
Dott. Geol. Matteo Pompei

VIA DON E. RICCI, N.3. 62020, M.S.MARTINO (MC)

EMAIL: GEOL.POMPEI@GMAIL.COM

TEL: 0733.660206 / CELL. 333.3579472

P.IVA 01880240435



Comune di Venarotta

Provincia di Ascoli Piceno



***INDAGINE GEOLOGICA PER LA RISTRUTTURAZIONE E
L'ADEGUAMENTO DELLA PISCINA COMUNALE CON REALIZZAZIONE
DI LOCALE ADIBITO A RIABILITAZIONE E PRIMA ASSISTENZA***

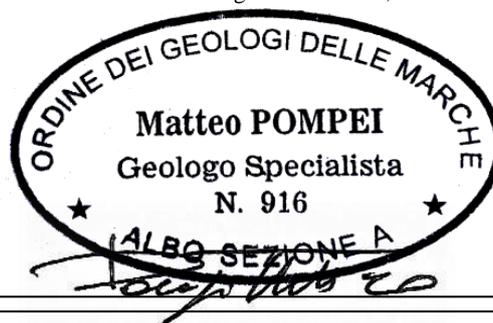
RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE: *Comune di Venarotta*

Il Geologo

Dott. Matteo Pompei

Ordine dei Geologi delle Marche, n.916



Monte San Martino, Ottobre 2019

Indice

1 Premessa	1
2 Analisi dei dati esistenti	2
3 Inquadramento territoriale e geomorfologico	3
4 Inquadramento geologico e idrogeologico	4
5 Compatibilità con il Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.)	6
6 Analisi delle Carte di Microzonazione Sismica	7
7 Litostratigrafia	10
8 Parametri geotecnici dei sedimenti	11
9 Modellazione sismica di sito	13
9.1 Misure HVSR.....	14
9.2 Categoria di sottosuolo.....	15
9.3 Categoria e amplificazione topografica.....	16
9.4 Classe d'uso.....	16
9.5 Vita nominale.....	17
9.6 Vita di riferimento.....	17
9.7 Parametri sismici	18
10 Conclusioni	19

Elaborati

Stralcio di progetto	Tav.1
Corografia	Tav.2
Stralcio della Carta Geologica Regionale	Tav.3
Ubicazione della campagna geognostica	Tav.4
Sezione litostratigrafica schematica	Tav.5
Elaborati indagini geognostiche	Allegato 1
Elaborati indagini geofisiche	Allegato 2

1. PREMESSA

Su richiesta del Comune di Venarotta è stata eseguita un'indagine geologica nell'ambito del progetto "Ristrutturazione, adeguamento della piscina comunale con abbattimento barriere architettoniche di ingresso in vasca e realizzazione ed allestimento di un locale adibito a riabilitazione e prima assistenza" (Tav.1). Tale studio mira a stabilire la fattibilità dell'intervento di ampliamento strutturale previsto ad Est del fabbricato principale, valutando gli scenari geologici, geomorfologici e idrogeologici del sito nonché stimando i parametri geotecnici dei terreni e la risposta sismica locale dell'area.

Il sito è ubicato nella zona di impianti sportivi del Comune di Venarotta (AP), in Via Papa Giovanni Paolo II, ed è catastalmente contraddistinto al Foglio 17 Particella 671.

L'indagine è stata svolta in conformità a quanto previsto da:

- **D.M. 17.01.2018** – *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni;*
- **D.G.R. n.53 del 21.01.2014** – *Criteri per la redazione della verifica di compatibilità idraulica e per l'invarianza idraulica;*
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare del 02.02.2009** – *Istruzione per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14.01.2008;*
- **D.M. 14.01.2008 (NTC08)** – *Norme tecniche per le costruzioni;*
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Allegato al voto n.36 del 27.07.2007** – *Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale;*
- **O.P.C.M. n.3274 del 25.03.2003** – *Classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;*
- **Eurocodice 8 (1998), Eurocodice 7.1 (2002), Eurocodice 7.2 (2002), Eurocodice 7.3 (2002)** – *Progettazione geotecnica;*
- **D.P.G.R. n°23 del 14.09.1989** – *Regolamento edilizio tipo;*
- **D.M. LL.PP. 11 Marzo 1988** – *Norme tecniche per indagini su terreni e rocce.*
- **PAI: Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o inter-regionale;**

La metodologia operativa per l'esecuzione del lavoro è stata la seguente:

- Reperimento di materiale a carattere geologico, geomorfologico e idrogeologico con acquisizione dei dati geologici riferiti in precedenza nell'area;
- Rilevamento geologico di dettaglio ed esecuzione n.2 prove penetrometriche DPM, n.1 prova sismica passiva HVSR e n.1 prova sismica attiva MASW;
- Elaborazione dei documenti cartografici e stesura della relazione tecnico-esplicativa.

2. ANALISI DEI DATI ESISTENTI

I riferimenti bibliografici utilizzati nel presente studio traggono origine da alcune pubblicazioni consultate:

- AA.VV.: PPAR – Piano Paesistico Ambientale Regionale – Regione Marche;
- AA.VV.: PAI – Piano per l’Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale – Autorità di Bacino della Regione Marche;
- AA.VV. Regione Marche “Carta geologica e geomorfologica della Regione Marche” in scala 1:10.000 – Regione Marche / Servizi Informatici Territoriali;
- Consiglio Nazionale Ricerche (C.N.R.), Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Università degli studi di Ancona – Regione Marche, “Schema idrogeologico della Regione Marche” in scala 1:100.000;
- Consiglio Nazionale Ricerche (C.N.R.), Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (G.N.D.C.I.), Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica nell’Italia centrale (I.R.P.I.): “Carta Inventario dei Movimenti Franosi della Regione Marche e Aree Limitrofe - scala 1:100.000”. Pubblicazione G.N.D.C.I. n° 580;
- Studi Geologici Camerti (1986) – Volume Speciale – “La Geologia delle Marche”;
- Centamore E., con altri autori (1986), “Carta geologica delle Marche - scala 1:250.000”. Istituto di Geologia dell’Università di Camerino in “Studi Geologici Camerti - Volume Speciale 1986”;
- Blumetti A.M., Dramis F., Gentili B. e Signanini P. (1987), “Una legenda per la cartografia degli elementi geologici e geomorfologici di pericolosità sismica”, Mem. Soc. Geol. It. 37;
- Centamore E., con altri autori (1991), “Carta geologica, geomorfologica e idrogeologica delle Marche scala 1:100.000” a cura della Regione Marche, Assessorato Urbanistica-Ambiente (1991) in “L’ambiente fisico delle Marche - Geologia-Geomorfologia-Idrogeologia”. S.E.L.C.A. Firenze;
- Regione Marche, Assessorato Urbanistica-Ambiente (1991), “L’ambiente fisico delle Marche – Geologia-Geomorfologia-Idrogeologia”;
- Microzonazione Sismica di III Livello del Comune di Venarotta (2018).

Tali studi, sempre a carattere generale, forniscono utili indicazioni per inquadrare il territorio in esame in un contesto più ampio relativamente alle condizioni geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e di risposta sismica locale.

3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E GEOMORFOLOGICO

L'area in esame (Fig.1) si localizza ad una quota di 430 m s.l.m. in una zona sub-pianeggiante di bacino sedimentario situata nell'area degli impianti sportivi del Comune di Venarotta (AP). La cartografia tecnica di riferimento è la Carta Tecnica Regionale Sez.326100 *Venarotta* alla scala 1:10.000 (Tav.2) e la carta catastale comunale Foglio 17.

Il sito è posto su un'area pianeggiante scarsamente antropizzata e formata da un bacino deposizionale vallivo caratterizzato da sedimenti medio-fini sovrastanti un bedrock arenaceo.

Dal rilievo geomorfologico svolto in-situ non vengono evidenziati fenomeni morfogenici in atto attribuibili alla gravità o all'azione delle acque che possano mettere a rischio la stabilità della struttura progettata. Pertanto, l'area si può considerare morfologicamente stabile e la cartografia geologica ed idrogeologica allegata al presente studio supporta quanto sopra riportato.



Fig. 1 – Vista verso Nord dell'edificio oggetto d'intervento.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

GEOLOGIA

Con riferimento al controllo della geologia svolto vengono descritti i vari litotipi rinvenuti e distinti per unità delle coperture e del substrato. La cartografia tematica utilizzata è la Carta Geologica Regionale Sez.326100 *Venarotta* (Tav.3) in scala 1:10.000.

Unità di copertura

- ***Depositi eluvio-colluviali*** (sigla in Carta Geologica Regionale, MUS_{B2}): misto di sabbie, sabbie limose e limi inorganici, a luoghi inglobanti frammenti lapidei spigolosi arenacei. Questi depositi sono originati da processi di alterazione in-situ della roccia madre oppure da erosione e breve trasporto lungo i versanti; riempiono per lo più gli impluvi di piccole vallecole o caratterizzano il raccordo tra i versanti e i fondovalle;

Unità del substrato

Formazione delle Argille Azzurre

- ***Membro evaporitico – Litofacies arenacea*** (LAG_{2C}, Messiniano p.p.): caratterizza il substrato dell'area d'indagine. È costituita da alternanze di strati, da sottili a medio-spessi, di arenarie intercalate da sottilissimi livelli pelitici. Questi depositi affiorano a monte dell'area indagata e presentano giaciture N310° immergenti con un angolo di 24°.

A Nord dell'area indagata viene rilevata una struttura tettonica, quale faglia incerta o sepolta, posta a distanza ragguardevole.

CENNI IDROLOGICI ED IDROGEOLOGICI

L'assetto idrogeologico generale dell'area è legato alle associazioni litologiche dei depositi di copertura, sormontati da un'esigua coltre di terreno vegetale e riporto, sovrastanti il bedrock arenaceo locale. Non sono state riconosciute fenomenologie imputabili all'azione localizzata delle acque correnti superficiali se non quelle presenti lungo i fossi. Il deflusso delle acque meteoriche è garantito principalmente dalle opere idrauliche antropiche poste a monte dell'area non essendoci impluvi naturali particolarmente sviluppati.

Dal punto di vista della permeabilità, i terreni rinvenuti nell'area di studio possono essere così considerati:

Unità di copertura

a) ***Complesso dei depositi di copertura***: sabbie-limose, limi-sabbiosi e depositi antropici che presentano una permeabilità variabile da *bassa* a *media*, con valori compresi tra 10^4 cm/s e 10^7 cm/s;

b) ***Complesso dei depositi del substrato***: arenarie che presentano una permeabilità variabile da *bassa* a *media*, in base anche al grado di fratturazione litoide, con valori compresi tra 10^5 cm/s e 10^7 cm/s.

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche è stato rilevato un livello di falda freatica posto alla profondità di 4.60 m.

5. COMPATIBILITÀ CON IL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

Dal 17 febbraio 2017, data di entrata in vigore del D.M. Ambiente 25.10.2016 pubblicato sulla G.U. n.27 del 02.02.2017, le Autorità di Bacino ex L.183/89 sono state soppresse e costituite le Autorità di Bacino Distrettuale.

In Fig.2 viene riportato lo stralcio della cartografia P.A.I. del Fiume Tronto, relativo alla Tavola 9_02, da cui si evince che il sito non rientra in aree a rischio idrogeologico. Pertanto, si conferma che non insistono fenomeni di carattere idrogeologico sul sito e non vengono quindi applicate le specifiche prescrizioni del P.A.I. se non quelle previste dalla normativa tecnica vigente.

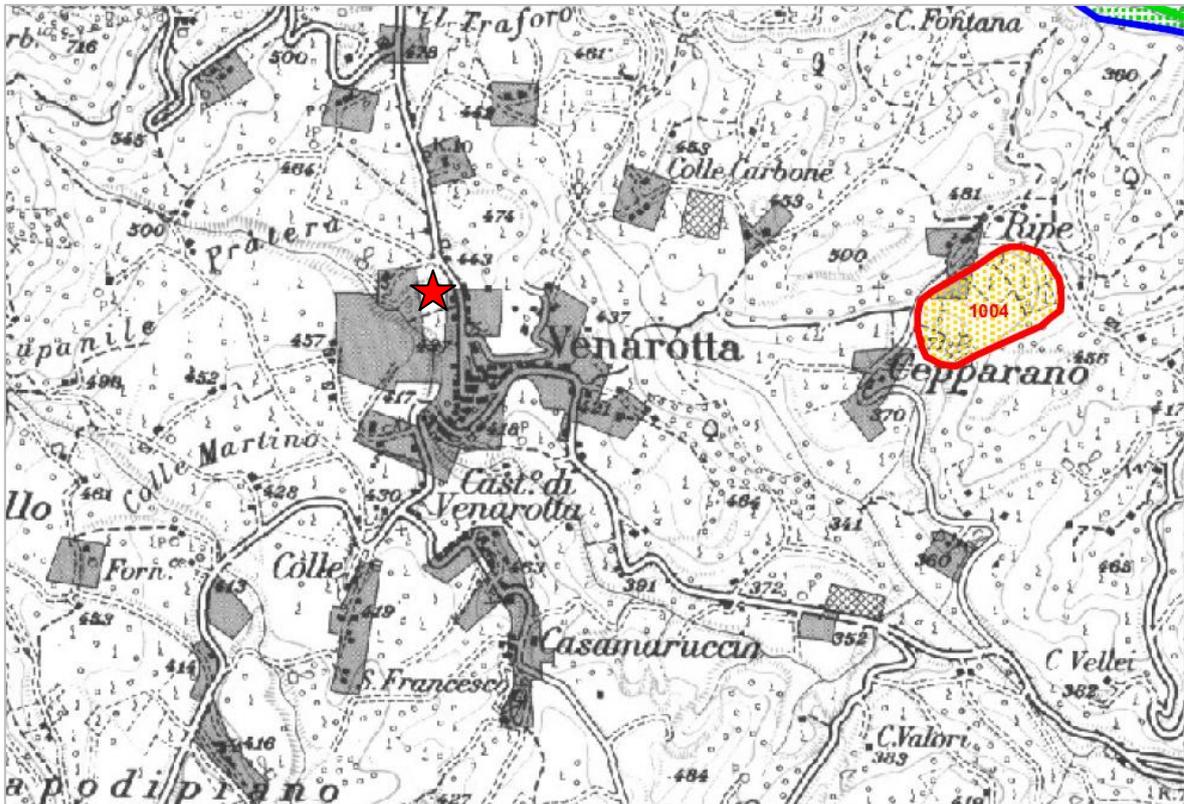


Fig.2 – Piano Assetto Idrogeologico – Tav. 9_02 – Scala 1:10.000 – Stralcio.

