COMUNE DI FANO

PROVINCIA DI PESARO E URBINO

OGGETTO:	PIANO DI RECUPERO IN VARIANTE AL P.R.G., AI SENSI DELLA LEGGE n. 457/1978 artt. 27-28, DI UN FABBRICATO RESIDENZIALE VINCOLATO SITO IN STRADA COMUNALE CAMPO D'AVIAZIONE N.25 NEL COMUNE DI FANO
COMMITTENTE:	[redacted]
UBICAZIONE:	Strada Comunale del Campo d'Aviazione n. 25 – Fano
ELABORATO:	*RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA* *COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA*
	16/12/2025



DOTT. GEOL. LAURA PELONGHINI
Via Mario Morosi 24 - FANO (PU)
tel. 0721/826847 cell 347/3212936
e-mail: laura.pelonghini@gmail.com
C.F. PLN LRA 71H63 D488K
P.IVA 01437530411

1. PREMESSA

Su incarico dei sig.ri [redacted], in conformità alle normative tecniche dettate dal D.M. 17/01/2018, è stata redatta una relazione geologica e sismica, con valutazione di compatibilità geomorfologica, per il piano di recupero in variante al P.R.G., ai sensi della legge n. 457/1978 artt. 27-28, di un fabbricato residenziale vincolato sito in Strada Comunale Campo d'Aviazione n.25 nel comune di Fano.

La normativa di riferimento è, sinteticamente, la seguente:

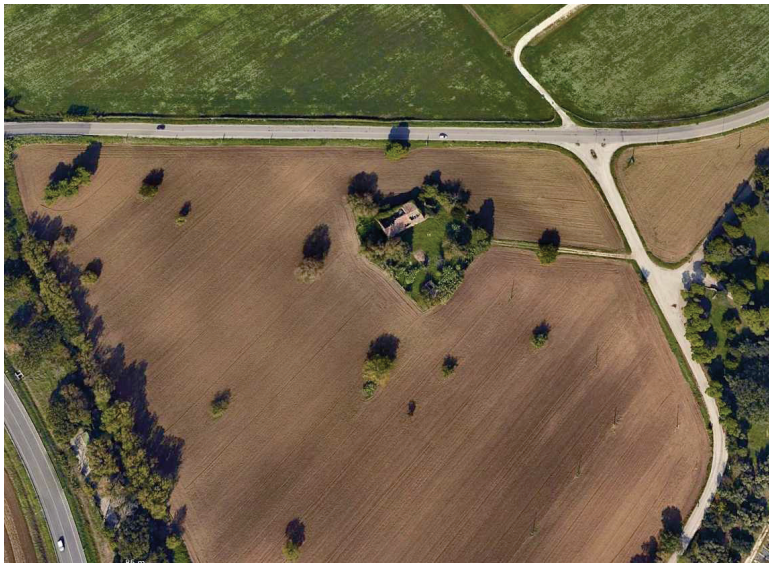
- OPCM n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
- OPCM n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"
- D.M. 17/01/2018 – Testo unitario "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Circolare n. 7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008"
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici-Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione del territorio nazionale;
- Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale

Lo scopo della presente relazione è quello di fornire un adeguato modello geologico del sito e valutare la stratigrafia dei terreni presenti ricostruendo il loro andamento tramite metodologie proprie del rilievo diretto in campagna ed indagini geognostiche.

Dopo un sopralluogo nell'area in studio, si è ritenuto di poter fare riferimento alle indagini geologico stratigrafiche eseguite sul lotto integrate da una prova penetrometrica CPT eseguita in aderenza al fabbricato.

La posizione delle indagini considerate, messe a disposizione dal committente e successivamente descritte, è indicata in apposita planimetria.

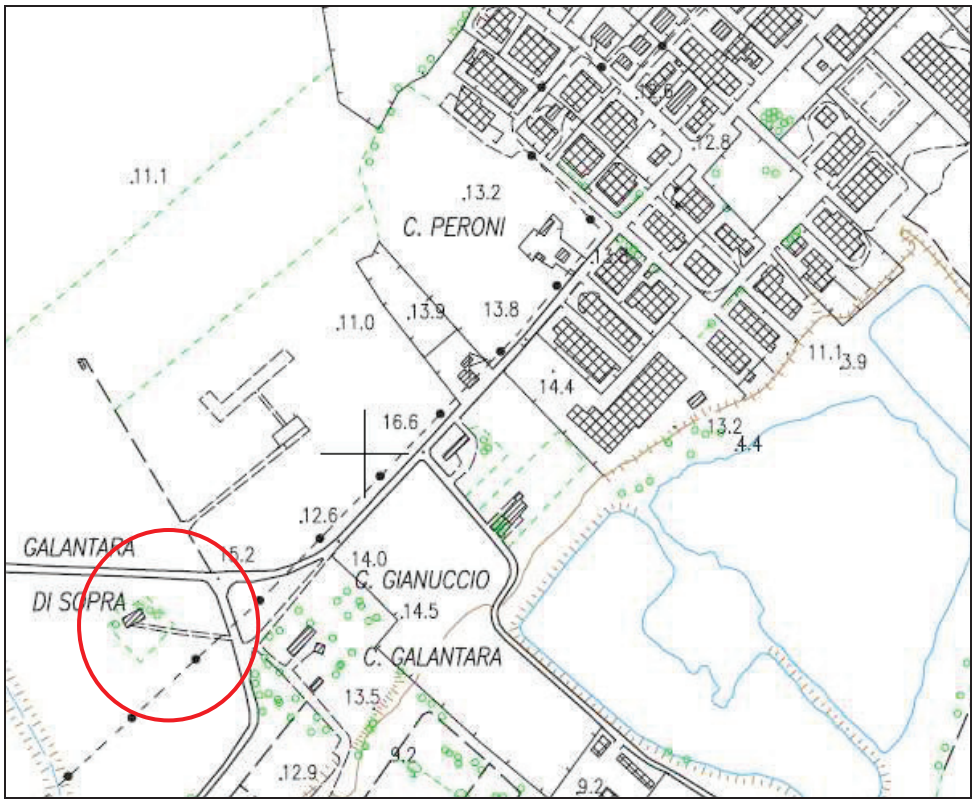
La classificazione sismica del sottosuolo è fornita tramite consultazione di misurazione MASW effettuata nel lotto limitrofo sulla medesima successione litostratigrafica.



2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO – IDROGEOLOGICO

Topografia

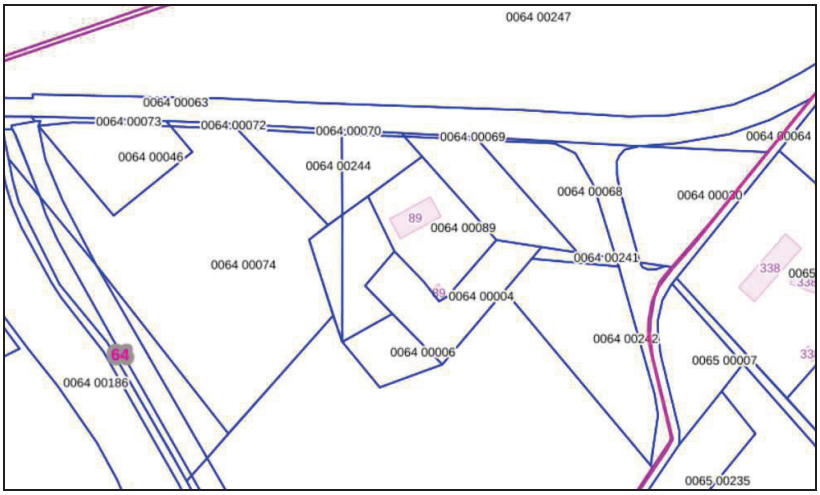
L'area in oggetto risulta ubicata nel Comune di Fano in località Ponte Metauro ad una quota topografica di circa 13 mt. s.l.m.m., come rappresentato nell' allegata corografia ortofotogrammetrica, a scala 1 :10.000, REGIONE MARCHE, foglio 269 (FANO) sez. n° 269130 - "FANO"



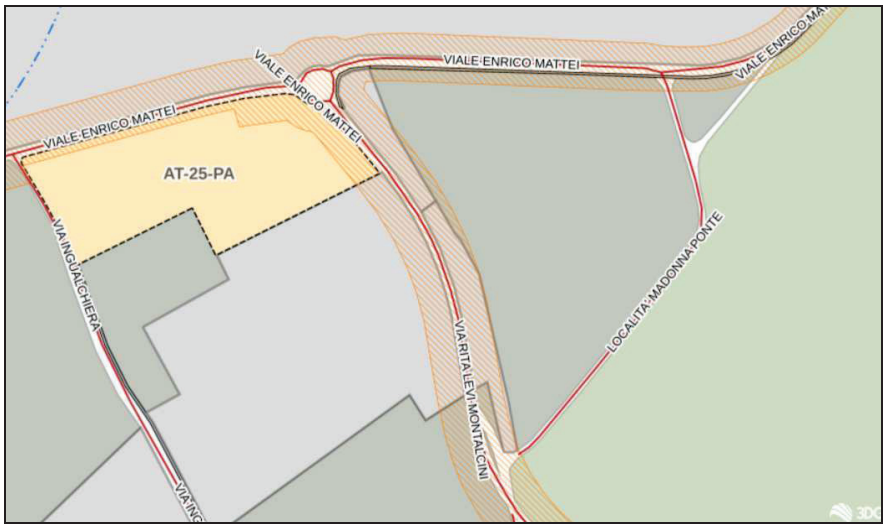
Carta Tecnica Regionale – sez. 269130 "Fano"

L'area è distinta al Catasto al Foglio 64 mappale 89 ed è classificata dal P.R.G. 2023 come "Zona E3".

