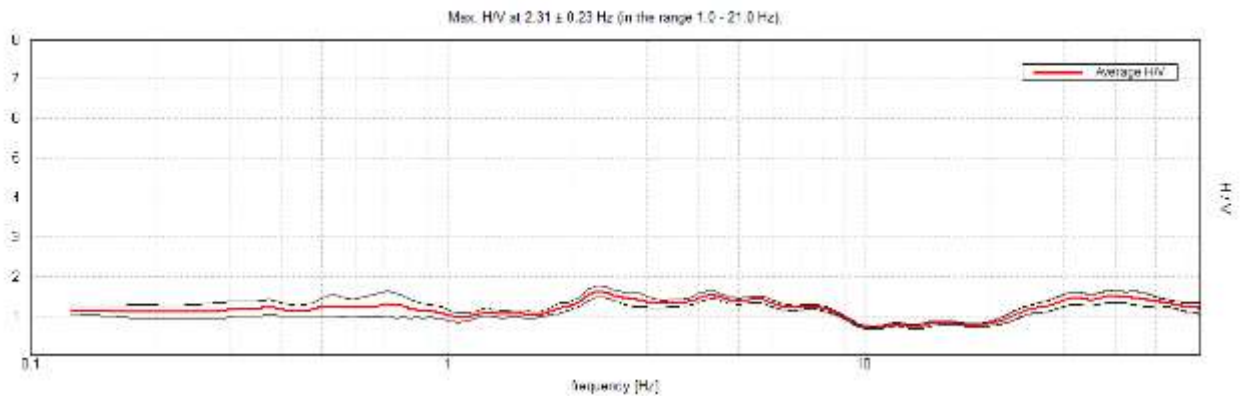


Figura 31

SERIE TEMPORALE HV

DIREZIONALITA' HV