In rosso, l'ubicazione dell'area indagata.

6. ANALISI DELLE CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA

Nel presente capitolo verrà analizzato il piano di Microzonazione Sismica di III Livello del Comune di Venarotta (AP). Tale documento, fondamentale ai fini della pianificazione territoriale, permette di avere a disposizione la zonazione sismica di dettaglio del territorio comunale e permette di accedere a informazioni utili per la caratterizzazione sismica dei suoli.

In Fig.3 viene riportato lo stralcio della Carta Geologico-Tecnica in cui viene evidenziato che l'area oggetto d'intervento è situata a cavallo di litologie appartenenti al substrato arenaceo sub-affiorante (LPS, LAG_{2C} Messiniano p.p.) e quelle di copertura di tipo depositi eluvio-colluviali sabbioso-limosi e limoso-sabbiosi (SM-ec, MUS_{B2} Olocene).

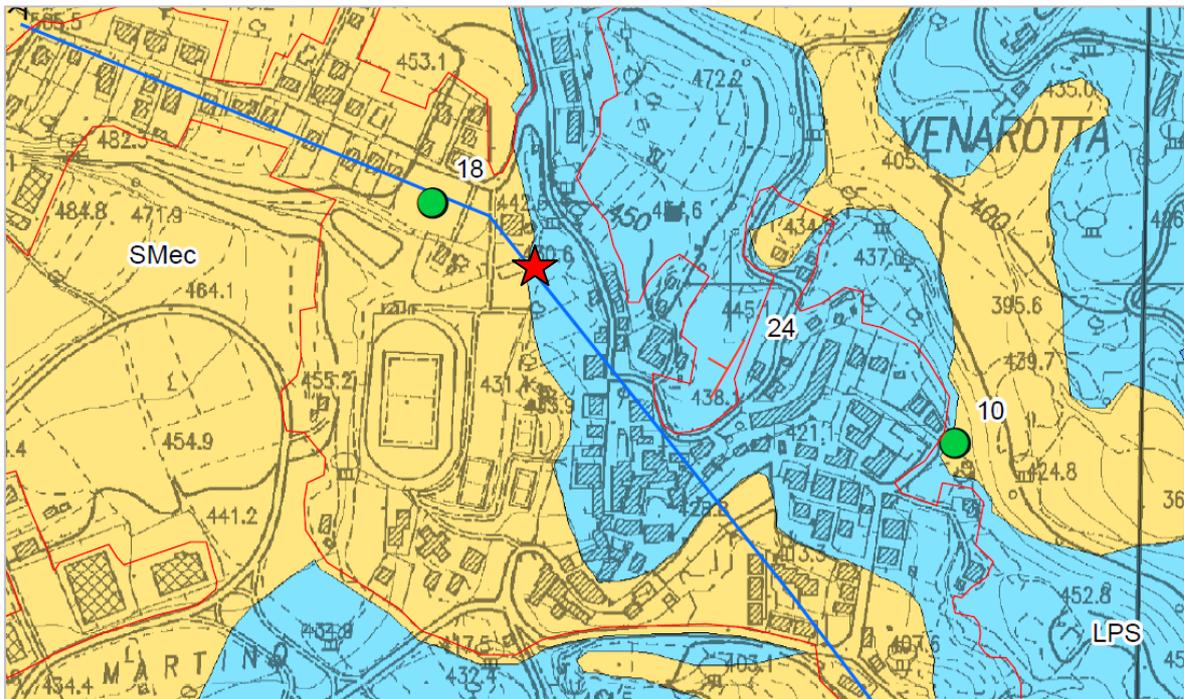


Fig.3 – Carta Geologico-Tecnica. In rosso, l'ubicazione dell'area indagata.

In Fig.4 viene riportato lo stralcio della Carta delle MOPS (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica) in cui viene suddiviso il territorio comunale in zone a comportamento sismico analogo. Nel caso dell'area indagata, questa risulta ubicata a cavallo tra la *zona stabile* 1011 e la *zona stabile suscettibile di amplificazione* 2004. La zona 1011 è caratterizzata da substrato arenaceo sub-affiorante mentre la 2004 da depositi eluvio-colluviali di copertura, dello spessore compreso tra 3 e 10 m, sovrastanti il bedrock arenaceo.

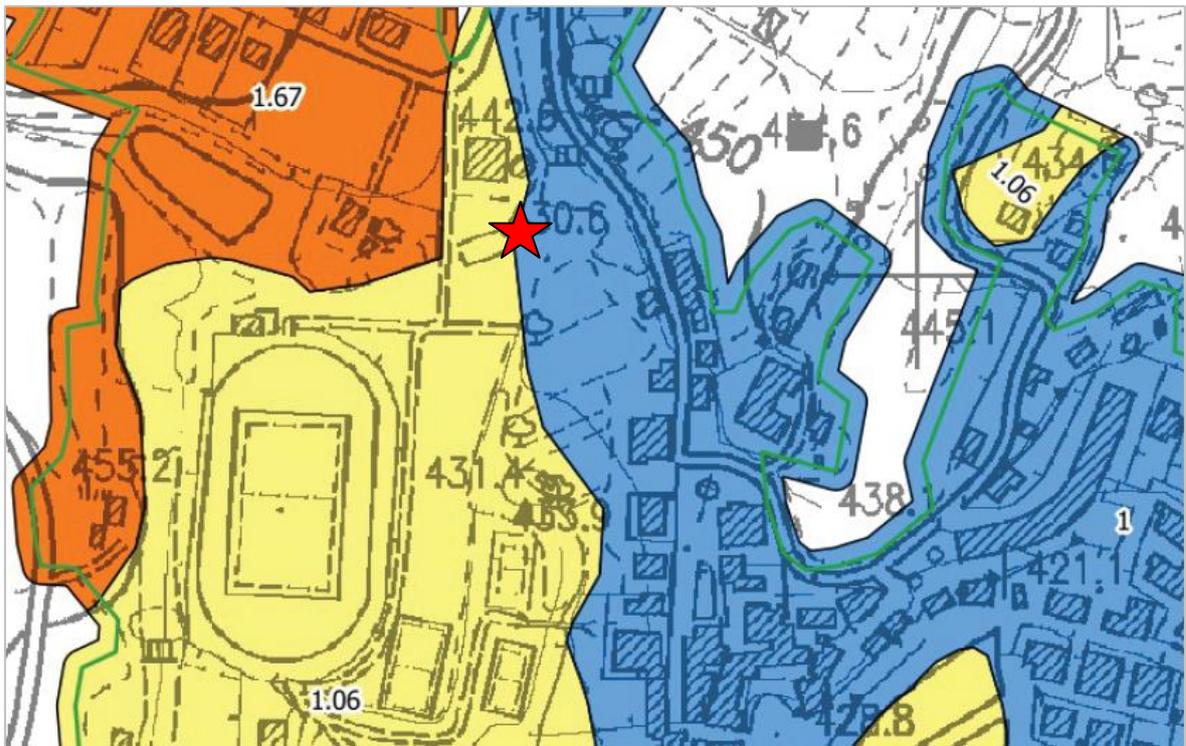


Fig.6 – Carta di Microzonazione 0.4-0.8s. In rosso, l'ubicazione dell'area indagata.

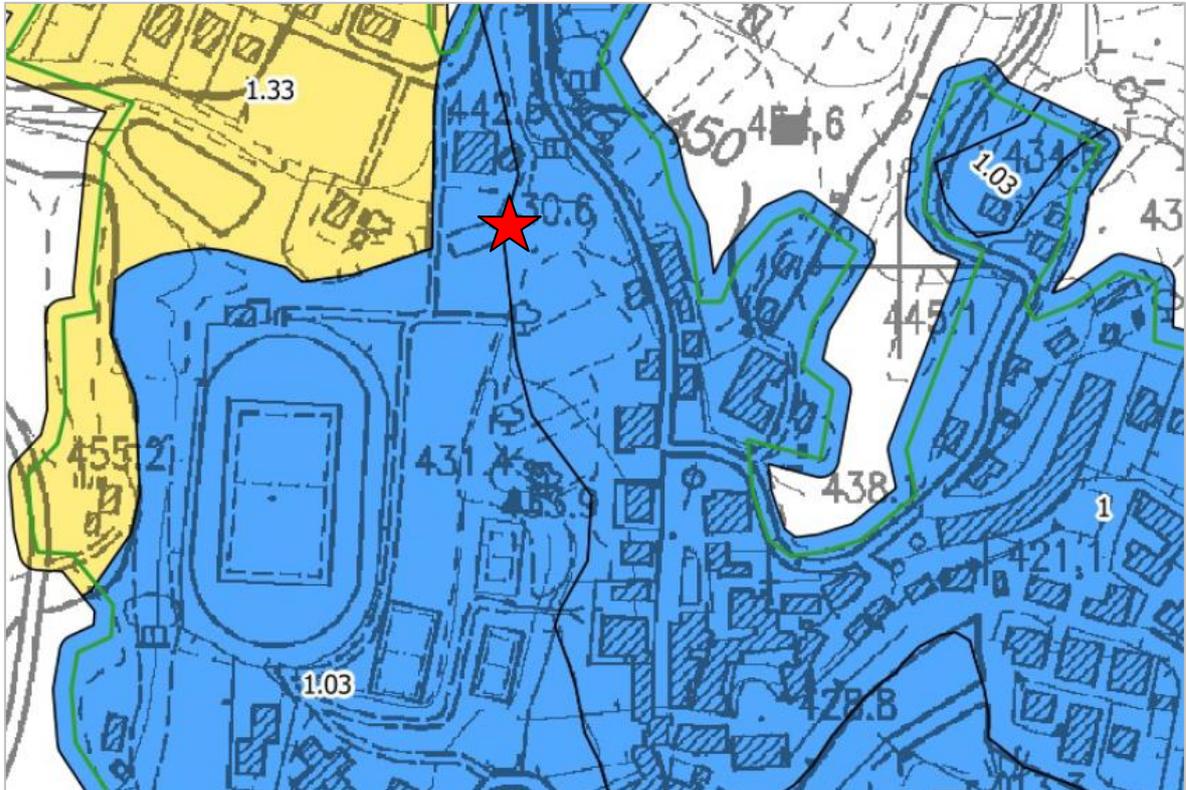


Fig.7 – Carta di Microzonazione 0.7-1.1s. In rosso, l'ubicazione dell'area indagata.

7. LITOSTRATIGRAFIA

L'assetto litostratigrafico dell'area indagata è stato dedotto dalle prove penetrometriche dinamiche medie (DPM) eseguite. L'ubicazione dei punti di sondaggio viene riportata in Tav.4, la sezione litostratigrafica schematica in Tav.5 e i risultati delle indagini geognostiche nell'All.1. Viene di seguito riportata la stratigrafia risultante dalla campagna geognostica condotta:

- A – TERRENO VEGETALE E/O RIPORTO ANTROPICO: depositi caotici ed eterogenei, di scarsa consistenza e privi di struttura interna, asciutti, attribuibili a terreno vegetale e riporto antropico di varia pezzatura di tipo pietrame, materiali di risulta e stabilizzato ghiaioso.

Spessore max rilevato: 1.10 m in P.2;

- B – DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI: viene rilevata una prima copertura, attribuibile a depositi eluvio-colluviali, di composizione sabbiosa e sabbioso-limosa, scarsa consistenza e compattezza, falda freatica posta a 4.60 m di profondità.