Di seguito si riportano stralcio catastale e stralcio PRG.



STRALCIO CATASTALE foglio 64 - Mappale 89



STRALCIO PRG ADOTTATO
Zona E3

Inquadramento geomorfologico

L'area oggetto studio insiste sul tratto terminale della piana alluvionale del Fiume Metauro che si estende in direzione trasversale agli assi delle pieghe del substrato, la piana si allarga progressivamente fino a raggiungere l'ampiezza di circa sei chilometri poco a monte di Fano. In prossimità della costa le alluvioni del Metauro si raccordano con quelle del torrente Arzilla, che sfocia direttamente in mare, in sinistra idraulica.



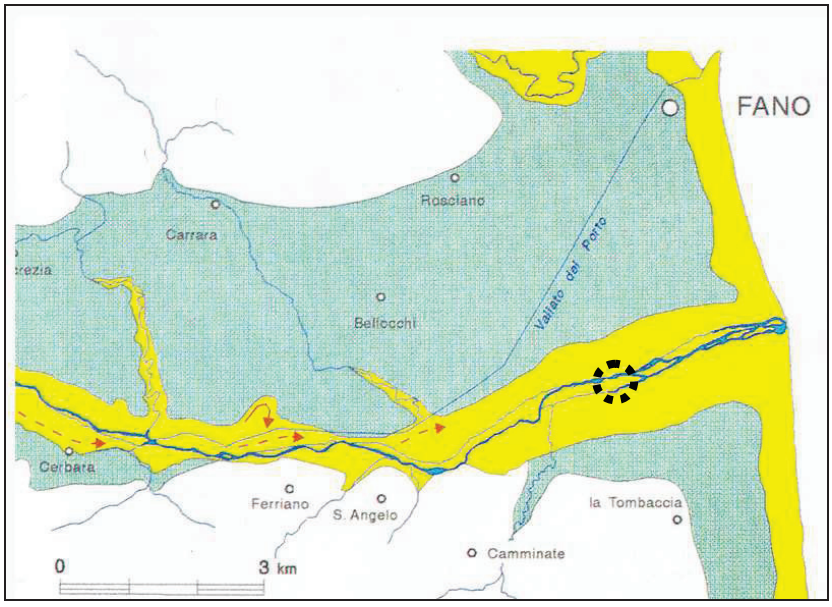
Parte terminale della piana alluvionale del Metauro (da Nesci & Savelli 1994).

La parte terminale della piana fluviale del Metauro è occupata da alluvioni terrazzate del Pleistocene superiore e Olocene. L'alveo attuale, fiancheggiato da argini artificiali, scorre su una piana relativamente ampia (4-6 km), posta a quota molto bassa sul canale attivo (non oltre 5-10 m) e che, almeno nella sua porzione più interna, raccoglie le acque di esondazione del Metauro. Ad eccezione del tratto immediatamente a monte della linea di riva, la piana è bordata sui due fianchi da scarpate, risultando così incastrata nei corpi alluvionali terrazzati del Pleistocene superiore-Olocene "antico". Nel suo tratto terminale, l'unico non racchiuso fra scarpate, per un'estensione di circa 500-1000 m, attraversa la stretta piana costiera.

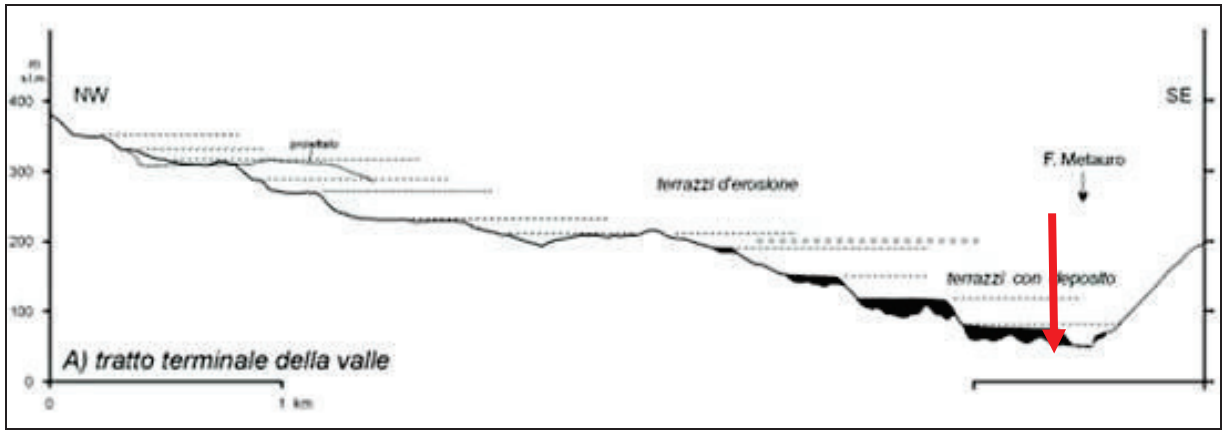
Quest'ultima termina a mare con l'attuale spiaggia ghiaioso-sabbiosa e si prolunga con continuità sia verso nord che verso sud. Nella porzione terminale del Metauro, su entrambi i lati, le scarpate che racchiudono la piana fluviale più recente sono singole e relativamente nette, sub-parallele fra loro e con andamento conforme all'attuale tracciato fluviale, vale a dire circa perpendicolare alla linea di riva. In prossimità della costa, compiono una deviazione di circa 90° allineandosi con la linea di riva e fondendosi così con la scarpata d'erosione marina che per oltre 7 km delimita verso terra la stretta piana costiera. Man mano che si procede verso l'interno le scarpate "bordiere" si sdoppiano in vario modo e diventano più arrotondate e meno rilevate, fino a lasciare il posto a semplici pendii, pur restando la piana di fondovalle confinata all'interno del corpo alluvionale del Pleistocene superiore-Olocene "antico". Quest'ultimo si allarga progressivamente verso mare su entrambi i lati della valle, evidenziando la sua primitiva forma a ventaglio.

I depositi sono prevalentemente ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi. Le ghiaie, in particolare, mostrano una prevalente e marcata stratificazione "a festoni" indicativa di deposizione a opera di canali fluviali intrecciati ma, localmente, compare una subordinata stratificazione incrociata del tipo "epsilon", indicativa di deposizione in anse fluviali. Nell'insieme l'ambiente deposizionale sembra pertanto dominato da canali multipli intrecciati, nei quali singoli tratti possono presentare una apprezzabile sinuosità, formando piccole barre laterali.

Una peculiarità morfologica della bassa valle del Fiume Metauro è rappresentata dalla distribuzione asimmetrica dei terrazzi che per lunghi tratti vallivi sono molto più sviluppati su uno soltanto dei due versanti, mentre sono poco rappresentati o assenti sul versante opposto. Nella parte terminale del fiume Metauro, in particolare, il versante destro (SE) è ripido e in evidente arretramento, a causa dell'erosione e dello scalzamento attualmente esercitati dal fiume.



SAVELLI e NESCI 1994 - In verde Terrazzo alluvionale dell'ultimo glaciale del Pleistocene T3, in giallo terrazzo alluvionale della seconda metà dell'Olocene T4



Sezione trasversale schematica della bassa valle del fiume Metauro mostrante la distribuzione dei terrazzi vallivi (Borraccini et al., 2002).

L'area è posizionata su depositi alluvionali appartenenti al III ordine dei terrazzi alluvionali a distanza ragguardevole dalla scarpata morfologica che segna il limite con l'ordine inferiore dei terrazzi alluvionali.
Sotto l'aspetto morfologico l'area non presenta situazioni particolari.