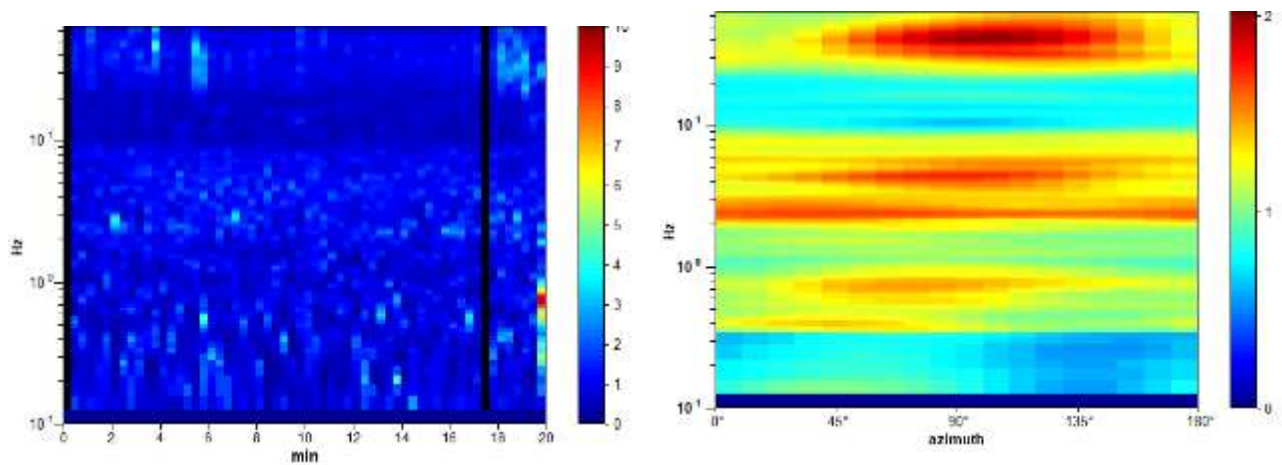


Figura 32

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