Spessore rilevato: 4.60 m in P.2;

- C – BEDROCK: depositi di natura arenacea caratterizzati da sabbie addensate, intercalate da sottili livelli pelitici, consistenti, asciutte, alterate nella parte sommitale. La porzione integra viene sovrastata da un orizzonte alterato dello spessore max di 2.80 m rilevato in P.2.

8. PARAMETRI GEOTECNICI DEI SEDIMENTI

I parametri geotecnici di seguito riportati risultano dall'analisi delle prove geognostiche eseguite e da quelle reperite dallo studio di Microzonazione Sismica; caratterizzano gli orizzonti litostratigrafici indagati e vengono pertanto estrapolati i seguenti dati geotecnici:

DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI

<i>Sabbie-limose</i> (profondità min 0.00 m – max 5.70 m)		Parametri di campagna		Parametri medi _(M)					
		P.1	P.2	media _(M)		U. M.		U. M.	
Peso Volume	γ	1.86	1.86	γ_M	1.86	g/cm ³	#	18.24	kN/m ³
Angolo d'attrito	φ'	21.2	20.6	φ'_M	20.9	gradi	#	20.9	gradi
Coesione non drenata	C_u	0.16	0.13	C_{uM}	0.15	kg/cm ²	#	14.71	kPa
Modulo edometrico	E_{ed}	27.6	23.3	E_{edM}	25.5	kg/cm ²	#	2.51	MPa
Coefficiente di Poisson	ν	0.35	0.35	ν	0.35		#	0.35	

SUBSTRATO ARENACEO (Fm della Laga)

<i>Substrato alterato</i> (profondità min 2.10 m – max 8.50 m)		Parametri di campagna		Parametri medi _(M)					
		P.1	P.2	media _(M)		U. M.		U. M.	
Peso Volume	γ	2.04	2.04	γ_M	2.04	g/cm ³	#	20.01	kN/m ³
Angolo d'attrito	φ'	29.1	29.1	φ'_M	29.1	gradi	#	29.1	gradi
Coesione drenata	c'	≈ 0	≈ 0	c'_M	≈ 0	kg/cm ²	#	≈ 0	kPa
Modulo edometrico	E_{ed}	141.4	141.8	E_{edM}	141.6	kg/cm ²	#	13.89	MPa
Coefficiente di Poisson	ν	0.33	0.33	ν	0.33		#	0.33	

<i>Substrato integro</i> (arenaceo, da profondità min. 2.40 m)		Parametri di campagna		Parametri medi _(M)					
		Bibliografia		media _(M)		U. M.		U. M.	
Peso Volume	γ	2.19		γ_M	2.19	g/cm ³	#	21.48	kN/m ³
Angolo d'attrito	φ'	38		φ'_M	38	gradi	#	38	gradi
Coesione drenata	c'	≈ 0.1		c'_M	≈ 0.1	kg/cm ²	#	≈ 9.8	kPa
Modulo edometrico	E_{ed}	228		E_{edM}	228	kg/cm ²	#	22.36	MPa
Coefficiente di Poisson	ν	0.28		ν	0.28		#	0.28	

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI (F_k)

Vengono di seguito riportate le modalità analitiche per il calcolo dei parametri geotecnici caratteristici dei litotipi rilevati nel sito in progetto, sui quali verranno applicati i coefficienti di sicurezza parziali (CP) in funzione delle verifiche allo Stato Limite Ultimo (SLU).

$$\begin{aligned}\phi'k &= \phi' m \cdot (1 + X V \phi) = \phi' m \cdot (1 - 1,645 \times V \phi^{\circ}) \\ c'k &= c' m \cdot (1 + X V c) = c' m \cdot (1 - 1,645 \times V c^{\circ})\end{aligned}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N t_i^2}{N} - \left(\bar{t}\right)^2}$$

9. MODELLAZIONE SISMICA DI SITO

Nel presente capitolo viene trattata l'azione sismica sulle costruzioni. Tale parametro viene indotto dal moto non uniforme dei sedimenti per effetto della propagazione delle onde sismiche che provoca una risposta dinamica della struttura. Pertanto, questa va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e prestazioni attese.

Come specificato nel D.M. 17 Gennaio 2018 (NTC2018), dove la pericolosità sismica viene definita come funzione del sito e quindi dipendente dai valori di alcuni parametri fisici intrinseci del suolo in quel preciso luogo, è importante acquisire la conoscenza approfondita del territorio indagato.

L'azione sismica di progetto prevede la definizione dei parametri spettrali dell'area d'indagine, a partire dalle informazioni disponibili nel reticolo di riferimento. Questo strumento, relativo all'intero territorio nazionale, racchiude i valori dei parametri spettrali quali l'accelerazione orizzontale massima del sito (a_g), il fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0) e il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*c). Tuttavia, questi parametri concernono situazioni geologiche equivalenti a un sito con assenza di effetti locali dei terreni, ovvero con presenza di substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante o sub-affiorante e in condizioni morfologiche pianeggianti. Pertanto, al fine di una valutazione degli effetti sismici di sito si dovrà provvedere all'eventuale correzione dei valori, incrementandoli per l'amplificazione stratigrafica, topografica e sulla base della Classe d'uso della costruzione.

Il Comune di Venarotta (AP) ricade nella *Zona Sismica 2*, secondo la classificazione sismica nazionale di cui l'O.P.C.M. n.3247 del 25 Marzo 2003. Per tale zona sismica (Fig.8) viene attribuito un valore di *accelerazione gravitazionale al suolo* (a_g) espressa come frazione dell'accelerazione di gravità (g):

ZONA	A(g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme tecniche)	A(g) con probabilità di superamento della soglia pari al 10% in 50 anni
2	0,25	0,15+0,25

Fig.8 – Parametri di accelerazione orizzontale al suolo per la Zona Sismica 2.

Le prospezioni sismiche eseguite, relative ad indagini con tecnica di sismica passiva HVSR e con tecnica di sismica attiva MASW (All.2), hanno permesso di valutare l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie.

9.1 MISURE HVSR

Analizzando le misure eseguite di sismica passiva a stazione singola HVSR (All.2) è possibile identificare le modalità di vibrazione del terreno e individuare la frequenza fondamentale (f_0) di questa vibrazione. Tale metodologia è finalizzata alla determinazione della funzione di amplificazione utilizzando il rumore ambientale passivo anziché onde sismiche generate artificialmente; lo strumento utilizzato per le analisi di sismica passiva a stazione singola, è il *Tromino Grilla*®.

L'acquisizione del segnale, che in questo caso è rappresentato dal rumore di fondo, avviene tramite un sensore a tre elementi (verticale, E-W e N-S) caratterizzato da basse frequenze di vibrazione propria ($f = 1-2$ Hz) al fine di acquisire le frequenze di primario interesse ingegneristico. La prova sismica passiva a stazione singola HVSR mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica. La prova, comunemente nota anche con il termine H/V (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali H e verticali V) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare da Nakamura (1989).

Questo metodo è basato sul calcolo dei rapporti spettrali tra la componente verticale e quelle orizzontali (H/V) e consente di determinare la frequenza di risonanza di un sito utilizzando esclusivamente il rumore ambientale di fondo (microtremori, rumore di fondo a bassa frequenza).

La misurazione HVSR eseguita ha evidenziato un picco d'impedenza molto accentuato alla frequenza di $F_0=6.25\pm 0.13\text{Hz}$ di ampiezza $A_0=8.32$.

9.2 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

La stima dei valori delle velocità medie di propagazione delle onde sismiche di taglio (V_s), entro lo spessore di terreno compreso tra il piano fondale delle opere strutturali e l'ubicazione del substrato sismico di riferimento, permette la ricostruzione sismostratigrafica dell'area e l'andamento delle discontinuità in profondità (se presenti).

Il D.M. 17 Gennaio 2018 (NTC2018) propone la classificazione di un sito basata sulla sismostratigrafia rilevata e, con l'utilizzo dei parametri di velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio nel sottosuolo, dispone il calcolo del coefficiente V_{seq} :

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

La caratterizzazione sismostratigrafica del sottosuolo del sito oggetto d'indagine è stata eseguita mediante l'interpolazione congiunta dei risultati delle prospezioni sismiche (All. 2). Secondo tale parametrizzazione, risulta una velocità equivalente delle onde di taglio pari a $V_{seq} = 245 \text{ m/s}$. Sulla base di questi risultati, tenendo conto della profondità del substrato sismico inferiore ai 30 m, è possibile attribuire al sito indagato una **Categoria di Sottosuolo – E**, così come identificato nelle seguenti Categorie di Sottosuolo (Fig.9):

A.	AMMASSI ROCCIOSI AFFIORANTI O TERRENI MOLTO RIGIDI CARATTERIZZATI DA VALORI DI VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO SUPERIORI A 800 M/S, EVENTUALMENTE COMPREDENTI IN SUPERFICIE TERRENI DI CARATTERISTICHE MECCANICHE PIÙ SCADENTI CON SPESSORE MASSIMO PARI A 3 M.
B.	ROCCE TENERE E DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MOLTO ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MOLTO CONSISTENTI , CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA 360 M/S E 800 M/S.
C.	DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA MEDIAMENTE ADDENSATI O TERRENI A GRANA FINA MEDIAMENTE CONSISTENTI CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 M, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA 180 M/S E 360 M/S.
D.	DEPOSITI DI TERRENI A GRANA GROSSA SCARSAMENTE ADDENSATI O DI TERRENI A GRANA FINA SCARSAMENTE CONSISTENTI , CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO SUPERIORI A 30 M, CARATTERIZZATI DA UN MIGLIORAMENTO DELLE PROPRIETÀ MECCANICHE CON LA PROFONDITÀ E DA VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE COMPRESI TRA 100 E 180 M/S.
E.	TERRENI CON CARATTERISTICHE E VALORI DI VELOCITÀ EQUIVALENTE RICONDUCEBILI A QUELLE DEFINITE PER LE CATEGORIE C O D , CON PROFONDITÀ DEL SUBSTRATO NON SUPERIORE A 30 M.

Fig.9 – Categorie di Sottosuolo secondo le NTC2018.

9.3 CATEGORIA E AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

L'area di progetto è posta su un'area sub-pianeggiante di bacino sedimentario avente una pendenza media $<15^\circ$ e, secondo la Tabella 3.2.IV del Cap.3.2 delle NTC2018 (Fig.10), è ascrivibile alla **Categoria Topografica – T1**.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Fig.10 – Tabella di identificazione delle Categorie Topografiche, secondo le NTC2018.

In base alla tabella 3.2.VI del Cap.3.2 delle NTC2018 (Fig.11), il valore del coefficiente di *amplificazione topografica* da applicare è **ST=1.0**.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Fig.11 – Tabella di stima del coefficiente di amplificazione topografica S_T , secondo le NTC2018.

9.4 CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche le costruzioni vengono suddivise per classi d'uso (C_U). Tale classificazione tiene conto delle conseguenze a seguito dell'interruzione di operatività dell'opera o di un eventuale collasso. Di seguito viene riportata la classificazione con cui poter attribuire una Classe II all'opera di progetto;

Classe I: costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli;

***Classe II:* costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali;**

Classe III: costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente.

Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente.

9.5 VITA NOMINALE

Per il calcolo dell'azione sismica viene determinata la Vita Nominale di un'opera (V_N) rappresentata dal numero di anni nel quale l'opera deve essere usata per lo scopo di destinazione, a condizione che venga eseguita la manutenzione ordinaria. In Fig.12 viene riportata la Tab.2.4.I (NTC2018) che determina il valore di V_N per tipologia di opera; alle opere di progetto viene attribuita una $V_N \geq 50$ anni (tipologia di costruzione: II).

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Fig.12 – Tabella 2.4.I per la valutazione della V_N degli edifici, secondo le NTC2018.

9.6 VITA DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche su una costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di Vita di Riferimento (V_R) che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la Vita Nominale (V_N) per il coefficiente di Classe d'Uso (C_U) – $V_R = V_N * C_U$. Il valore di C_U viene definito al variare della classe d'uso, come mostrato in Fig.13.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Fig.13 – Tabella 2.4.II per la valutazione della V_N degli edifici, secondo le NTC2018.

Pertanto, nel caso dell'edificio oggetto d'intervento, la Vita di Riferimento (V_R) sarà pari a:

$$V_R = 50 * 1.0 = 50 \text{ ANNI}$$

9.7 PARAMETRI SISMICI

In relazione alle suddivisioni del territorio nazionale in un reticolo a maglia quadrata di ca. 10 Km di lato, in cui ciascun nodo è contrassegnato da un diverso valore dei parametri spettrali (a_g , F_0 e T^*c), si allega la tabella ricavata dall'elaborazione con il software *GeostruPS* (Fig.14) in modo da poter caratterizzare i parametri sismici da NTC18 riferiti all'area indagata.

Tale analisi ha permesso di individuare direttamente la pericolosità sismica di sito, per un tempo di ritorno assegnato in funzione del periodo di riferimento e in base alla corrispondente probabilità di superamento. Il periodo di riferimento viene calcolato in funzione della vita nominale dell'opera e del coefficiente d'uso dipendente dalla classe d'uso del manufatto.