Assetto morfologico completamente pianeggiante

Idrologia - idrogeologia

L'area d'indagine si sviluppa nel bacino idrografico del Fiume Metauro, sulla sinistra idrografica, andando ad interessare i depositi alluvionali terrazzati del III ordine L'idrologia generale è regolata dalla presenza del Fiume Metauro e dai fossi collettori secondari che defluiscono in esso. Nello specifico essa è regolata anche dalle canalizzazioni e dalla rete fognaria delle strutture ivi presenti.
Il complesso idrogeologico delle pianure alluvionali è formato essenzialmente dai depositi alluvionali attuali e terrazzati recenti e terrazzati antichi delle pianure alluvionali, costituiti da corpi ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso limosi, con intercalate lenti, di estensione e spessore variabili, argilloso-limose e sabbioso-limose, più frequenti in prossimità della costa. Nella parte medio-alta delle pianure gli acquiferi di subalveo sono caratterizzati da falde mono strato a superficie libera. In prossimità della costa possono essere presenti acquiferi multistrato con falde confinate e semi confinate.
Tali acquiferi sono di notevole importanza per l'approvvigionamento idrico e per uso civile, agricolo ed industriale; la circolazione è molto veloce e legata alla presenza di paleo alvei, mentre l'escursione media della piezometrica raramente supera i 2 m.
L'alimentazione di tali acquiferi è dovuta, soprattutto, all'infiltrazione delle acque fluviali e la ricarica da parte delle piogge può essere considerata trascurabile, ad eccezione della parte alta delle pianure, dove le coperture argilloso - limose sono generalmente assenti. Nell'area oggetto di studio, la situazione idrogeologica è da ritenersi piuttosto semplice e dipendente dalla diversa permeabilità dei terreni presenti (ghiaia, sabbie, limi e argille limose).
La natura alluvionale dei litotipi presenti favorisce l'infiltrazione delle acque meteoriche ed il deflusso secondo linee preferenziali legate alla permeabilità.
La quota della falda è posta a circa -9,0 m dal piano campagna.

Inquadramento geologico

Geologicamente l'area in oggetto si colloca come già detto sui depositi alluvionali in sponda sinistra del Fiume Metauro.

In un intorno significativo dell'area in studio questi depositi, seguendo i criteri delle USBU sono attribuibili ai sintemi di Matelica e del Fiume Musone.

Sintema di Matelica (MTIbn): comprende i depositi alluvionali terrazzati del tradizionale "terzo ordine" (T3) con quote non superiori ai 15/20 metri sull'alveo attuale. Queste alluvioni sono prevalentemente ghiaiose, con corpi limoso-sabbiosi o sabbioso-ghiaiosi intercalati in genere con maggior più frequenza e spessore verso l'alto. Le ghiaie, ben arrotondate e in genere piuttosto appiattite, sono alimentate in prevalenza dai termini carbonatico-selciferi giurassico-cretacici affioranti nei settori più interni del bacino. Le ghiaie sono caratterizzate da una prevalente e marcata stratificazione "a festoni" indicativa di deposizione a opera di canali fluviali intrecciati ma, localmente, compare una subordinata stratificazione incrociata di tipo "epsilon", indicativa di deposizione in anse fluviali.

L'ambiente deposizionale di questo corpo alluvionale sembra dominato da canali multipli intrecciati, nei quali singoli tratti possono presentare una apprezzabile sinuosità, formando piccole barre laterali (Calderoni et al. 2007 Nesci et al.2008). Lo spessore di questi depositi, piuttosto variabile, può essere considerato tra 15/25 m fino ad un massimo di 30/35 metri.

Sintema del Fiume Musone (MUSbn) Questo sintema è rappresentato dai depositi alluvionali del Fiume Metauro e comprende un insieme eterogeneo e complesso di eventi di aggradazione e terrazzamento minori distribuiti a quote molto basse sull'alveo attivo.

I depositi di questo Sintema sono rappresentati dai depositi alluvionali tradizionalmente attribuiti al "quarto ordine dei terrazzi"(T4). Sono rappresentati da ghiaie, anche molto grossolane piuttosto eterometriche, intercalate a livelli sabbiosi, sabbioso-ghiaiosi o argilloso-sabbiosi, questi ultimi più frequenti verso l'alto. Gli spessori variano tra i 5 metri e i 10/15 metri.

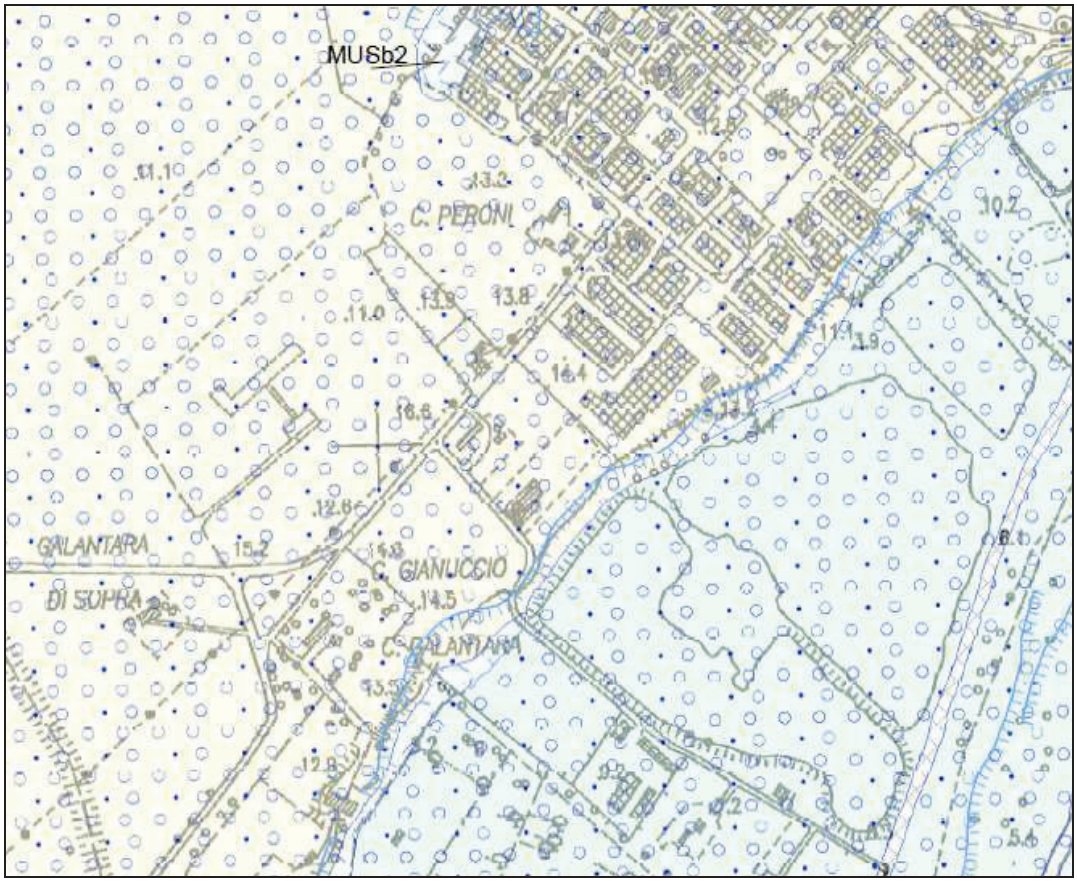
Sulla base di considerazioni morfologico-stratigrafiche questi depositi sono riferibili all'Olocene.

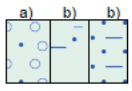
Le scarpate di raccordo tra i due terrazzi alluvionali sono rappresentati da una *coltre eluvio colluviale* (MUSb2). Sono depositi prodotti dalla concomitante azione di dilavamento e ruscellamento e di movimenti di massa corticali. Sulle scarpate fra terrazzi alluvionali, ove presenti, i corpi eluvio colluviale presentano una relativa continuità laterale, ma spessori esigui, non maggiori di 2-3 metri. Qui in genere ai sedimenti sabbioso-limoso-argillosi si associano subordinati ciottoli fluviali ben arrotondati, prodotti dall'erosione delle coltri alluvionali sulle quali sono incise le scarpate.

Al di sotto delle coperture alluvionali si trova il substrato geologico ascrivibile alla formazione del Pliocene superiore

CARTA GEOLOGICA
PROGETTO CARG Regione Marche

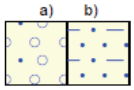
Sezione 269130 – stralcio





MUSbn

Depositi alluvionali terrazzati
a) ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille
b) argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie