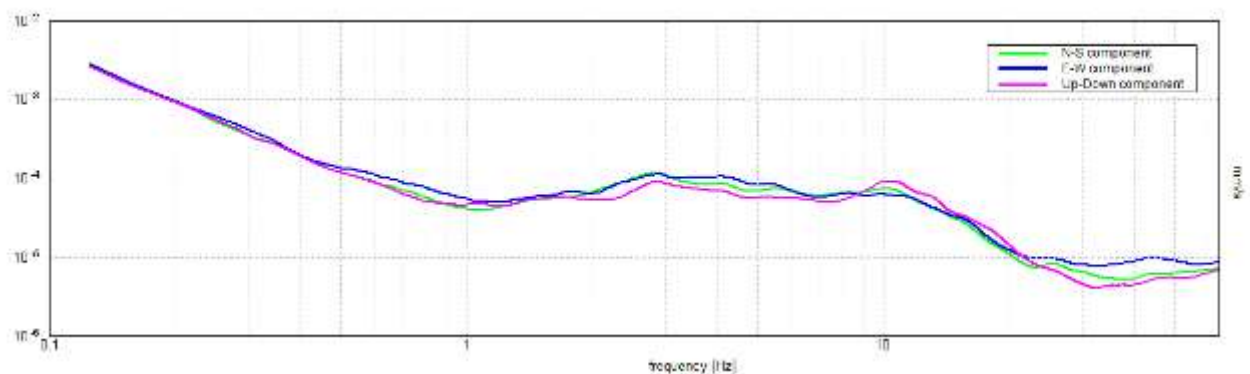
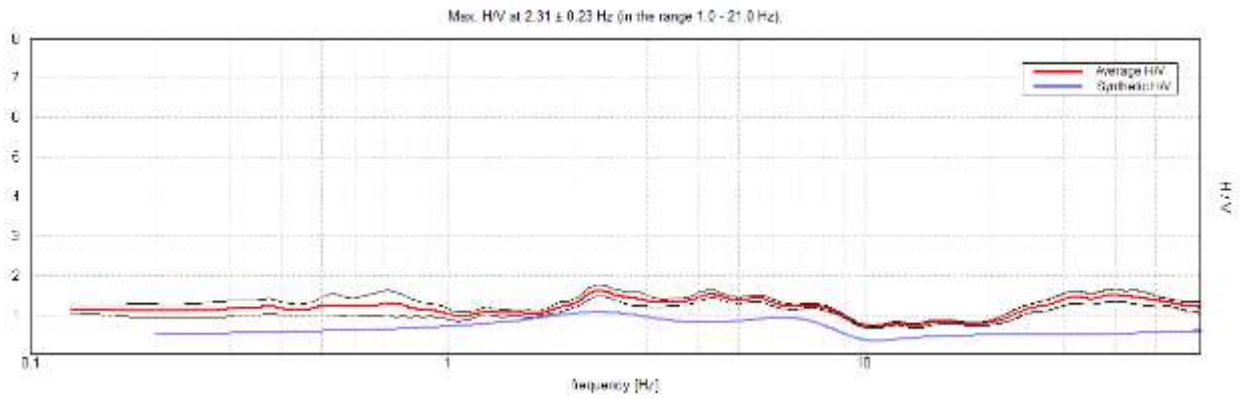
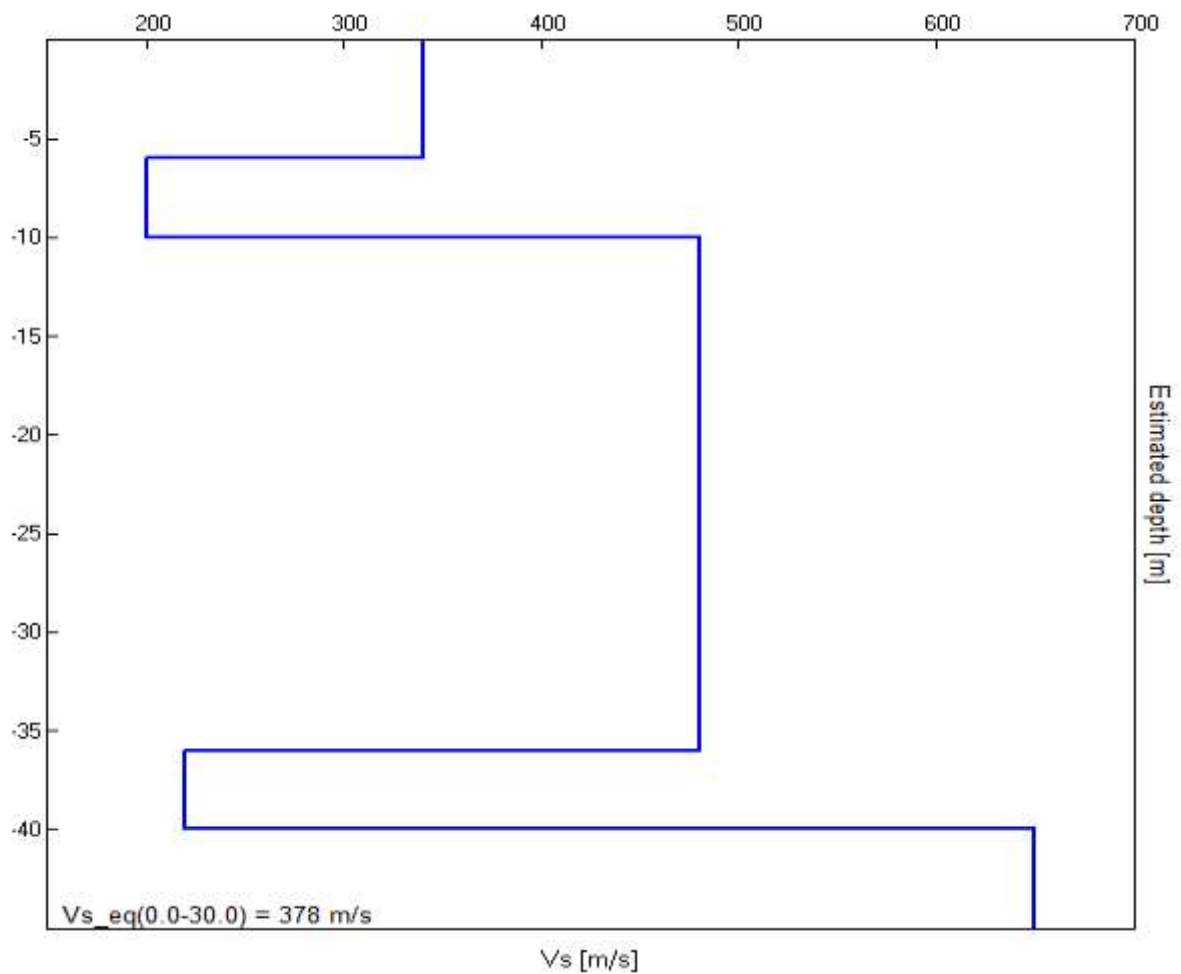