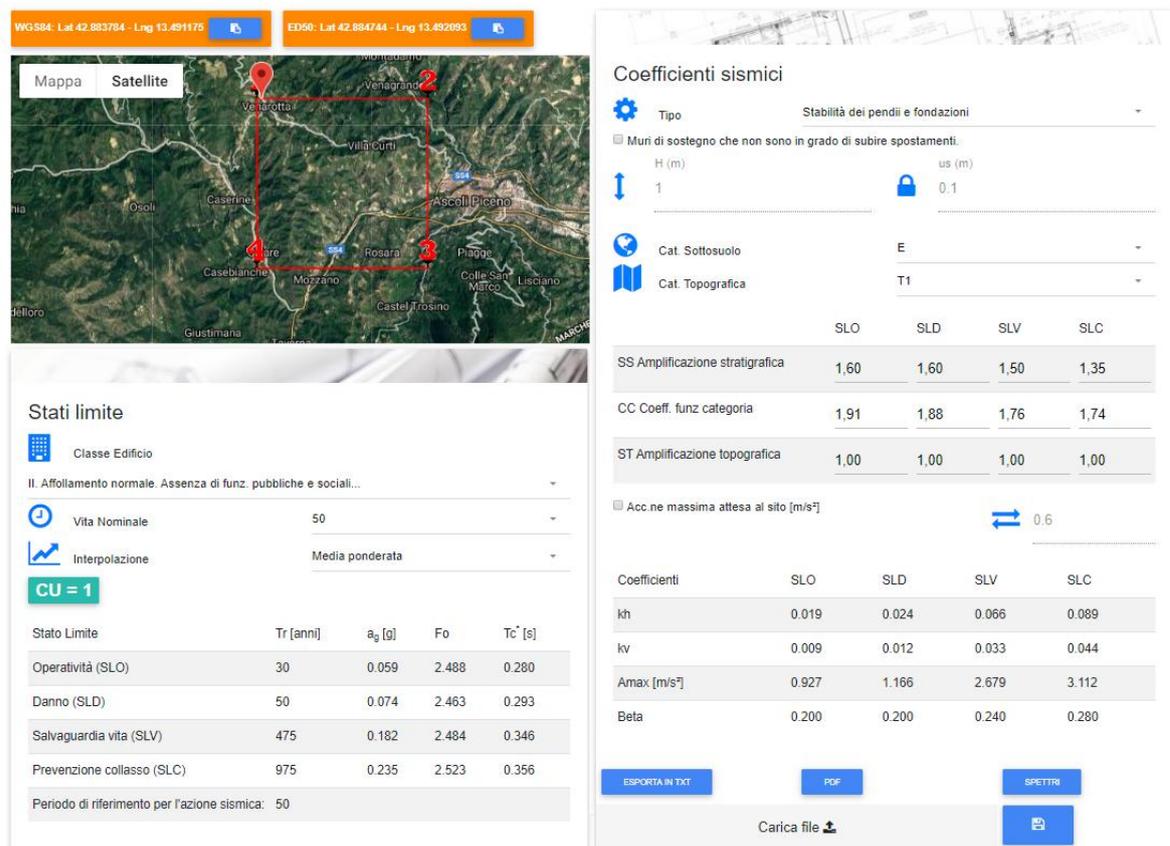


Fig.14 – Tabella di analisi per la determinazione dei parametri sismici dell'area indagata (software *GeostruPS*).

Tipo di elaborazione: *Stabilità dei pendii e Fondazioni* – Classe d'uso: *II* – Vita Nominale: *50*.

10. CONCLUSIONI

Il presente elaborato è stato redatto in ottemperanza del D.M. 17.01.2008 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” (NTC18) e costituisce la Relazione Geologica specialistica per l’opera di progetto. Le indagini sono state estese a una porzione di terreno ritenuta significativa ai fini dello studio stesso, in un intorno geologico-geomorfologico indicativo dell’area indagata. Lo studio condotto ha permesso di trarre quanto segue:

1. L’area in esame si ritiene allo stato attuale stabile e non vengono riscontrati fenomeni morfogenici in atto o potenziali. I rilevamenti geologici eseguiti hanno evidenziato un primo sottosuolo composto da depositi di riporto antropico ed eluvio-colluviali a granulometria medio-fine, indagati per uno spessore massimo di 5.70 m e sovrastanti un substrato di tipo arenaceo (Fm della Laga) la cui porzione integra viene individuata alla profondità min di 2.40 m (P.1) e max di 8.50 m (P.2);
2. Le prospezioni geofisiche hanno permesso di stabilire un V_{SEQ} pari a 245 m/s e una risultante Categoria di sottosuolo – E (substrato sismico inferiore a 30 m di profondità);
3. Per la struttura da realizzare si dovrà tener conto del regime idrogeologico locale in quanto è stata rilevata una falda freatica posta alla profondità di 4.60 m dal piano campagna. Particolare attenzione dovrà essere rivolta al drenaggio delle acque meteoriche: sarà necessario allontanarle dalle opere strutturali in quanto variazioni del contenuto di umidità nei terreni di sedime dei manufatti possono alterare le attuali caratteristiche geomeccaniche e morfologiche dei terreni;
4. Per la scelta delle strutture fondali può essere consigliata, a titolo indicativo, la realizzazione di fondazioni di tipo superficiale (ad es. trave rovescia) vista l’entità dell’opera da realizzare. In tal caso, si dovrà tener conto dell’inclinazione del substrato al di sotto delle coperture eluvio-colluviali il quale può portare a cedimenti differenziali dei suoli di fondazione. Tale condizione verrà in ogni caso verificata analiticamente dalla Relazione Geotecnica e sarà cura del progettista selezionare il piano d’imposta e l’adeguata tipologia di fondazioni da utilizzare;
5. L’opera di progetto rispetta il principio di Invarianza Idraulica in quanto la superficie di impermeabilizzazione è $<100 \text{ m}^2$; non vengono pertanto previste misure compensative;

6. Nel caso in cui si generino “materiali di scavo”, come definito all’Art.1 comma 1 punto b del D.M. n.161 del 10.08.2012, il materiale movimentato dovrà essere rispondente alle norme previste dalla “*disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’art.8 del D.L. n.133 del 12 settembre 2014 convertito, con modificazioni, dalla Legge n.164 del 11 novembre 2014*”;

7. Durante l’esecuzione delle opere fondali dovrà essere necessariamente data comunicazione scritta di inizio lavori al sottoscritto al fine di verificare la corrispondenza del modello geologico assunto in fase progettuale e la situazione in loco.

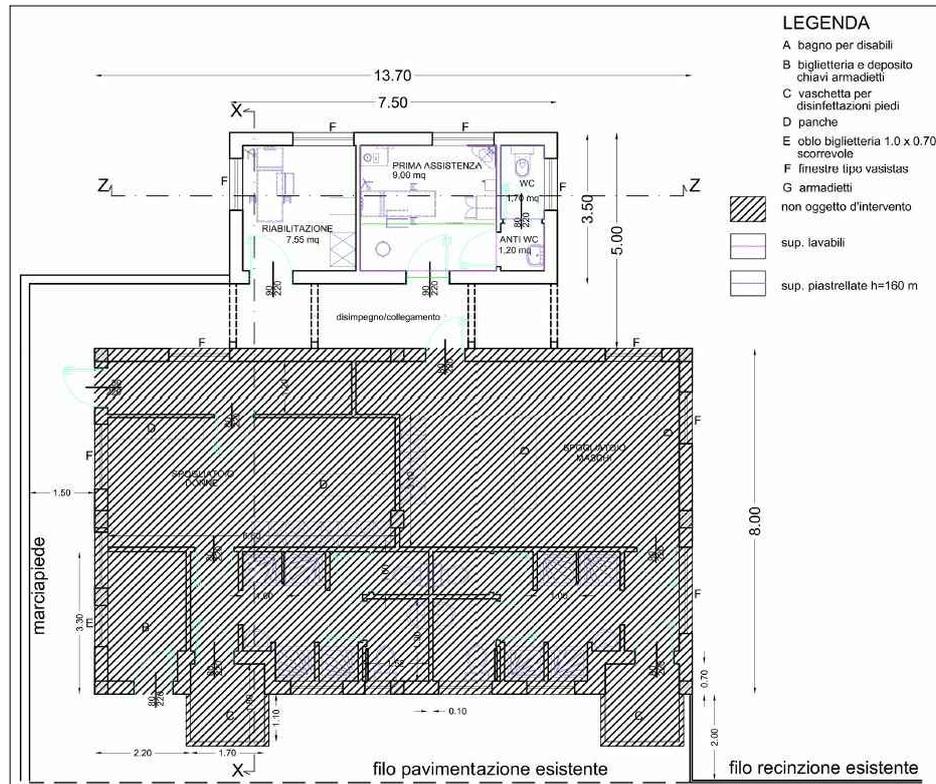
Lo scrivente resta a disposizione per eventuali chiarimenti.

Monte San Martino, Ottobre 2019

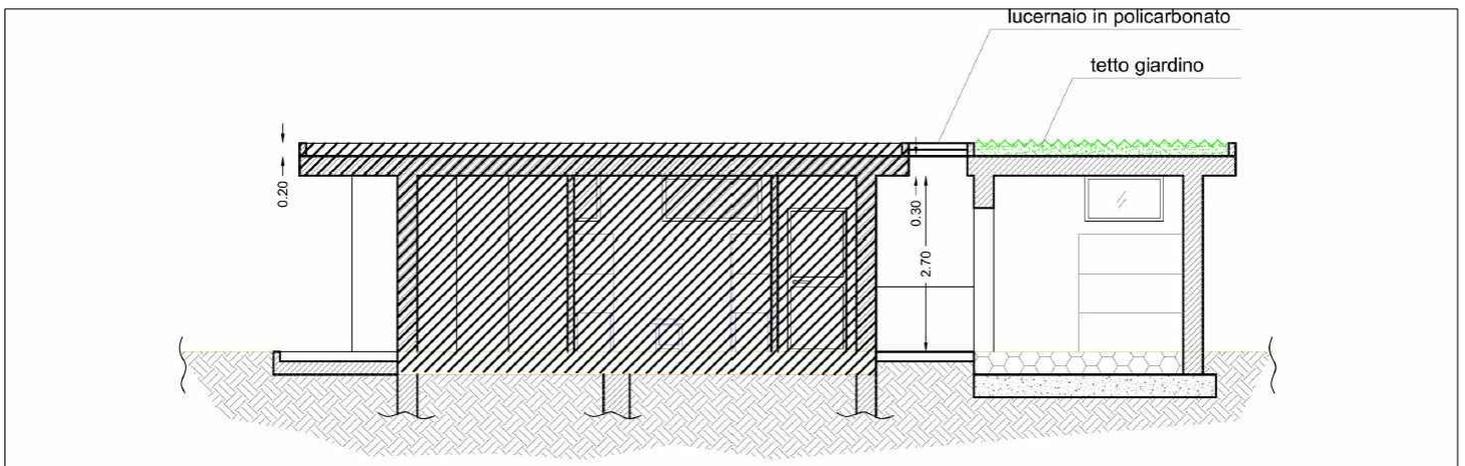
Il tecnico incaricato
Geol. Matteo Pompei

Tav. 1

Stralcio di progetto



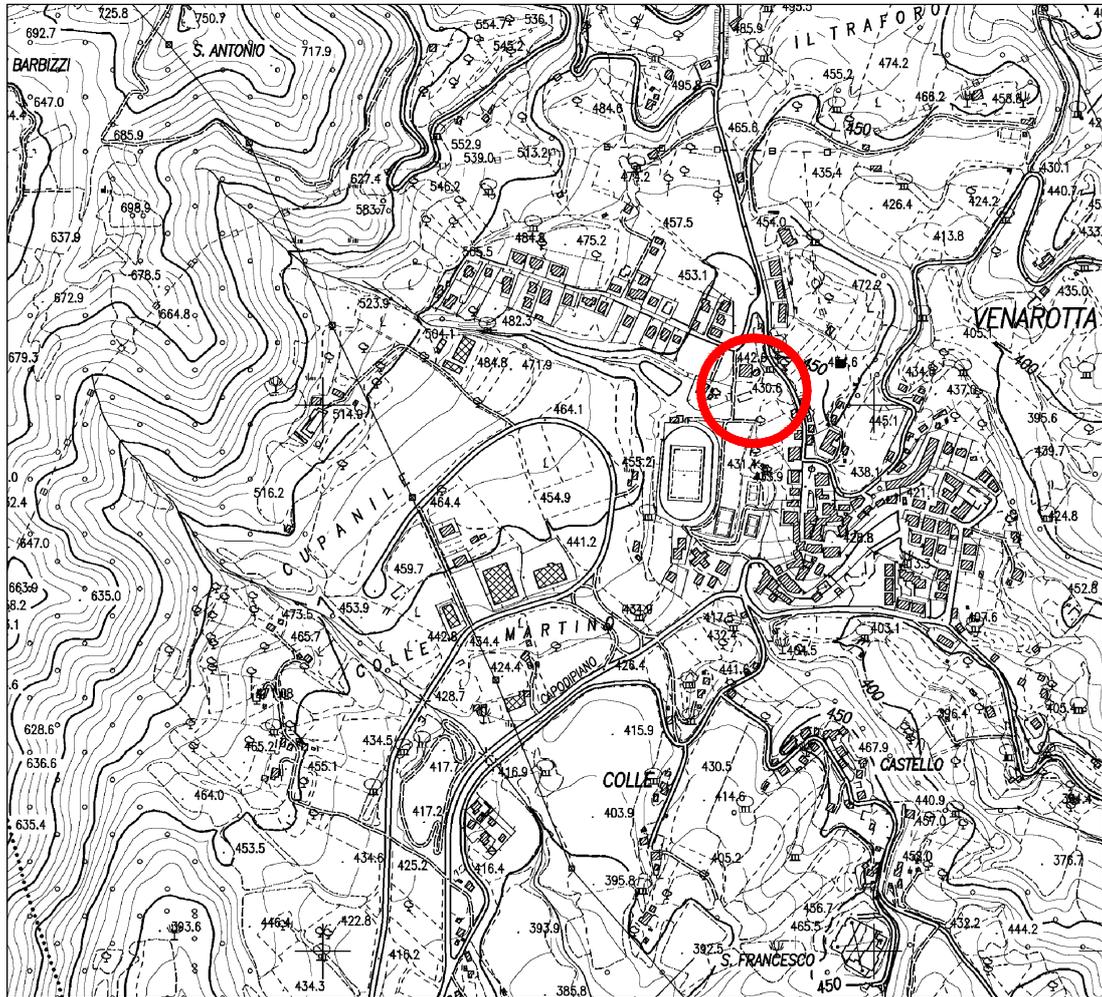
Planimetria



Sezione X-X'