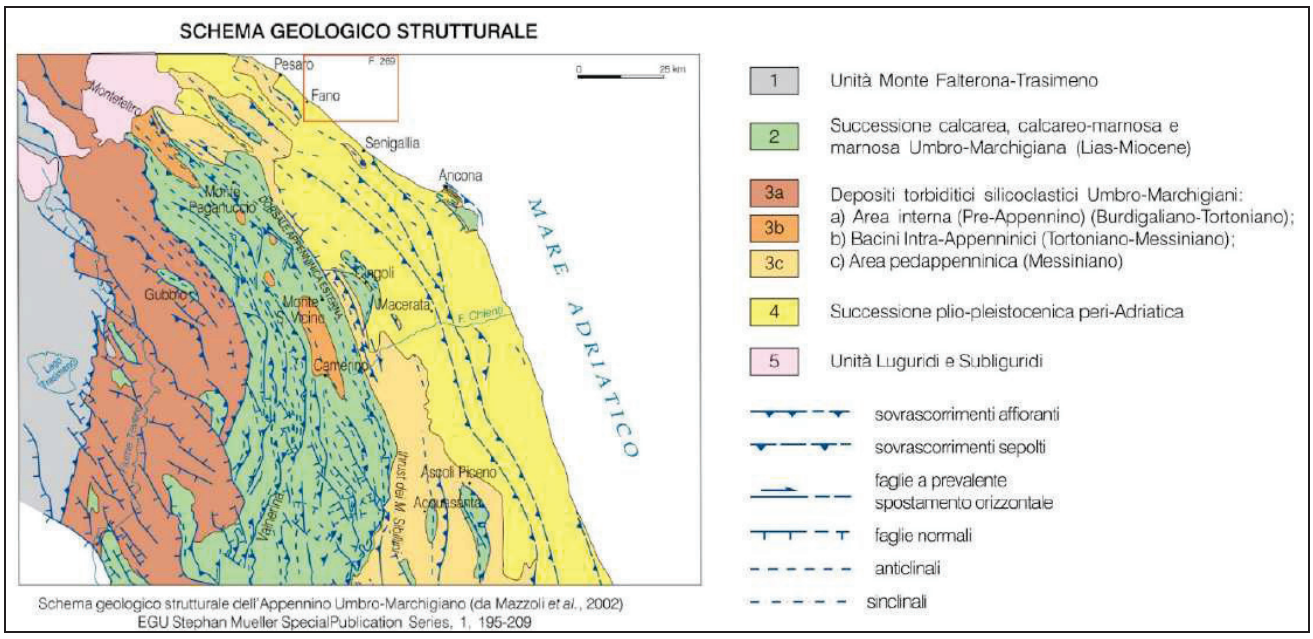


MTIbn

Depositi alluvionali terrazzati
a) ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille
b) argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie

Assetto tettonico dell'area

L'assetto strutturale dell'area è caratterizzato dalla presenza di strutture plicative asimmetriche, vergenti a NE, con piani di accavallamento localizzati nei livelli marnosi. Le faglie principali sono inverse con direzione NW-SE e caratterizzano soprattutto i depositi Mio-pliocenici. Alcune faglie dirette di modesto rigetto caratterizzano sia il substrato pre-Quaternario, che i depositi alluvionali del Pleistocene superiore – Olocene. Queste strutture tettoniche condizionano unitamente alle differenti fasi climatiche, l'evoluzione geomorfologica quaternaria dell'area e nell'adiacente offshore adriatico.



Schema geologico strutturale dell'Appennino Umbro-Marchigiano (da Mazzoli *et al.*, 2002)
EGU Stephan Mueller SpecialPublication Series, 1, 195-209

Analisi del Piano di Assetto Idrogeologico

Il Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Marche non individua nell'area in oggetto dissesti in atto o potenziali né fenomeni di esondazione al di sopra della scarpata di demarcazione tra i due ordini distinti di terrazzi alluvionali.



Stralcio PAI

3. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO

Descrizione e ubicazione delle indagini

Per la caratterizzazione stratigrafica sono state consultate le numerose indagini effettuate dalla sottoscritta per la nuova piscina comunale realizzata in lotto limitrofo correlata con la prova CPT eseguita all'interno della proprietà in oggetto.

Le indagini sono quindi rappresentate da:

- Prova penetrometrica CPT (lotto in studio)
- Prove penetrometriche CPT/DPSH (Piscina) (Dott. Geol. Laura Pelonghini)
- Sondaggi a rotazione con distruzione di nucleo (piscina) (Dott. Geol. Laura Pelonghini)

L'ubicazione delle prove considerata è riportata nella planimetria seguente.



SONDAGGIO S2 CPT/DPSH (piscina) CPT

Stratigrafia

Si riportano di seguito le stratigrafie delle prove effettuate e consultate.

PROVA PENETROMETRICA CPT1	
	ORIZZONTE A
da 0,0 m a 1,0 m	Terreno di copertura superficiale rimaneggiato e di riporto.
	ORIZZONTE B
da 1,0 m a 2,2 m	Limo argilloso sabbioso.
	ORIZZONTE C
da 2,2 m a 4,6 m	Limo sabbioso
	ORIZZONTE D
da 4,6 m a 5,2 m	Sabbia ghiaiosa.

CPT1/DPSH2 (piscina)	
	ORIZZONTE A
da 0,0 m a 0,6 m	Terreno superficiale vegetale.
	ORIZZONTE B
da 0,6 m a 1,2 m	Limo argilloso sabbioso.
	ORIZZONTE C
da 1,2 m a 8,0 m	Ghiaia sciolta in matrice sabbioso limosa a granulometria variabile.

SONDAGGIO S2 (piscina)	
	ORIZZONTE A
da 0,0 m a 0,6 m	Terreno superficiale vegetale.
	ORIZZONTE B
da 0,6 m a 5,5 m	Limo argilloso sabbioso.
	ORIZZONTE C
da 5,5 m a 10,5 m	Ghiaia sciolta in matrice sabbioso limosa a granulometria variabile.

Ricostruzione del modello geologico

Su quanto riportato precedentemente è stata elaborata una ricostruzione del modello geologico che tiene conto delle indagini consultate.

Tutte le indagini confermano la presenza di una deposizione alluvionale inizialmente fine per poi passare a depositi grossolani rientranti nel campo delle ghiaie a granulometria tendenzialmente variabile.

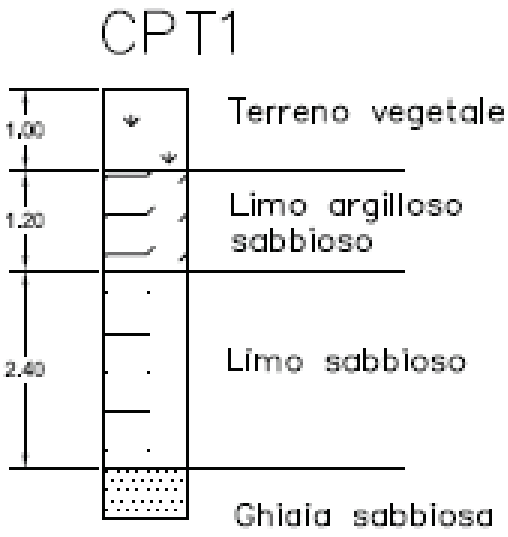
La falda è posizionata a -9.0 m dal piano campagna attuale.

Dai sondaggi geognostici consultati risulta quindi una stratigrafia abbastanza regolare per quanto concerne la successione di livelli argilloso sabbiosi e la sottostante presenza di ghiaia.

L'area presenta una successione piuttosto omogenea nella porzione più superficiale: dopo uno spessore di terreno agrario superficiale variabile tra 0,6 m e 1,0 m, si passa ad uno spessore di terreno limoso argilloso che raggiunge la quota di circa 2,2 m dal piano campagna; tra questo orizzonte e le ghiaie si trovano dei limi sabbiosi poco consistenti che presentano una bassa resistenza all'avanzamento penetrometico.

Il tetto delle ghiaie è prossimo ai 4,6 m dal piano campagna.

<u>Si consiglia di raggiungere con le fondazioni un terreno di litologia uniforme.</u>

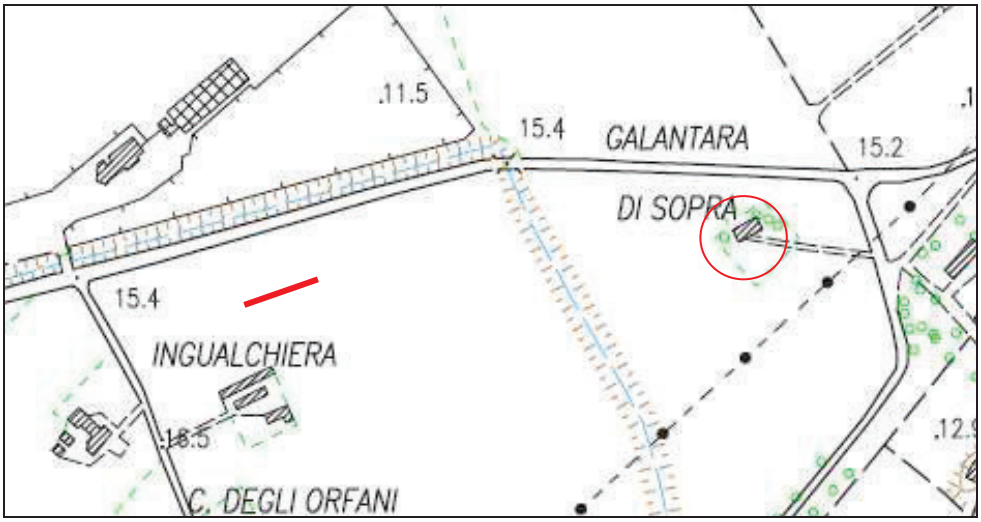


Modello geologico

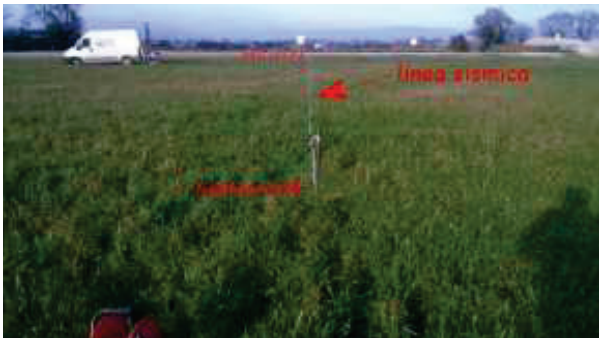
4. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO

Azione sismica

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, ai sensi del TU sulle Costruzioni D.M. 17/01/2018 (paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo), l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. 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, VS.
Tale classificazione è basata sui risultati della prova MASW ubicata come da foto seguente e il cui rapporto è allegato alla relazione e di cui fa parte integrante.