Figura 33 H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
6.00	6.00	340	0.35
10.00	4.00	200	0.48
36.00	26.00	480	0.30
40.00	4.00	220	0.47
inf.	inf.	650	0.30



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

**Max. H/V at  $2.31 \pm 0.23$  Hz (in the range 1.0 - 21.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.31 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2682.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 112 times	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.61 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09748  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.22542 < 0.11563$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1411 < 1.58$	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
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Valori di soglia per $\sigma_f$ 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
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**Allegato 2**

**PROVE PENETROMETRICHE CPT**

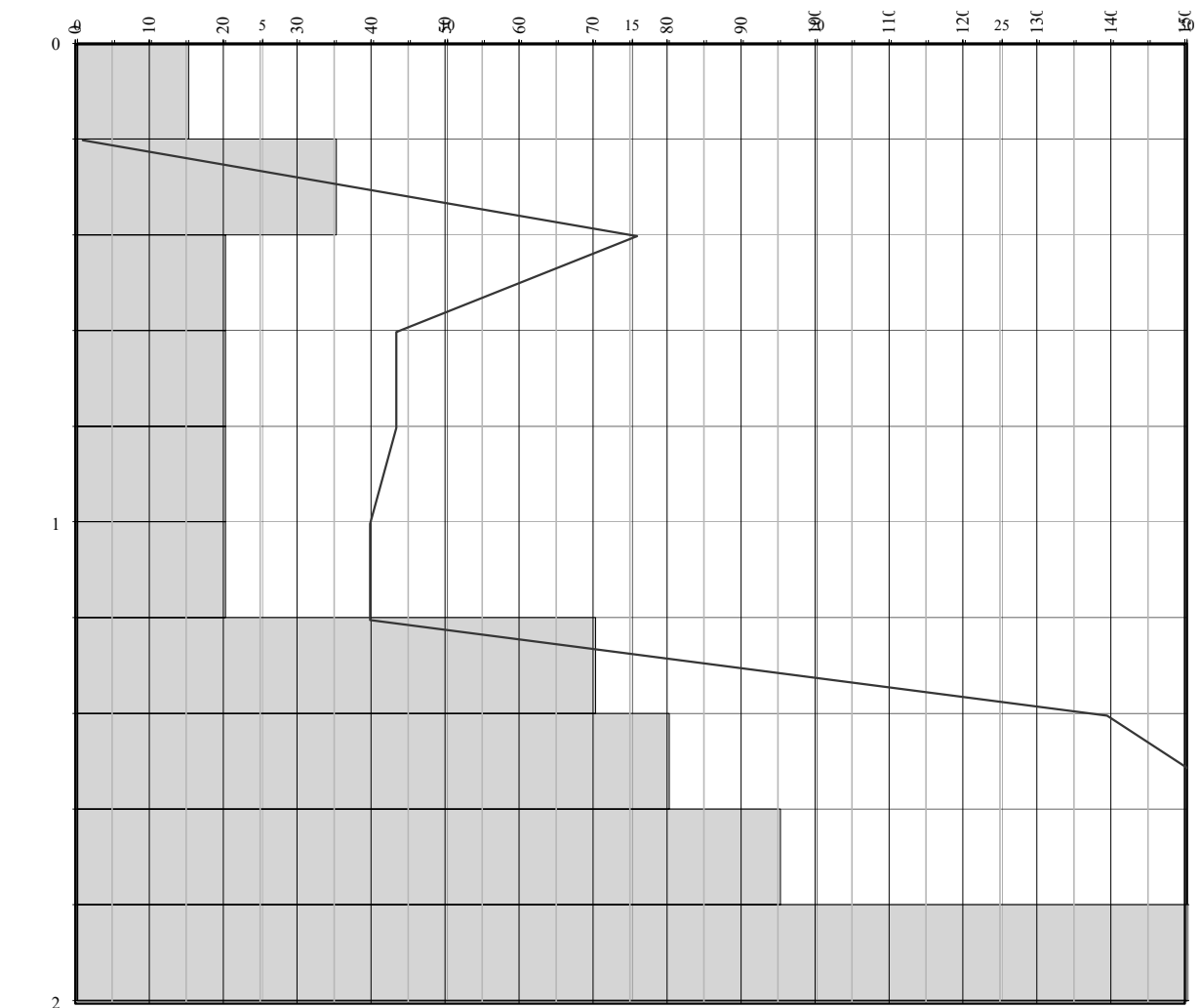


# PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE

DPSH 1

cantiere: SANTA GIUSTUNA VIA PEDRIZZO Peso Maglio (kg) 63.5  
 quota inizio: piano campagna 09/06/23 Volata (cm) 75  
 prof. falda: Passo di lettura (cm) 20 Area Punta (cm<sup>2</sup>) 20