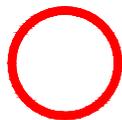
Scala 1:200

Tav. 2



Corografia

*Carta Tecnica Regionale
Sezione n°326100 - Venarotta - in scala 1:10.000*



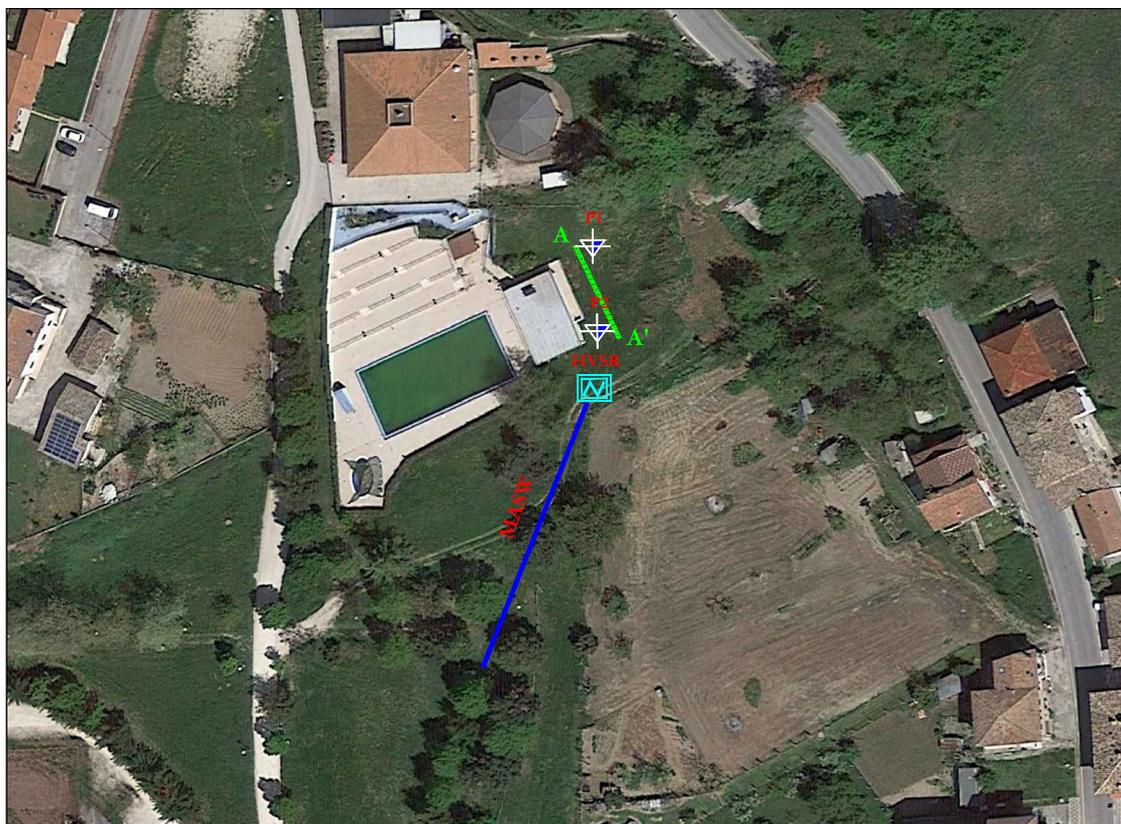
Area in esame



Studio di Geologia
Dr. Geol. Matteo Pompei

Committente: Comune di Venarotta
Località: Via Papa Giovanni II - Piscina comunale

Tav. 4



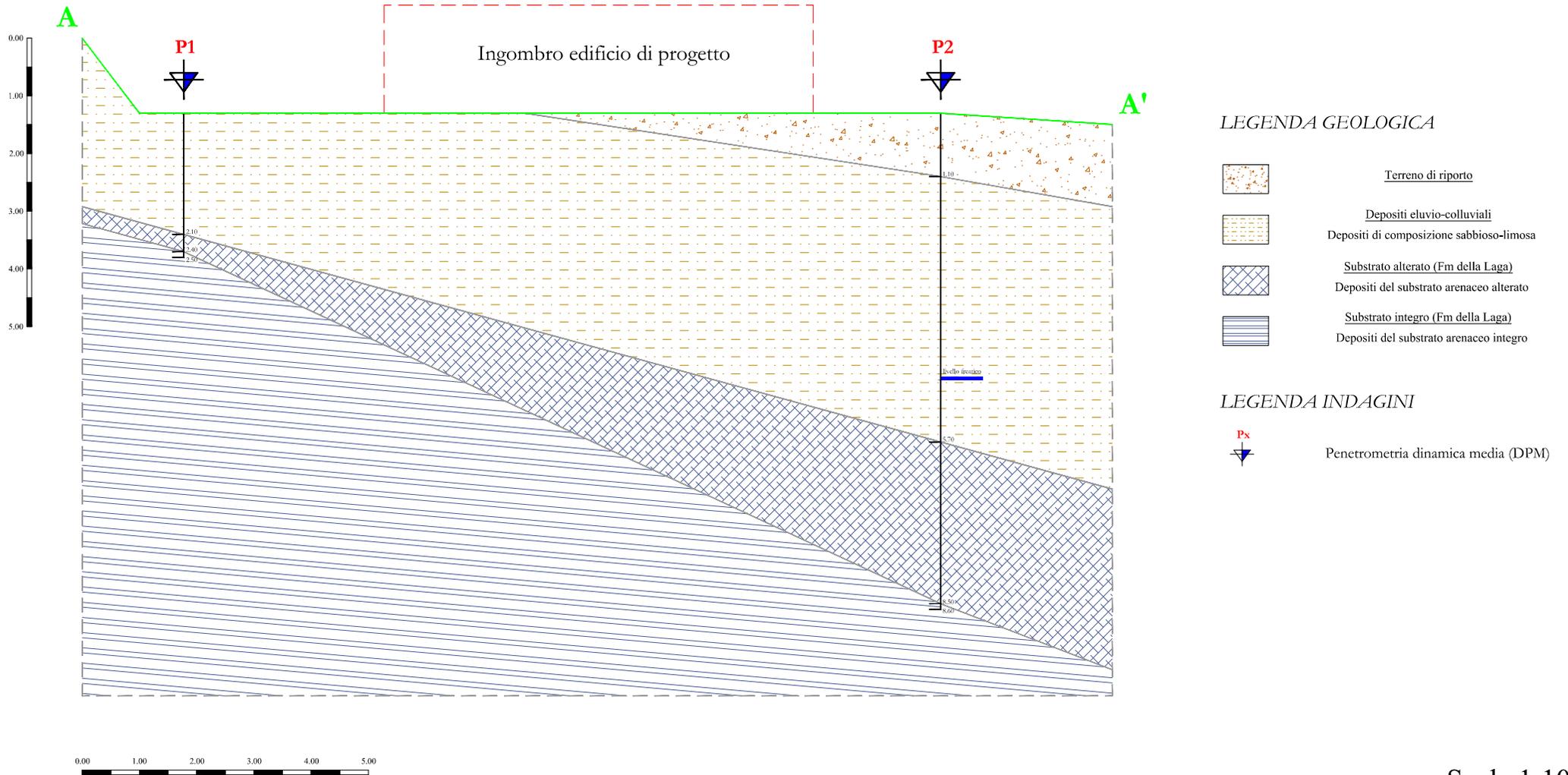
LEGENDA	
	Prova penetrometrica dinamica DPM
	Indagine sismica passiva HVSR
	Indagine sismica attiva MASW
	Sezione litostratigrafica

Ubicazione della campagna geognostica



Tav. 5

Sezione litostratigrafica schematica



Scala 1:100

Studio di Geologia
Dr. Geol. Matteo Pompei

Committente: Comune di Venarotta
Località: Via Papa Giovanni II - Piscina comunale

ALLEGATO 1

ELABORATI INDAGINI GEOGNOSTICHE

“Prove penetrometriche dinamiche”

Committente: Comune di Venarotta (AP)
 Cantiere: Piscina Comunale
 Località: Via Papa Giovanni II

Caratteristiche Tecniche-Strumentali: DMP 30

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0.20 m
Peso sistema di battuta	13 Kg
Diametro punta conica	35.68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2.93 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	1.00 m
Avanzamento punta	0.10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0.76
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

P.1



P.2



PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING)

DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

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

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

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

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

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

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

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

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

penetrometri in uso in Italia

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

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10$ cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

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

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

Dove:

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

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

- M peso massa battente.
- M' peso aste.
- H altezza di caduta.
- A area base punta conica.
- δ passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

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

- R_{pd} resistenza dinamica punta (area A).
- e infissione media per colpo (δ/N).
- M peso massa battente (altezza caduta H).
- P peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di $(N_1)_{60}$

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

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

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

ER/60 rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_S parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_r parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

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

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

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

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

In particolare consente di ottenere informazioni su:

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

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

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

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

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

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

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

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

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

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

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

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt\ corretto} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaierappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosifessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbiein genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .

- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose(cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.

- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buisman-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.

- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). $C_u(\text{min-max})$.
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (C_u-N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.

- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buisman- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15 .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA – P.1

Strumento utilizzato... DMP 30
 Prova eseguita in data 11/10/2019
 Profondità prova 2.50 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	3	0.857	10.07	11.76	0.50	0.59
0.20	3	0.855	10.05	11.76	0.50	0.59
0.30	2	0.853	6.68	7.84	0.33	0.39
0.40	3	0.851	10.00	11.76	0.50	0.59
0.50	2	0.849	6.65	7.84	0.33	0.39
0.60	2	0.847	6.64	7.84	0.33	0.39
0.70	3	0.845	9.94	11.76	0.50	0.59
0.80	3	0.843	9.92	11.76	0.50	0.59
0.90	2	0.842	6.60	7.84	0.33	0.39
1.00	4	0.840	13.16	15.68	0.66	0.78
1.10	3	0.838	9.26	11.05	0.46	0.55
1.20	3	0.836	9.24	11.05	0.46	0.55
1.30	2	0.835	6.15	7.37	0.31	0.37
1.40	2	0.833	6.14	7.37	0.31	0.37
1.50	4	0.831	12.25	14.74	0.61	0.74
1.60	5	0.830	15.28	18.42	0.76	0.92
1.70	5	0.828	15.25	18.42	0.76	0.92
1.80	5	0.826	15.22	18.42	0.76	0.92
1.90	4	0.825	12.15	14.74	0.61	0.74
2.00	5	0.823	15.16	18.42	0.76	0.92
2.10	5	0.822	14.28	17.38	0.71	0.87
2.20	14	0.770	37.47	48.66	1.87	2.43
2.30	19	0.769	50.76	66.04	2.54	3.30
2.40	19	0.767	50.66	66.04	2.53	3.30
2.50	50	0.616	106.99	173.78	5.35	8.69

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
2.1	3.33	12.53	1.86	0.17	0.76	2.53	sabbia limosa
2.4	17.33	60.24	2.04	0.37	0.77	13.27	sabbia
2.5	50	-	-	-	-	-	arenaria

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P.1

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) sabbia limosa	2.53	0.00-2.10	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) sabbia	13.27	2.10-2.40	A.G.I. (1977)	MODERATAMENTE ADDENSATO

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) sabbia	13.27	2.10-2.40	13.27	Meyerhof 1957	74.07

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) sabbia limosa	2.53	0.00-2.10	Meyerhof	1.86
Strato (2) sabbia	13.27	2.10-2.40	Meyerhof	2.04