Ubicazione MASW Area in studio



L'indagine sismica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) si basa sulla propagazione delle onde di superficie Rayleigh. Si utilizza uno stendimento lineare di geofoni ed il terreno viene energizzato attivamente attraverso una massa battente.

L'interpretazione geofisica individua il modello geofisico dell'area distinguendo le unità geofisiche, a cui si associano intervalli di valore di Vp e Vs e dei relativi parametri elastici.
La velocità delle onde di massa dipende dai parametri elastici dei mezzi attraversati che sono a loro volta influenzati da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, ecc.. Una corretta determinazione della velocità delle onde di massa (Vp e Vs) consente quindi di ricavare i moduli elastici dinamici che caratterizzano il mezzo in cui si propaga la perturbazione ed ottenere informazioni circa la sua natura e il tipo di risposta alle sollecitazioni dinamiche.
I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di caratterizzare al meglio l'area d'indagine.
La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

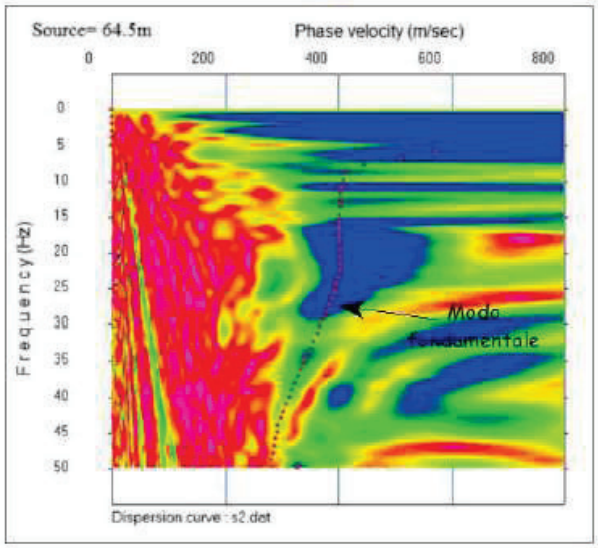
$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:
h_i spessore dell'i-esimo strato;
$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N numero di strati;
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

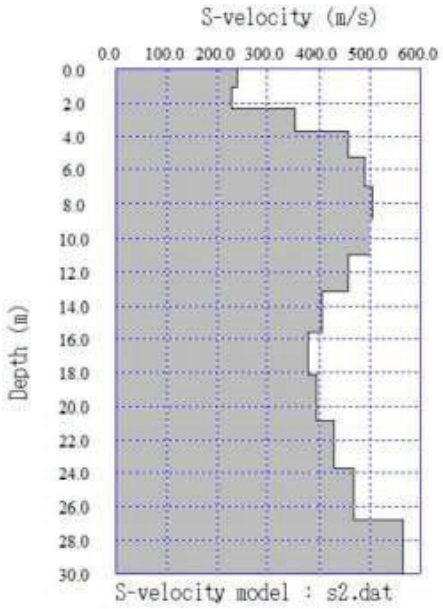
Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal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

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di caratterizzare al meglio l'area d'indagine. Gli stessi definiscono la categoria di suolo del sito, in base ai valori di VS30 calcolati a partire dal p.c. fino a 30 m di profondità.

Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 2



Profilo verticale delle onde di taglio - Shot 2



Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs_{30} (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	240	0,0045	
1,07 ÷ 2,31	1,24	231	0,0054	
2,31 ÷ 3,71	1,40	353	0,0040	
3,71 ÷ 5,27	1,57	456	0,0034	
5,27 ÷ 7,01	1,73	489	0,0035	
7,01 ÷ 8,90	1,90	505	0,0038	
8,90 ÷ 10,96	2,06	501	0,0041	Vs_{30} = 416 m/s
10,96 ÷ 13,19	2,23	456	0,0049	
13,19 ÷ 15,58	2,39	404	0,0059	
15,58 ÷ 18,13	2,55	380	0,0067	
18,13 ÷ 20,85	2,72	393	0,0069	
20,85 ÷ 23,74	2,88	428	0,0067	
23,74 ÷ 26,79	3,05	467	0,0065	
26,79 ÷ 30,00	3,21	565	0,0057	
		ΣHi/Vi=	0,0720	

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti 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 riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

L'area analizzata può essere inclusa nella **CATEGORIA B.**

Per quanto concerne eventuali influenze dell'assetto topografico sull'azione sismica le NTC distinguono le categorie sotto riportate.

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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

La zona esaminata appartiene ad una CATEGORIA TOPOGRAFICA T1.

Pericolosità sismica

La pericolosità sismica locale, come specificato all'art. 90 delle NTA del PRG 2023, all'interno del territorio comunale sono state definite sulla base di due criteri:

a) tramite l'applicazione di criteri di Microzonazione Sismica di secondo livello (MZS 2018-2020), riferiti alle aree edificate e interessate dalle principali previsioni urbanistiche,

b) tramite l'applicazione di criteri geologici e geomorfologici, riferiti alle aree non edificate del territorio comunale.



L'area non è stata interessata da studi di microzonazione che abbiano indicato fattori di amplificazione.

Il presente elaborato affronta il tema della risposta sismica locale secondo l'approccio semplificato come permesso dalla vigente normativa delle NTC2018.

Si precisa che, oltre alla modellazione geologica (cap. 6.2.1) e geotecnica (cap. 6.2.2) del sito, le NTC18 prevedono la modellazione sismica del sottosuolo finalizzata alla definizione dell'azione sismica di progetto e, quindi, alla valutazione della risposta sismica locale. L'effetto di quest'ultima va valutato mediante specifiche analisi (cap. 7.11.3) o, limitatamente ai casi in cui le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, facendo riferimento all'approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio (Vs).

La classificazione del terreno di fondazione è stata determinata tramite misurazione MASW che, nel profilo ricavato della Vs30 eq, non ha evidenziato valori di inversione della velocità (fattore di amplificazione locale) apprezzabili.

Si ritiene pertanto legittimo adottare l'approccio semplificato escludendo ulteriori approfondimenti.

Verifica del potenziale di liquefazione

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 si vuole prendere in analisi il problema della liquefazione dei terreni.

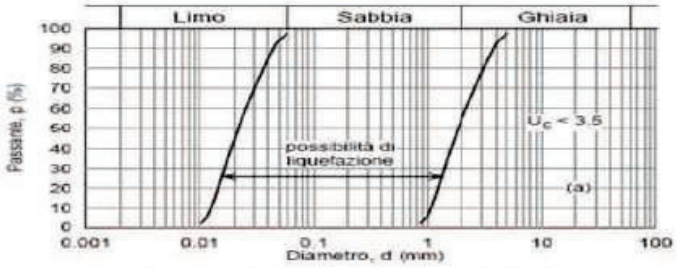
Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino all'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Essa dipende essenzialmente dal grado di addensamento, dalla granulometria e dalla profondità della falda (che deve essere prossima al piano campagna). I terreni in posto sono caratterizzati da spessori variabili di ghiaie sabbiose e ghiaie limose ricoperti da depositi alluvionali fini di ridotto spessore.

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna *in assenza di manufatti* (condizioni di campo libero) minori di 0,1*g*;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* *(N1)60 > 30* oppure *qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove* penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e *qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche* statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità *Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5*.

(Uc rapporto D60/D10, dove D60 e D10 sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).