Prof. (m)	NDPSH	Rd Formula degli Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	βt Coeff. Teorico di Energia	FL Fattore di correzione per litologia	CE Correzione efficienza energetica (60%)	CR correzione per lunghezza aste	CN Correzione per pressione litostatica	N1(60) = NSPT*βt*FL*CE*CR*CN	Peso vol (t/m <sup>3</sup> )	Press. Eff. (t/m <sup>2</sup> )	Dr % (Skempton 1986)	Angolo Attrito DeMello (Sabbie) φ°	Angolo Attrito Hatanaka & Uchida (1996) f°	Angolo Attrito Schmertmann (1975) φ°	Litologia A; L; SF; SG; SM; SG; G	Coesione non drenata Cu Terzaghi & Peck (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico Meizenbach & Melcey o per argille Stroud & Butler (kg/cm <sup>2</sup> )
0.2	3	1	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	10	1.7	0.1	/	//			A	0.7	34
0.4	7	76	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	24	2.0	0.5	/	//			A	1.6	79
0.6	4	43	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	14	1.8	0.9	/	//			A	0.9	45
0.8	4	43	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	14	1.8	1.3	/	//			A	0.9	45
1	4	40	1.4	2.0	1.51	0.75	1.5	14	1.8	1.6	/	//			A	0.9	45
1.2	4	40	1.6	2.0	1.51	0.75	1.5	14	1.8	2.0	/	//			A	0.9	45
1.4	14	139	1.6	1.3	1.51	0.75	1.5	30	2.1	2.4	70	31°	41°	46°	SG	/	245
1.6	16	159	1.6	1.3	1.51	0.75	1.5	34	2.1	2.8	75	31°	43°	47°	SG	/	275
1.8	19	189	1.6	1.3	1.51	0.75	1.5	40	2.2	3.2	82	32°	45°	48°	SG	/	319
2	45	414	1.4	1.3	1.51	0.75	1.5	96	2.3	3.7	100	35°	58°	56°	SG	/	704
2.2		#DIV/0!															