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) sabbia limosa	2.53	0.00-2.10	2.53	Shioi-Fukuni (1982)	21.16
Strato (2) sabbia	13.27	2.10-2.40	13.27	Shioi-Fukuni (1982)	29.11

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) sabbia limosa	2.53	0.00-2.10	Terzaghi-Peck	0.16

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) sabbia limosa	2.53	0.00-2.10	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	27.60
Strato (2) sabbia	13.27	2.10-2.40	Bowles (1982) Sabbia Media	141.35

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) sabbia limosa	2.53	0.00-2.10	Apollonia	25.30
Strato (2) sabbia	13.27	2.10-2.40	Apollonia	132.70

Modulo di Poisson

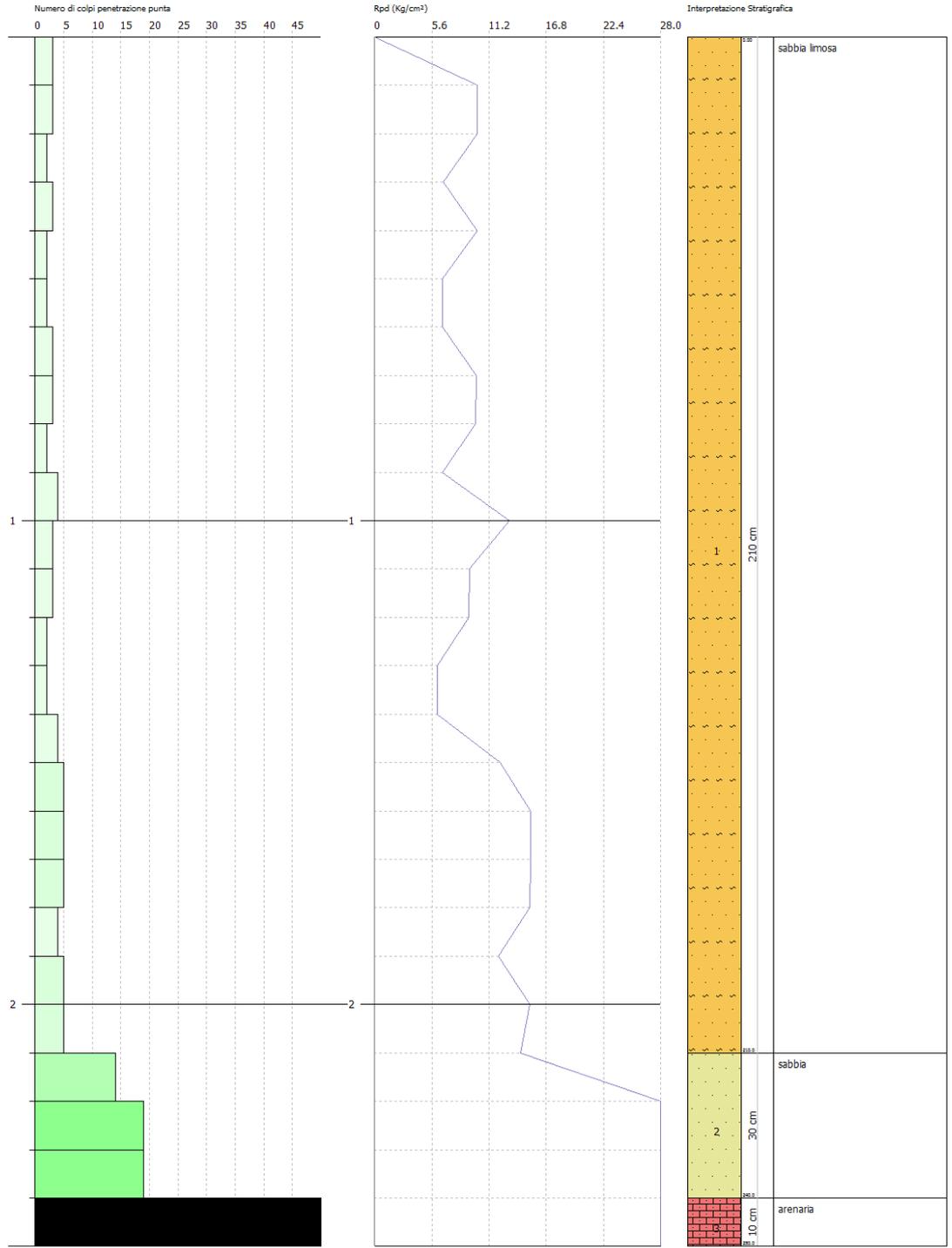
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) sabbia limosa	2.53	0.00-2.10	2.53	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) sabbia	13.27	2.10-2.40	13.27	(A.G.I.)	0.33

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DMP 30

Committente:
 Cantiere:
 Località:

Data: 11/10/2019

Scala 1:11



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROVA – P.2

Strumento utilizzato...
Prova eseguita in data
Profondità prova
Falda rilevata

DMP 30
11/10/2019
8.60 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	3	0.857	10.07	11.76	0.50	0.59
0.20	3	0.855	10.05	11.76	0.50	0.59
0.30	2	0.853	6.68	7.84	0.33	0.39
0.40	2	0.851	6.67	7.84	0.33	0.39
0.50	4	0.849	13.31	15.68	0.67	0.78
0.60	5	0.847	16.60	19.60	0.83	0.98
0.70	5	0.845	16.56	19.60	0.83	0.98
0.80	5	0.843	16.53	19.60	0.83	0.98
0.90	6	0.842	19.79	23.51	0.99	1.18
1.00	4	0.840	13.16	15.68	0.66	0.78
1.10	3	0.838	9.26	11.05	0.46	0.55
1.20	2	0.836	6.16	7.37	0.31	0.37
1.30	2	0.835	6.15	7.37	0.31	0.37
1.40	2	0.833	6.14	7.37	0.31	0.37
1.50	1	0.831	3.06	3.68	0.15	0.18
1.60	2	0.830	6.11	7.37	0.31	0.37
1.70	1	0.828	3.05	3.68	0.15	0.18
1.80	2	0.826	6.09	7.37	0.30	0.37
1.90	1	0.825	3.04	3.68	0.15	0.18
2.00	1	0.823	3.03	3.68	0.15	0.18
2.10	1	0.822	2.86	3.48	0.14	0.17
2.20	1	0.820	2.85	3.48	0.14	0.17
2.30	3	0.819	8.54	10.43	0.43	0.52
2.40	3	0.817	8.52	10.43	0.43	0.52
2.50	1	0.816	2.83	3.48	0.14	0.17
2.60	1	0.814	2.83	3.48	0.14	0.17
2.70	5	0.813	14.13	17.38	0.71	0.87
2.80	5	0.811	14.10	17.38	0.71	0.87
2.90	4	0.810	11.26	13.90	0.56	0.70
3.00	5	0.809	14.05	17.38	0.70	0.87
3.10	5	0.807	13.28	16.45	0.66	0.82
3.20	5	0.806	13.26	16.45	0.66	0.82
3.30	4	0.805	10.59	13.16	0.53	0.66
3.40	3	0.803	7.93	9.87	0.40	0.49
3.50	2	0.802	5.28	6.58	0.26	0.33
3.60	2	0.801	5.27	6.58	0.26	0.33
3.70	1	0.800	2.63	3.29	0.13	0.16
3.80	1	0.798	2.63	3.29	0.13	0.16
3.90	1	0.797	2.62	3.29	0.13	0.16
4.00	1	0.796	2.62	3.29	0.13	0.16
4.10	1	0.795	2.48	3.12	0.12	0.16

4.20	1	0.794	2.48	3.12	0.12	0.16
4.30	1	0.793	2.47	3.12	0.12	0.16
4.40	1	0.791	2.47	3.12	0.12	0.16
4.50	1	0.790	2.47	3.12	0.12	0.16
4.60	2	0.789	4.93	6.24	0.25	0.31
4.70	2	0.788	4.92	6.24	0.25	0.31
4.80	2	0.787	4.92	6.24	0.25	0.31
4.90	3	0.786	7.36	9.37	0.37	0.47
5.00	4	0.785	9.80	12.49	0.49	0.62
5.10	4	0.784	9.32	11.89	0.47	0.59
5.20	4	0.783	9.31	11.89	0.47	0.59
5.30	5	0.782	11.62	14.86	0.58	0.74
5.40	6	0.781	13.92	17.83	0.70	0.89
5.50	6	0.780	13.91	17.83	0.70	0.89
5.60	7	0.779	16.21	20.80	0.81	1.04
5.70	8	0.778	18.50	23.77	0.92	1.19
5.80	10	0.777	23.10	29.71	1.15	1.49
5.90	9	0.776	20.76	26.74	1.04	1.34
6.00	11	0.775	25.35	32.68	1.27	1.63
6.10	9	0.775	19.76	25.51	0.99	1.28
6.20	12	0.774	26.31	34.01	1.32	1.70
6.30	16	0.723	32.78	45.35	1.64	2.27
6.40	16	0.722	32.74	45.35	1.64	2.27
6.50	16	0.721	32.70	45.35	1.64	2.27
6.60	18	0.720	36.75	51.02	1.84	2.55
6.70	17	0.720	34.67	48.18	1.73	2.41
6.80	18	0.719	36.67	51.02	1.83	2.55
6.90	17	0.718	34.59	48.18	1.73	2.41
7.00	17	0.717	34.55	48.18	1.73	2.41
7.10	14	0.716	27.17	37.93	1.36	1.90
7.20	16	0.716	31.02	43.35	1.55	2.17
7.30	19	0.715	36.80	51.48	1.84	2.57
7.40	19	0.714	36.76	51.48	1.84	2.57
7.50	19	0.713	36.72	51.48	1.84	2.57
7.60	19	0.713	36.69	51.48	1.83	2.57
7.70	22	0.662	39.46	59.60	1.97	2.98
7.80	22	0.661	39.41	59.60	1.97	2.98
7.90	21	0.661	37.58	56.89	1.88	2.84
8.00	19	0.710	36.54	51.48	1.83	2.57
8.10	19	0.709	34.97	49.30	1.75	2.47
8.20	19	0.709	34.93	49.30	1.75	2.47
8.30	18	0.708	33.06	46.71	1.65	2.34
8.40	19	0.707	34.87	49.30	1.74	2.47
8.50	25	0.657	42.59	64.87	2.13	3.24
8.60	50	0.556	72.13	129.74	3.61	6.49

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Peso unità di volume (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con N _{spt}	NSPT	Descrizione
1.1	3.82	14.9	1.86	0.09	0.75	2.88	riporto
5.7	2.74	8.91	1.85	0.54	0.77	2.11	sabbia limosa
8.5	17	46.63	2.04	1.0	0.79	13.36	sabbia
8.6	50	-	-	-	-	-	arenaria

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA P.2

TERRENI COESIVI I

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) riporto	2.88	0.00-1.10	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) sabbia limosa	2.11	1.10-5.70	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) sabbia	13.36	5.70-8.50	A.G.I. (1977)	MODERATAMENTE ADDENSATO

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) sabbia	13.36	5.70-8.50	13.36	Meyerhof 1957	58.94

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) riporto	2.88	0.00-1.10	Meyerhof	1.86
Strato (2) sabbia limosa	2.11	1.10-5.70	Meyerhof	1.85
Strato (3) sabbia	13.36	5.70-8.50	Meyerhof	2.04

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) riporto	2.88	0.00-1.10	2.88	Shioi-Fukuni (1982)	21.57
Strato (2) sabbia limosa	2.11	1.10-5.70	2.11	Shioi-Fukuni (1982)	20.63
Strato (3) sabbia	13.36	5.70-8.50	13.36	Shioi-Fukuni (1982)	29.16

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	2.88	0.00-1.10	Terzaghi-Peck	0.18
Strato (2) sabbia limosa	2.11	1.10-5.70	Terzaghi-Peck	0.13

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) riporto	2.88	0.00-1.10	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.17
Strato (2) sabbia limosa	2.11	1.10-5.70	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	23.31
Strato (3) sabbia	13.36	5.70-8.50	Bowles (1982) Sabbia Media	141.80

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1)	2.88	0.00-1.10	Apollonia	28.80

riporto				
Strato (2) sabbia limosa	2.11	1.10-5.70	Apollonia	21.10
Strato (3) sabbia	13.36	5.70-8.50	Apollonia	133.60