Uc rapporto D60/D10, dove D60 e D10 sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa

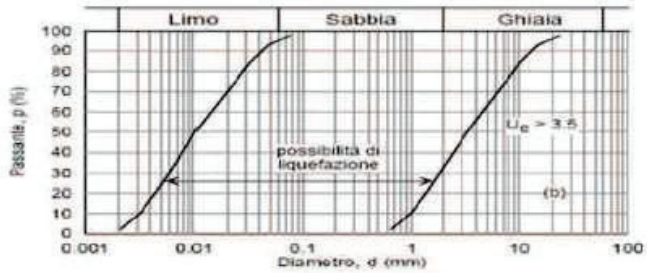
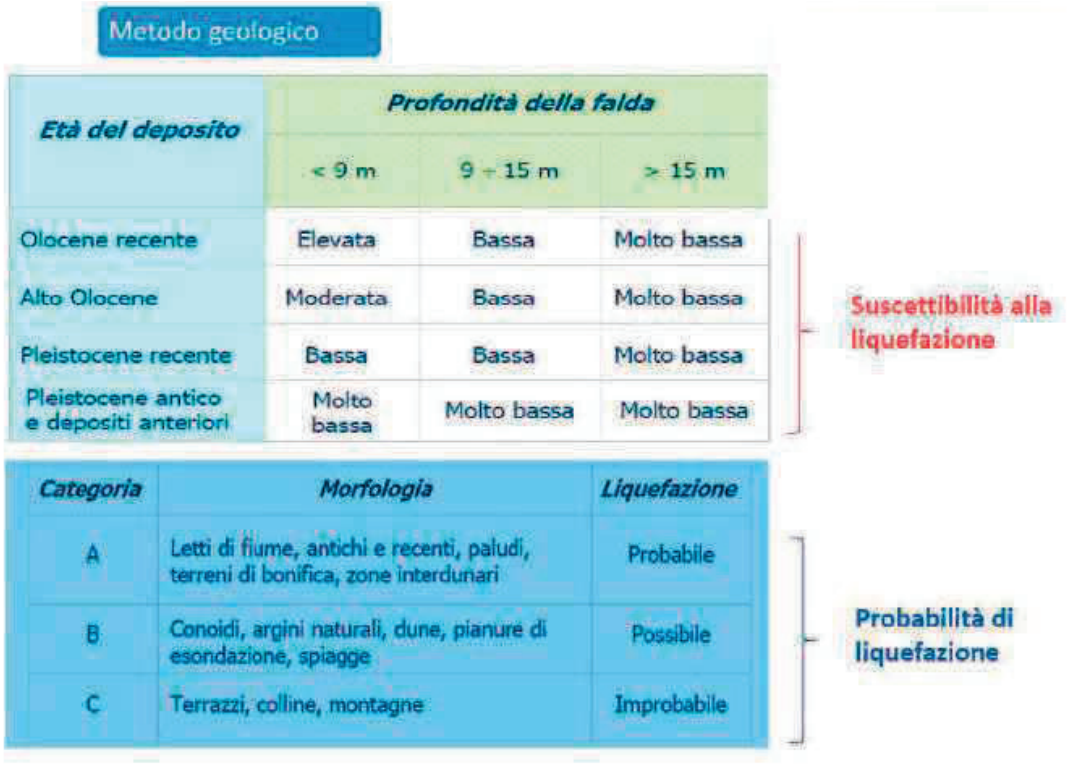


Figura 7.11.1 – *Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione*

All'interno del paragrafo 7.11.3.4.3 delle NTC 2018 – Metodi di analisi di stima del rischio liquefazione (Metodo di tipo storico –empirico), sono riportate delle casistiche che in base all'età del deposito, alla profondità della falda e alla tipologia di morfologia geologica del sito permettono di determinare in modo approssimativo la suscettibilità e la possibilità alla liquefazione.



Metodo geologico

Età del deposito	Profondità della falda		
	< 9 m	9 ÷ 15 m	> 15 m
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto bassa
Alto Olocene	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto bassa
Pleistocene antico e depositi anteriori	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa

Suscettibilità alla liquefazione

Categoria	Morfologia	Liquefazione
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunari	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Improbabile

Probabilità di liquefazione

L'adozione del metodo storico empirico indica una suscettibilità bassa alla liquefazione (criterio temporale) ed una improbabile eventualità del suo verificarsi (criterio morfologico).

Valutazione del principio dell'invarianza idraulica

Il progetto in esame è escluso ai sensi del titolo II punto 2.2 della D.G.R. n. 53 del 27/01/2014 dalla verifica di compatibilità idraulica.

Per quanto concerne il rispetto del principio dell'invarianza idraulica il calcolo dei volumi da laminare è escluso in quanto il fabbricato che verrà ricostruito ricalcherà l'impronta dell'attuale e quindi trattasi di aumento di superfice impermeabile inferiore a 100 mq.

Accenni sul modello geotecnico

Le informazioni contenute nel seguente paragrafo costituiscono una guida per la stesura della relazione geotecnica vera e propria che dovrà essere redatta a corredo del progetto strutturale.

Con la normativa del D.M.17/01/2018 l'analisi del sistema terreno struttura viene trattato con metodi semiprobabilistici e compare il concetto di coefficienti di sicurezza parziali.

I dati seguenti (valori nominali) potranno essere utilizzati per la determinazione dei parametri caratteristici nella relazione geotecnica. I principali parametri fisico-meccanici attribuibili ai terreni del sottosuolo vengono dedotti dalle prove considerate utilizzando dati disponibili ed ampiamente documentati dalla letteratura tecnica e scientifica.

I parametri fisico-meccanici sono di coesiva per il primo livello e di natura granulare per la porzione seguente della verticale d'indagine.

La successione dei livelli individuati può essere schematizzata come segue:

ORIZZONTE A: terreno vegetale.

ORIZZONTE B : Limo argilloso sabbioso

ORIZZONTE C: Limo sabbioso

ORIZZONTE D: sabbia ghiaosa

ORIZZONTE A

C' (t/mq)	0
γ t/mc	1,85
ϕ'(°)	-
Cu (t/mq)	0,5
Modulo edometrico (kg/cmq)	35

ORIZZONTE B

C' (t/mq)	0
γ t/mc	1,85
ϕ'(°)	24
Dr (%)	53
Modulo di Young (kg/cmq)	71

ORIZZONTE C

C' (t/mq)	0
γ t/mc	1,85
ϕ'(°)	26
Dr (%)	49
Modulo di Young (kg/cmq)	81

ORIZZONTE D

C' (t/mq)	0
γ t/mc	1,90
ϕ'(°)	28
Dr (%)	52
Modulo di Young (kg/cmq)	120

5. CONCLUSIONI

Il progetto in esame prevede un piano di recupero in variante al P.R.G., ai sensi della legge n. 457/1978 artt. 27-28, di un fabbricato residenziale vincolato sito in Strada Comunale Campo d'Aviazione n.25 nel comune di Fano.

L'area è collocata sulle alluvioni terrazzate del fondovalle del Fiume Maturo, zona ben conosciuta dal punto di vista stratigrafico e con una deposizione ad andamento orizzontale ben correlabile tra i vari punti ed omogenea nella granulometria. Dopo un sopralluogo nell'area in studio, si è ritenuto di poter fornire un adeguato quadro di sintesi del modello geologico realizzando una prova penetrometrica CPT in aderenza al fabbricato esistente e consultando le numerose prove realizzate a confine del lotto in esame rappresentate da:

- Prove penetrometriche DPSH (Dott. Geol. Laura Pelonghini)
- Sondaggi a rotazione con distruzione di nucleo (Dott. Geol. Laura Pelonghini)

L'area presenta una successione piuttosto omogenea nella porzione più superficiale: dopo uno spessore di terreno agrario superficiale si passa ad uno spessore di terreno argilloso sabbioso che raggiunge la quota di circa 2,2 m dal piano campagna; tra questo orizzonte e le ghiaie si trovano dei limi sabbiosi poco consistenti che presentano una bassa resistenza all'avanzamento penetrometico.
Il tetto delle ghiaie è prossimo ai 4,6, la litologia si presenta, inizialmente, ricca di matrice sabbiosa per poi passare a ghiaie variamente addensate e con granulometria eterogenea in profondità.
La posizione della falda freatica è collocata a -9,0 m dal piano campagna attuale.

Si consiglia, in considerazione di un andamento non proprio omogeneo per quanto riguarda le quote delle varie litologie presenti, di raggiungere con le fondazioni un terreno uniforme nella composizione granulometrica e nelle caratteristiche geomeccaniche.

La misurazione sismica di tipo MASW ha restituito una classificazione di tipo B del sottosuolo.

Per quanto concerne il rispetto del principio dell'invarianza idraulica il calcolo dei volumi da laminare è escluso ai sensi del titolo III punto 3.4 lettera a) (impermeabilizzazioni pari o inferiori a 100 mq) della D.G.R. n. 53 del 27/01/2014.

Per la valutazione della compatibilità geomorfologica dell'intervento con l'assetto territoriale si è valutato:

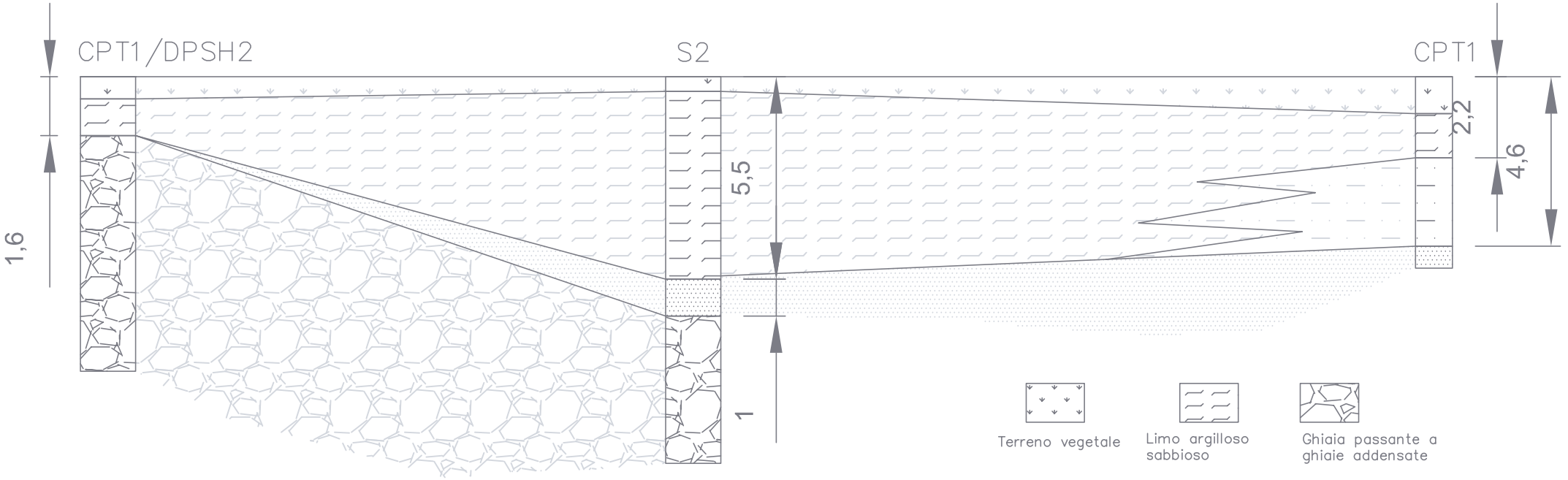
- Assenza di corsi d'acqua limitrofi al sito
- Esclusione da aree esondabili o soggette a rischio idrogeologico
- Esclusione da aree SIC/ZPS
- Mancanza di connessione tra l'intervento e l'assetto della falda freatica
- Rischio sismico assente, sulla base della cartografia di PRG del comune di Fano.

In relazione ai dati emersi nel corso dell'elaborazione dei risultati ottenuti dal rilievo diretto di campagna e dalle indagini esaminate non sono state individuate problematiche particolari geologiche ai fini della realizzazione del progetto in esame. L'intervento risulta inoltra compatibile dal punto di vista geomorfologico con l'assetto del sito.

Fano, 16/12/2025

Geol. Laura Pelonghini

SEZIONE STRATIGRAFICA



Terreno vegetale

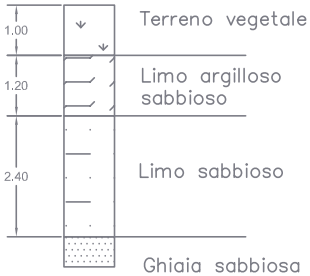
Limo argilloso sabbioso

Ghiaia passante a ghiaie addensate

Limo sabbioso

Ghiaia sabbiosa

CPT1



Terreno vegetale
Cu = 0,5 Kg/cmq
Ed = 35 Kg/cmq
γ = 1,85 t/mc

Limo Arg sabbioso
Dr = 53%
Mod Young = 71 Kg/cmq
ϕ = 24°
γ = 1,85 t/mc

Limo sabbioso
Dr = 49%
Mod Young = 81 Kg/cmq
ϕ = 26°
γ = 1,85 t/mc

Ghiaia sabbiosa
Dr = 52%
Mod Young = 120 Kg/cmq
ϕ = 28°
γ = 1,90 t/mc

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Ing. Luca Pianosi Cantiere: Via Mattei Località: Fano	

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	**ASTM D3441-86**
Diametro Punta conica meccanica	**35.7**
Angolo di apertura punta	**60**
Area punta	**10**
Superficie manicotto	**150**
Passo letture (cm)	**20**
Costante di trasformazione Ct	**10**

Committente: Ing. Luca Pianosi
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
Prova eseguita in data: 30/06/2025
Profondità prova: 5.20 mt
Località: Fano

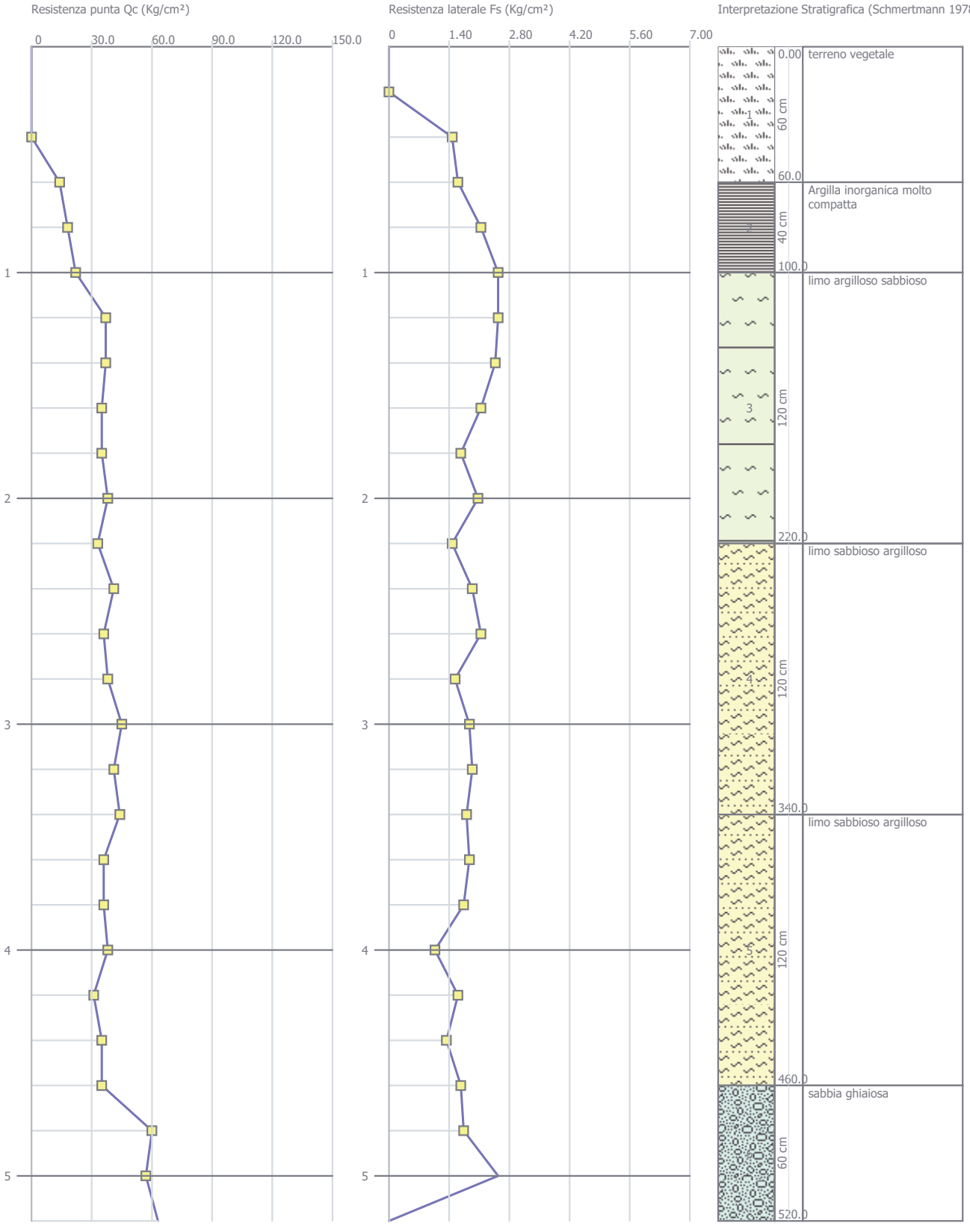
Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	0.00	0.0	0.0	0.0		
0.40	0.00	0.0	0.0	1.466667	0.0	
0.60	14.00	36.0	14.0	1.6	8.75	11.4
0.80	18.00	42.0	18.0	2.133333	8.438	11.9
1.00	22.00	54.0	22.0	2.533333	8.684	11.5
1.20	37.00	75.0	37.0	2.533333	14.605	6.8
1.40	37.00	75.0	37.0	2.466667	15.0	6.7
1.60	35.00	72.0	35.0	2.133333	16.406	6.1
1.80	35.00	67.0	35.0	1.666667	21.0	4.8
2.00	38.00	63.0	38.0	2.066667	18.387	5.4
2.20	33.00	64.0	33.0	1.466667	22.5	4.4
2.40	41.00	63.0	41.0	1.933333	21.207	4.7
2.60	36.00	65.0	36.0	2.133333	16.875	5.9
2.80	38.00	70.0	38.0	1.533333	24.783	4.0
3.00	45.00	68.0	45.0	1.866667	24.107	4.1
3.20	41.00	69.0	41.0	1.933333	21.207	4.7
3.40	44.00	73.0	44.0	1.8	24.444	4.1
3.60	36.00	63.0	36.0	1.866667	19.286	5.2
3.80	36.00	64.0	36.0	1.733333	20.769	4.8
4.00	38.00	64.0	38.0	1.066667	35.625	2.8
4.20	31.00	47.0	31.0	1.6	19.375	5.2
4.40	35.00	59.0	35.0	1.333333	26.25	3.8
4.60	35.00	55.0	35.0	1.666667	21.0	4.8
4.80	60.00	85.0	60.0	1.733333	34.615	2.9
5.00	57.00	83.0	57.0	2.533333	22.5	4.4
5.20	63.00	101.0	63.0	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0.60	4.666667	1.022222	1.9	Coesivo	terreno vegetale
1.00	20.0	2.333333	2.1	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
2.20	35.83333	2.055556	2.1	Incoerente-Coesivo	limo argilloso sabbioso
3.40	40.83333	1.866667	2.1	Incoerente	limo sabbioso argilloso
4.60	35.16667	1.544444	2.1	Incoerente	limo sabbioso argilloso
5.20	60.0	1.422222	2.1	Incoerente	sabbia ghiaiosa