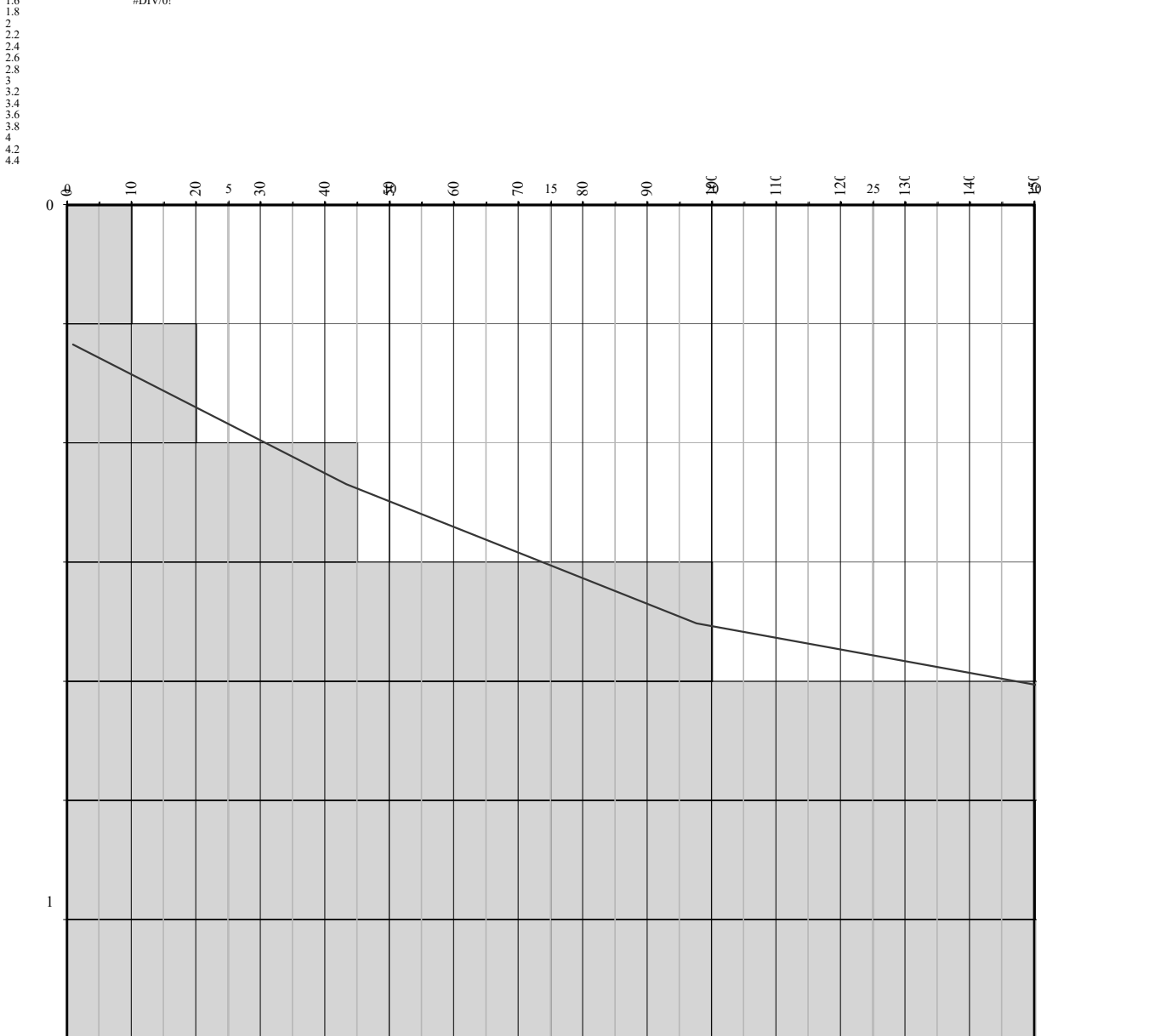


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE**

**DPSH 2**

cantiere: SANTA GIUSTUNA VIA PEDRIZZO Peso Maglio (kg) 63.5  
 quota inizio: piano campagna 09/06/23 Volata (cm) 75  
 prof. falda: Passo di lettura (cm) 20 Area Punta (cm<sup>2</sup>) 20

Prof. (m)	NDPSH	Rd Formula degli Olandesi (Kg/cm <sup>2</sup> )	βt Coeff. Teorico di Energia	FL Fattore di correzione per litologia	CE Correzione efficienza energetica (60%)	CR correzione per lunghezza aste	CN Correzione per pressione litostatica	N1(60) = NSPT*βt*FL*CE*CR*CN	Peso vol (t/m <sup>3</sup> )	Press. Eff. (t/m <sup>2</sup> )	Dr % (Skempton 1986)	Angolo Attrito DeMello (Sabbie) φ°	Angolo Attrito Hatanaka & Uchida (1986) f°	Angolo Attrito Schmertmann (1975) φ°	Litologia A; L; SF; SG; SM; SG; G	Coesione non drenata Cu Terzaghi & Peck (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico Meizenbach & Melcey o per argille Stroud & Butler (kg/cm <sup>2</sup> )
0.2	2	1	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	7	1.6	0.11	/	//			A	0.5	23
0.4	4	43	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	14	1.8	0.5	/	//			A	0.9	45
0.6	9	98	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	31	2.1	0.9	/	//			A	2.0	102
0.8	20	217	1.5	1.3	1.51	0.75	1.5	42	2.2	1.3	84	33°	46°		SG	/	334
1	35	349	1.4	1.3	1.51	0.75	1.5	74	2.2	1.8	100	35°	54°	51°	SG	/	556
1.2	30	299	1.6	1.3	1.51	0.75	1.5	64	2.2	2.2	100	34°	51°	54°	SG	/	482
1.4	50	498	1.6	1.3	1.51	0.75	1.5	106	2.3	2.7	100	36°	60°	58°	SG	/	778
1.6		#DIV/0!															
1.8																	
2																	
2.2																	
2.4																	
2.6																	
2.8																	
3																	
3.2																	
3.4																	
3.6																	
3.8																	
4																	
4.2																	
4.4																	



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE**

**DPSH 3**

cantiere: SANTA GIUSTUNA VIA PEDRIZZO Peso Maglio (kg) 63.5  
 quota inizio: piano campagna 09/06/23 Volata (cm) 75  
 prof. falda: Passo di lettura (cm) 20 Area Punta (cm<sup>2</sup>) 20