Modulo di Poisson

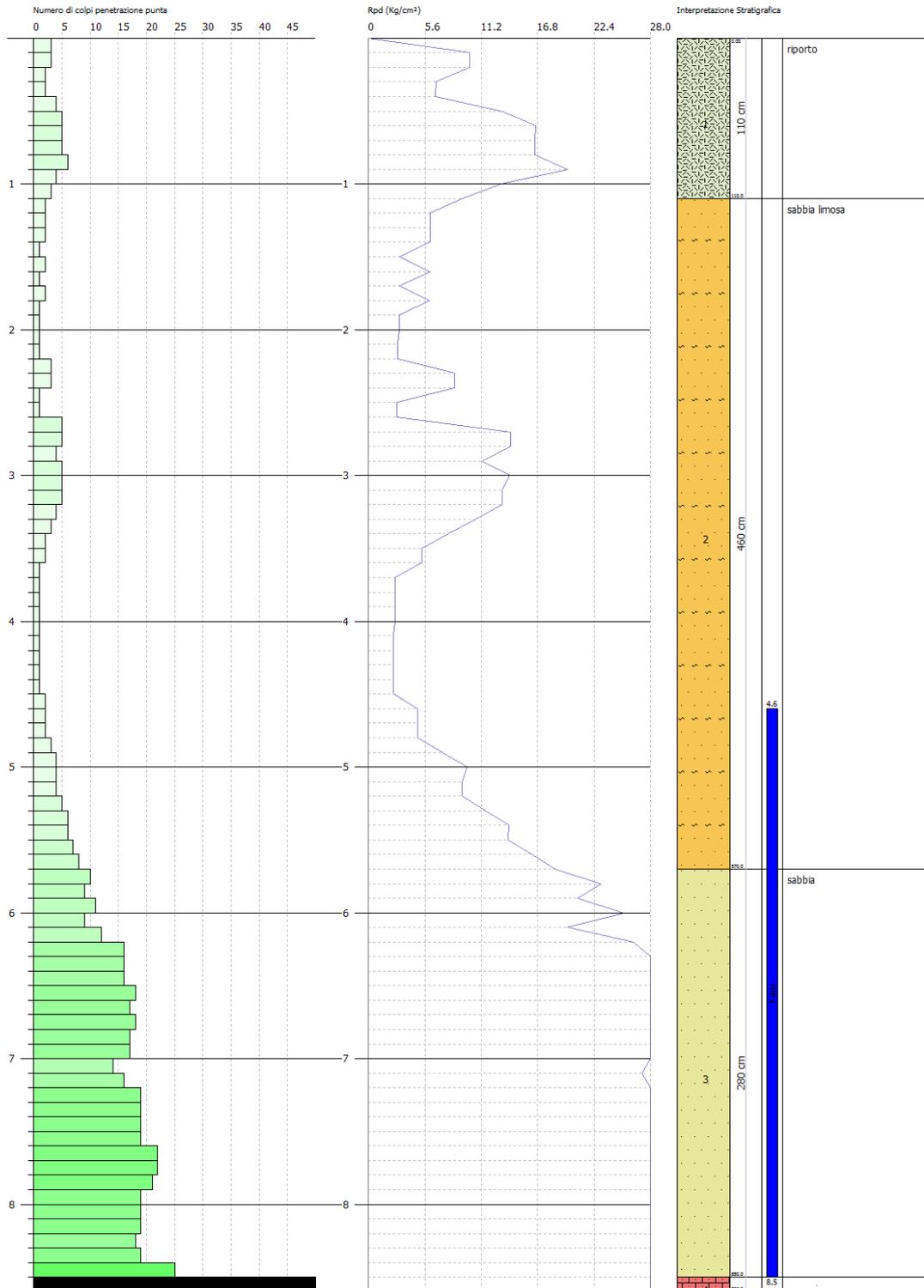
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) riporto	2.88	0.00-1.10	2.88	(A.G.I.)	0.35
Strato (2) sabbia limosa	2.11	1.10-5.70	2.11	(A.G.I.)	0.35
Strato (3) sabbia	13.36	5.70-8.50	13.36	(A.G.I.)	0.33

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DMP 30

Committente:
 Cantiere:
 Località:

Data: 11/10/2019

Scala 1:36



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

ALLEGATO 2

ELABORATI INDAGINI GEOFISICHE

“Analisi congiunta fitting Masw/H-V”

1. PREMESSA

Le indagini sono state eseguite nel medesimo giorno secondo il seguente programma:

- esecuzione di n°1 indagini sismica tipo Masw;
- esecuzione di n°1 indagine sismica tipo HVSR.

n°	Stesa	Lunghezza	N° Scoppi
1	Masw	48	1
1	HVSR	-	-

Tab.1 – Elenco indagini geofisiche.

2. INDAGINE SISMICA TIPO MASW

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW.

2.1 Strumentazione utilizzata

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde P: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata mediante TROMINO®, dotato di:
 - 3 canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ± 1.5 mm/s \sim)
 - 3 canali velocimetrici per la registrazione di vibrazioni forti (fino a ± 5 cm/s \sim)
 - 3 canali accelerometrici per monitoraggio di vibrazioni
 - 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW/rifrazione)
 - ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità
 - modulo radio per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie)

TROMINO® opera nell'intervallo di frequenze 0.1 - 512 Hz su tutti canali (con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz, 256Hz e 512Hz).

2.2 Indagine MASW: metodologia ed acquisizione

Il metodo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

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 dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica) cioè onde con diverse lunghezze d'onda che si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. And Richards, P.G., 1980); 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 onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi permette di avere informazioni della parte più superficiale del suolo; viceversa, onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine M.A.S.W. utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 2-100Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa tra i 10m ed i 50m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente; presenta una maggiore affidabilità per profondità di circa 20m.

Il risultato finale del processo di elaborazione è il profilo verticale delle velocità delle onde S.

I vantaggi della tecnica M.A.S.W. possono essere così riassunti:

- particolarmente indicata per terreni attenuanti ed ambienti rumorosi;
- è in grado di evidenziare inversioni di velocità nel profilo di velocità;
- buona risoluzione.

Schematicamente il processo di analisi è stato il seguente:

- Creazione dello spettro FK;
- Ricerca del miglior fitting fra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica;
- Profilo di velocità delle onde s.

I limiti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali ed omogenei, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere

rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°. Nell'area indagata le condizioni sopra riportate sono del tutto rispettate. Si rammenta in ogni caso che la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira generalmente attorno al 10-20 %.

La "copertura" dei tiri sulla base sismica è stata tale da consentire una corretta e dettagliata ricostruzione del campo di velocità locale fino alla profondità stabilita dall'indagine. L'elaborazione è stata eseguita tramite il software "EasyMasw". L'acquisizione è stata eseguita posizionando i 25 geofoni da 4.5 Hz, secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

Lunghezza stendimento ricevitori: 48 m; n. geofoni: 25; distanza intergeofonica: 2 m

n. punti di energizzazione: 25; prima battuta a 2m dal geofono 1

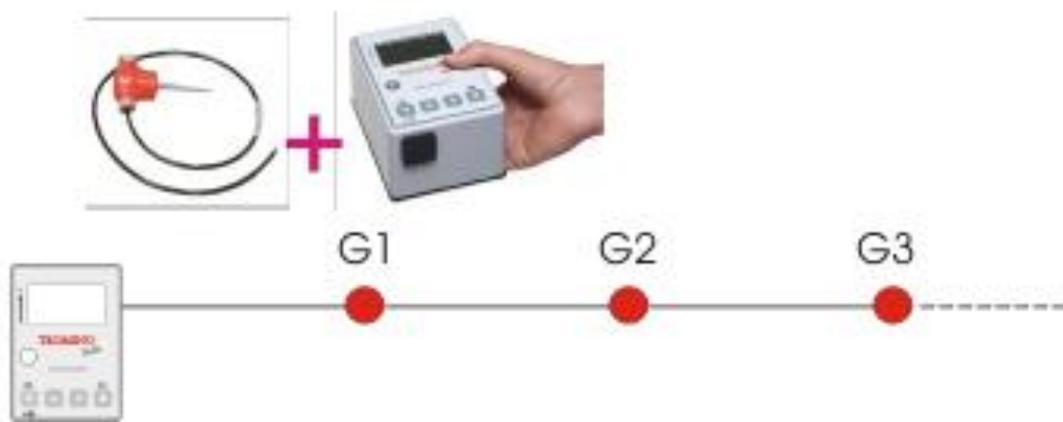


Fig.1 : Geometria schematica di acquisizione ed ubicazione punti di energizzazione .



Fig.2 : Fotografia in direzione Nord dello stendimento MASW .

3. INDAGINE SISMICA PASSIVA H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V. La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva e si avvale del rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Tale registrazione è stata utilizzata per la determinazione della frequenza caratteristica di risonanza che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale, in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare manufatti aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi in caso di sisma.

3.1 Procedura di analisi dati

Sui terreni di sedime è stata condotta, un'indagine geofisica attraverso l'acquisizione di n.1 registrazione a stazione singola. Dalla registrazione del rumore sismico ambientale in campo libero si ricava la curva H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), avendo utilizzato i seguenti parametri:

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

La curva H/V viene riprodotta creando una serie di modelli sintetici (che contemplano la propagazione delle onde di Rayleigh e di Love nel modo fondamentale e superiori in sistemi multistrato), fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali.

Tale operazione è possibile esclusivamente in presenza di un vincolo che può essere la profondità, nota tramite prove dirette (Sondaggi eseguiti in situ), di un riflettore sismico il cui marker sia riconoscibile nelle curve H/V (Castellaro e Mulargia, 2008) o la velocità delle onde di taglio (V_s) del primo strato nota da altre indagini.



Fig.3 : Fotografia in direzione Nord del punto di prova di sismica passiva a stazione singola HVSR.

Stazione singola HVSR

Dati riepilogativi:

Strumento: TEN-0011/01-07

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 14/10/19 15:20:06 Fine registrazione: 14/10/19 15:40:07

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

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

Freq. campionamento: 128 Hz

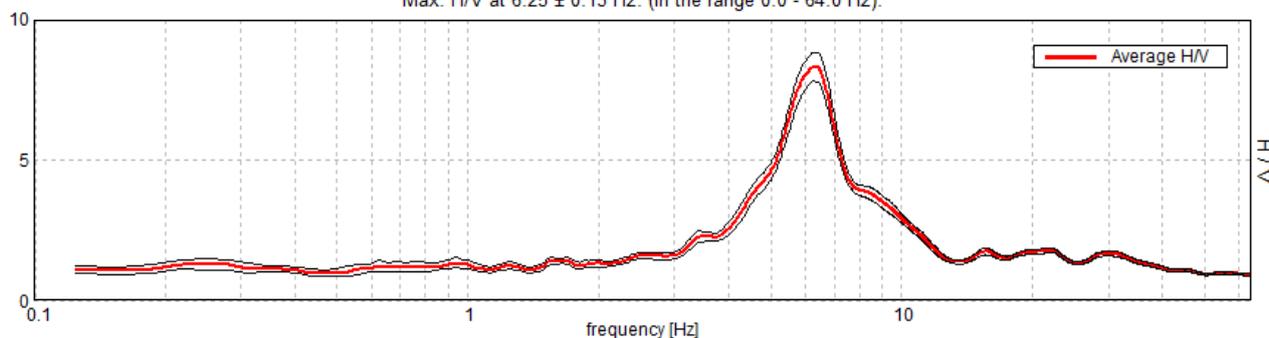
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

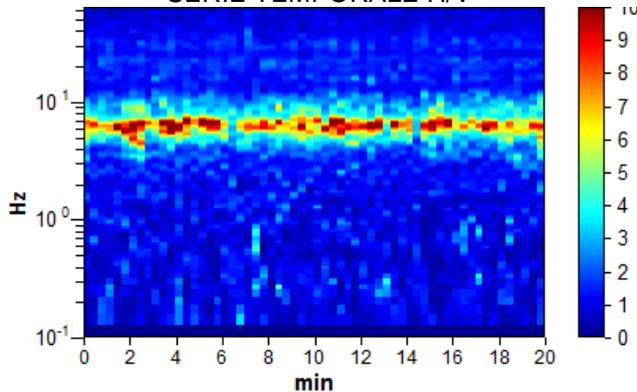
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

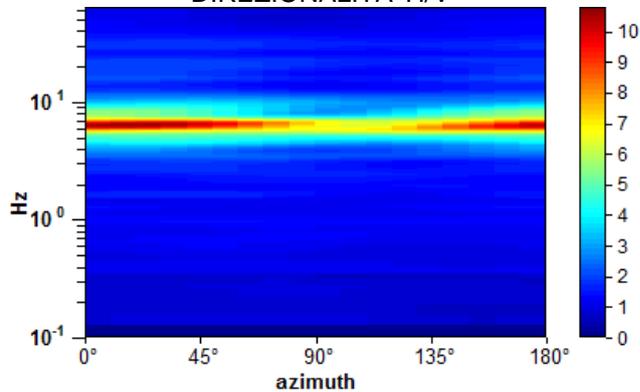
Max. H/V at 6.25 ± 0.13 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



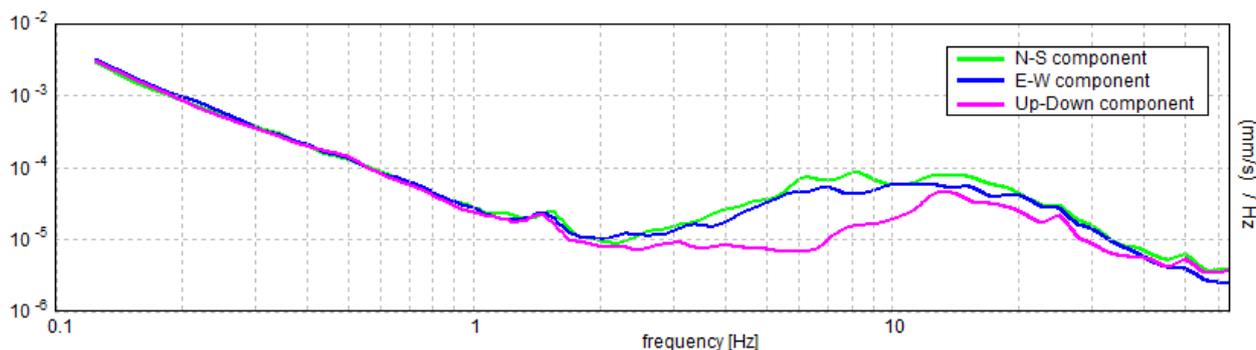
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

Picco H/V a 6.25 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.25 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$7500.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 301	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.719 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.688 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$8.32 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02109 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.13178 < 0.3125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5093 < 1.58$	OK	

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

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

Stendimento MASW - Dati di input

Numero di ricevitori

25

Durata acquisizione

1000 ms

Periodo di campionamento

0.5 ms

Offset

2.0 m

Traccia sismogrammi

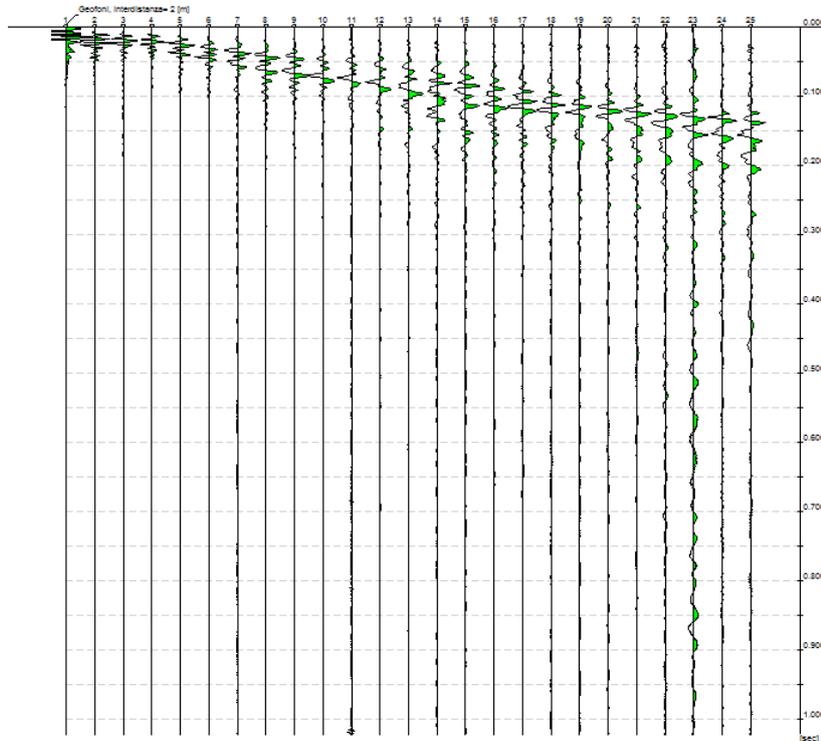


Fig.4: Traccia sismogrammi

Interpretazione dei risultati

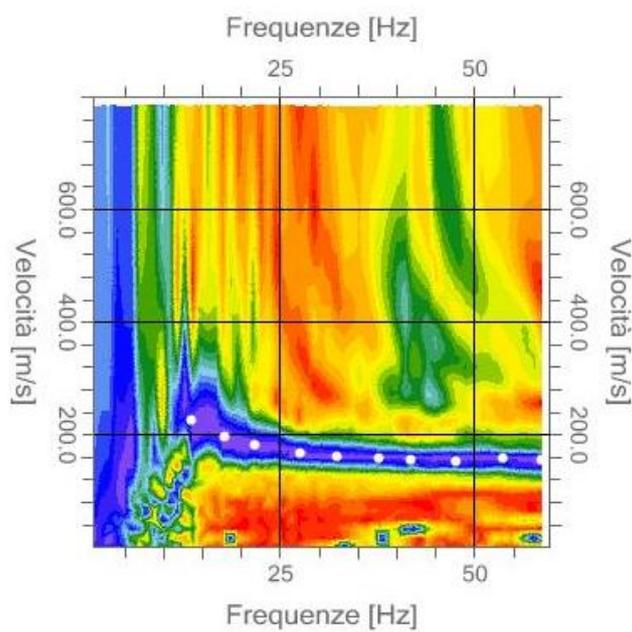


Fig.5: Inversione singola MASW

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	Std. Dev 20%
13.5	225.1	45.02
17.9	195.6	39.12
21.8	180.8	36.16
27.6	166.1	33.22
32.4	160.2	32.04
37.8	157.3	31.46
41.9	154.3	30.86
47.7	151.4	30.28
53.8	157.3	31.46
58.7	154.3	30.86

Tab.2: Curva di dispersione ed intervallo di confidenza.

ANALISI CONGIUNTA ONDE DI RAYLEIGH + HVSR

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

Profondità min (m)	Profondità max (m)	VP min (m/sec)	VP max (m/sec)	VS min (m/sec)	VS max (m/sec)	Density min (kg/m ³)	Density max (kg/m ³)	Poisson ratio min	Poisson ratio max
3.0	4.0	200	500	150	200	1800	2000	0.25	0.40
10.0	15.0	300	700	200	300	1800	2000	0.25	0.40
semispazio	-	400	3000	900	1200	2000	2400	0.20	0.25

Tab.3: Parametri di input per la modellazione.

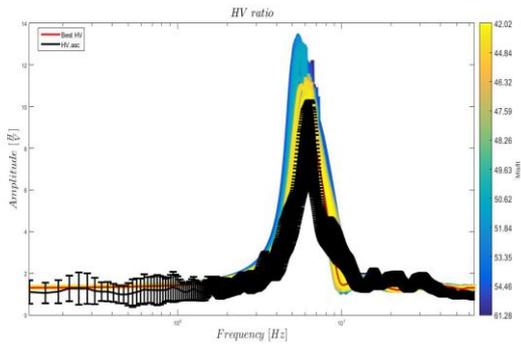


Fig.6 Range di spettri H/V calcolati

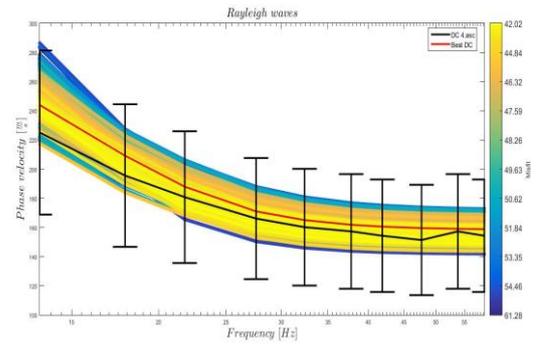


Fig.7 Range di curva di dispersione calcolati

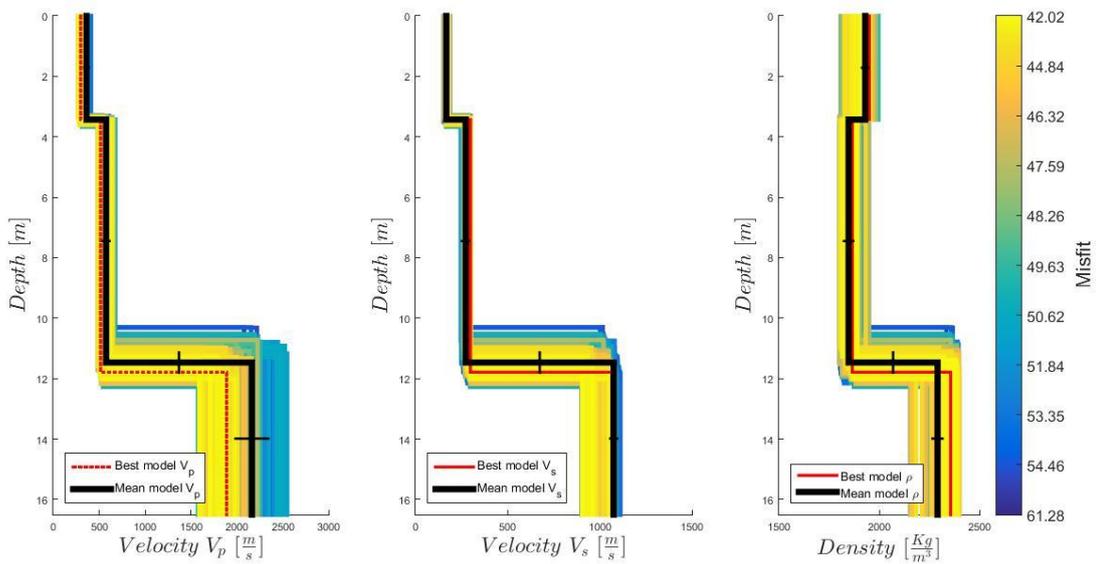


Fig.8: range di velocità P, S e densità calcolati

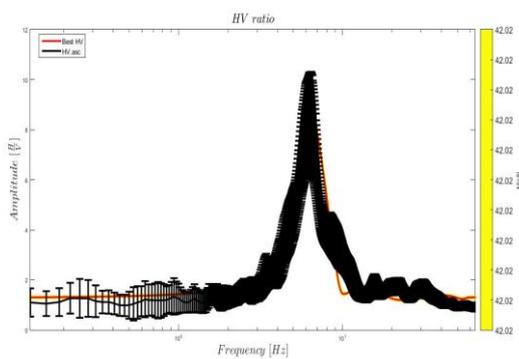


Fig.9 best fitting H/V

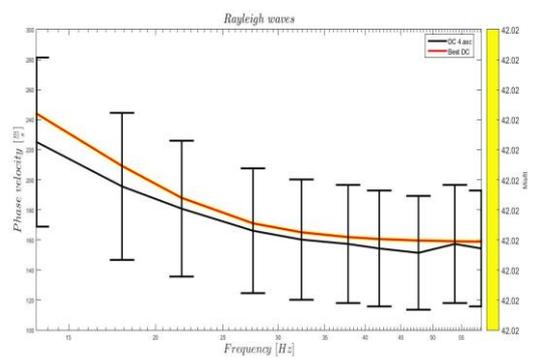


Fig.10 best fitting curva di dispersione

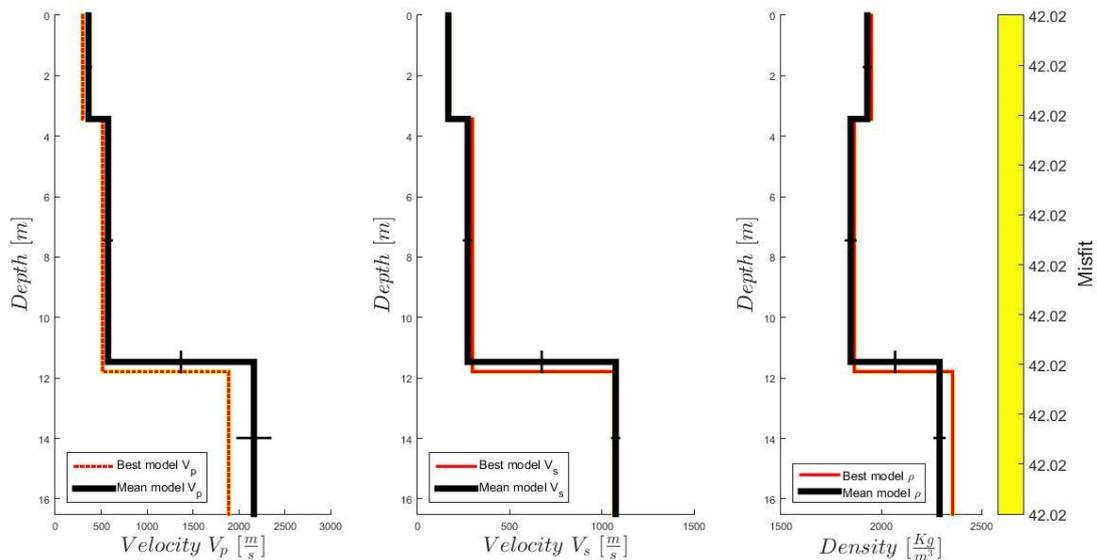


Fig.11: best fitting velocità P, S e densità calcolati

Spessore (m)	Profondità (m)	VP (m/sec)	VS (m/sec)	Density (kg/m ³)
3.43	3.43	299.4	172.4	1950
8.36	11.79	515.4	297.2	1865
semispazio	-	1888.5	1065	2356

Tab.4: Parametri di output miglior modello individuato.

Tale indagine, scaturita da un'analisi comparativa su tutte le soluzioni disponibili, ha permesso di calcolare la velocità in Vseq:

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

con:

hi spessore dell'i-esimo strato;

Vs,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Vseq = 245 m/sec (con substrato sismico a profondità inferiore a 30 m)

Categoria di sottosuolo "E"