Prof. (m)	NDPSH	Rd Formula degli Olandesi (kg/cm <sup>2</sup> )	βt Coeff. Teorico di Energia	FL Fattore di correzione per litologia	CE Correzione efficienza energetica (60%)	CR correzione per lunghezza aste	CN Correzione per pressione litostatica	N1(60) = NSPT*βt*FL*CE*CR*CN	Peso vol (t/m <sup>3</sup> )	Press. Eff. (t/m <sup>2</sup> )	Dr % (Skempton 1986)	Angolo Attrito DeMello (Sabbie) φ°	Angolo Attrito Hatanaka & Uchida (1986) f°	Angolo Attrito Schmertmann (1975) φ°	Litologia A; L; SF; SG; SM; SG; G	Coesione non drenata Cu Terzaghi & Peck (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico Meizenbach & Melcey o per argille Stroud & Butler (kg/cm <sup>2</sup> )
0.2	1	1	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	3	1.5	0.1	/	//			A	0.2	11
0.4	1	11	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	3	1.5	0.4	/	//			A	0.2	11
0.6	1	22	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	7	1.6	0.7	/	//			A	0.5	23
0.8	2	23	1.5	2.0	1.51	0.75	1.5	7	1.6	1.0	/	//			A	0.5	23
1	3	30	1.4	2.0	1.51	0.75	1.5	10	1.7	1.4	/	//			A	0.7	34
1.2	3	30	1.6	2.0	1.51	0.75	1.5	10	1.7	1.7	/	//			A	0.7	34
1.4	4	40	1.6	2.0	1.51	0.75	1.5	8	1.7	2.1	38	26°	31°	35°	SG	/	97
1.6	7	70	1.6	1.3	1.51	0.75	1.5	15	1.8	2.4	50	28°	35°	40°	SG	/	142
1.8	23	259	1.6	1.3	1.51	0.75	1.5	56	2.2	2.9	96	33°	49°	52°	SG	/	423
2	23	212	1.4	1.3	1.51	0.75	1.5	49	2.2	3.3	90	32°	47°	50°	SG	/	379
2.2	25	230	1.6	1.3	1.51	0.75	1.5	53	2.2	3.8	94	33°	49°	51°	SG	/	408
2.4	23	212	1.6	1.3	1.51	0.80	1.5	52	2.2	4.2	93	32°	48°	50°	SG	/	401
2.6	21	193	1.6	1.3	1.51	0.80	1.5	47	2.2	4.6	88	32°	47°	49°	SG	/	370
2.8	20	184	1.6	1.3	1.51	0.80	1.4	42	2.2	5.1	84	31°	46°	48°	SG	/	354
3	18	154	1.5	1.3	1.51	0.80	1.3	37	2.2	5.5	78	31°	44°	46°	SG	/	322
3.2	22	188	1.6	1.3	1.51	0.85	1.3	46	2.2	6.0	87	31°	47°	49°	SG	/	407
3.4	22	188	1.6	1.3	1.51	0.85	1.2	44	2.2	6.4	86	31°	46°	48°	SG	/	407
3.6	19	163	1.6	1.3	1.51	0.85	1.2	37	2.2	6.8	78	30°	44°	47°	SG	/	357
3.8	19	163	1.6	1.3	1.51	0.85	1.2	36	2.2	7.3	77	30°	43°	46°	SG	/	357
4	16	128	1.5	1.3	1.51	0.85	1.1	29	2.2	7.7	70	29°	41°	44°	SG	/	307
4.2	11	88	1.6	1.3	1.51	0.85	1.1	20	2.0	8.1	57	27°	37°	40°	SG	/	223
4.4	8	64	1.6	2.0	1.51	0.95	1.1	25	2.1	8.5	/	//		A	/	115	
4.6	11	88	1.6	2.0	1.51	0.95	1.1	33	2.2	9.0	/	//		A	2.2	158	
4.8	13	104	1.6	1.3	1.51	0.95	1.0	24	2.1	9.4	63	27°	39°	42°	SG	/	282
5	16	120	1.5	1.3	1.51	0.95	1.0	29	2.2	9.8	69	28°	41°	44°	SG	/	338
5.2	33	248	1.6	1.3	1.51	0.95	1.0	58	2.2	10.3	99	31°	50°	51°	SG	/	657
5.4	34	255	1.6	1.3	1.51	0.95	1.0	59	2.3	10.7	99	30°	50°	51°	SG	/	676
5.6	36	270	1.6	1.3	1.51	0.95	0.9	61	2.3	11.2	100	30°	51°	51°	SG	/	713
5.8	42	315	1.6	1.3	1.51	0.95	0.9	70	2.4	11.7	100	31°	53°	52°	SG	/	826