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Ing. Luca Pianosi
Cantiere: Via Mattei
Località: Fano

Data: 30/06/2025



Scala profondità 1:25 - Qc: 1 cm=28.14 Kg/cm² - Fs: 1 cm=1.31 Kg/cm² -

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIV I

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato 1	0.60	4.666667	1.022222	0.1	0.1	Baligh ed altri 1980 Nk=23	0.2
Strato 2	1.00	20.0	2.333333	0.2	0.2		0.86
Strato 3	2.20	35.83333	2.055556	0.3	0.3		1.54

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato 1	0.60	4.666667	1.022222	0.1	0.1	Metodo generale del modulo Edometrico	25.93
Strato 2	1.00	20.0	2.333333	0.2	0.2		41.98
Strato 3	2.20	35.83333	2.055556	0.3	0.3		71.67

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	0.60	4.666667	1.022222	0.1	0.1	Imai & Tomauchi	71.8
Strato 2	1.00	20.0	2.333333	0.2	0.2		174.6
Strato 3	2.20	35.83333	2.055556	0.3	0.3		249.4

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	0.60	4.666667	1.022222	0.1	0.1	Meyerhof	1.7
Strato 2	1.00	20.0	2.333333	0.2	0.2		1.9
Strato 3	2.20	35.83333	2.055556	0.3	0.3		2.0

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 3	2.20	35.83333	2.055556	0.3	0.3	Lancellotta 1983	53.46
Strato 4	3.40	40.83333	1.866667	0.6	0.6		48.95
Strato 5	4.60	35.16667	1.544444	0.8	0.8		39.47
Strato 6	5.20	60.0	1.422222	1.0	1.0		51.84

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 3	2.20	35.83333	2.055556	0.3	0.3	Herminier	24.13
Strato 4	3.40	40.83333	1.866667	0.6	0.6		25.98
Strato 5	4.60	35.16667	1.544444	0.8	0.8		24.07
Strato 6	5.20	60.0	1.422222	1.0	1.0		25.23

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato 3	2.20	35.83333	2.055556	0.3	0.3	Robertson & Campanella 1983	71.67
Strato 4	3.40	40.83333	1.866667	0.6	0.6		81.67
Strato 5	4.60	35.16667	1.544444	0.8	0.8		70.33
Strato 6	5.20	60.0	1.422222	1.0	1.0		120.0

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 3	2.20	35.83333	2.055556	0.3	0.3	Peso unità di volume	1.85
Strato 4	3.40	40.83333	1.866667	0.6	0.6		1.85
Strato 5	4.60	35.16667	1.544444	0.8	0.8		1.85
Strato 6	5.20	60.0	1.422222	1.0	1.0		1.90

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT-1

Committente: GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI
Cantiere: VIA MATTEI/VIA SAN MICHELE
Località: FANO (PU)

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica (mm)	35,7
Angolo di apertura punta (°)	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA PENETROEMTRICA STATICA CPT-1

Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)
Prova eseguita in data 23/02/2017
Profondità prova 1,80 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,40	0,0	0,0	0,0	1,07	0,0	
0,60	15,0	31,0	15,0	0,4	37,5	2,67
0,80	24,0	30,0	24,0	0,87	27,59	3,63
1,00	14,0	27,0	14,0	1,13	12,39	8,07
1,20	26,0	43,0	26,0	3,0	8,67	11,54
1,40	111,0	156,0	111,0	1,2	92,5	1,08
1,60	172,0	190,0	172,0	2,2	78,18	1,28
1,80	188,0	221,0	188,0	0,0		0,0

Profondità (m)	Valutazione litologica secondo: Schmertmann 1978
0,20	Stima non eseguibile
0,40	Stima non eseguibile
0,60	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
0,80	Argille sabbiose e limose
1,00	Argille organiche e terreni misti
1,20	Argilla inorganica molto compatta
1,40	Sabbie addensate o cementate
1,60	Sabbie addensate o cementate
1,80	Sabbie addensate o cementate

Sassoferrato, 13 marzo 2017

SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.IVA: 02495830420
N. Rea: AN-192227

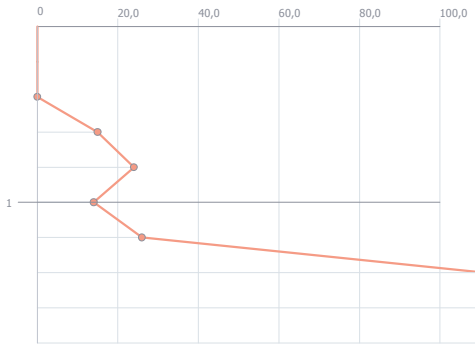
Probe CPT - Cone Penetration CPT-1
Strumento utilizzato... PAGANI TG 63 (200 kN)
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI
Cantiere : VIA MATTEI/VIA SAN MICHELE
Località : FANO (PU)

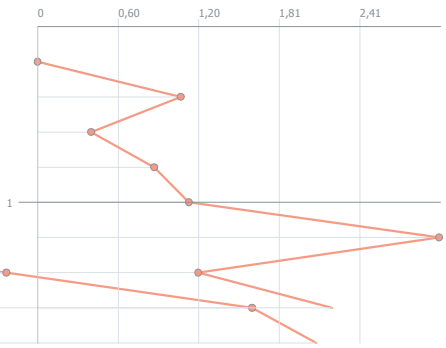
Data :23/02/2017

Scala 1:43

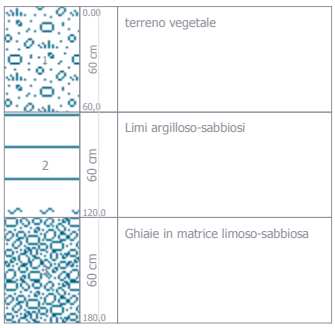
Resistenza punta qc (Kg/cm²)



Resistenza laterale fs (Kg/cm²)



Interpretazione Stratigrafica (Schmertmann 1978)



Profondità

PROVA DPSH-2

Strumento utilizzato DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
Prova eseguita in data 23/02/2017
Profondità prova 8,00 mt
Quota 4,00 mt
Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	1	0,847	8,23	9,72	0,41	0,49
0,80	1	0,843	8,20	9,72	0,41	0,49
1,00	1	0,840	7,55	8,99	0,38	0,45
1,20	1	0,836	7,52	8,99	0,38	0,45
1,40	1	0,833	7,49	8,99	0,37	0,45
1,60	1	0,830	7,46	8,99	0,37	0,45
1,80	1	0,826	7,43	8,99	0,37	0,45
2,00	13	0,773	84,06	108,72	4,20	5,44
2,20	16	0,770	103,05	133,81	5,15	6,69
2,40	14	0,767	89,82	117,09	4,49	5,85
2,60	17	0,764	108,66	142,18	5,43	7,11
2,80	18	0,761	114,62	150,54	5,73	7,53
3,00	22	0,709	121,90	172,01	6,09	8,60
3,20	24	0,706	132,48	187,64	6,62	9,38
3,40	24	0,703	131,99	187,64	6,60	9,38
3,60	26	0,701	142,47	203,28	7,12	10,16
3,80	23	0,698	125,59	179,83	6,28	8,99
4,00	19	0,746	104,04	139,47	5,20	6,97
4,20	23	0,694	117,11	168,83	5,86	8,44
4,40	25	0,691	126,88	183,51	6,34	9,18
4,60	19	0,739	103,10	139,47	5,15	6,97
4,80	20	0,737	108,21	146,81	5,41	7,34
5,00	23	0,685	108,98	159,10	5,45	7,95
5,20	25	0,683	118,11	172,93	5,91	8,65
5,40	29	0,681	136,62	200,60	6,83	10,03
5,60	31	0,629	134,91	214,43	6,75	10,72
5,80	32	0,627	138,85	221,35	6,94	11,07
6,00	38	0,625	155,45	248,53	7,77	12,43
6,20	34	0,624	138,69	222,37	6,93	11,12
6,40	41	0,572	153,39	268,15	7,67	13,41
6,60	24	0,670	105,22	156,96	5,26	7,85
6,80	43	0,569	159,95	281,23	8,00	14,06
7,00	29	0,667	120,00	179,86	6,00	8,99
7,20	26	0,666	107,34	161,26	5,37	8,06
7,40	30	0,664	123,58	186,07	6,18	9,30
7,60	24	0,663	98,65	148,85	4,93	7,44
7,80	22	0,661	90,23	136,45	4,51	6,82
8,00	31	0,610	111,50	182,82	5,58	9,14

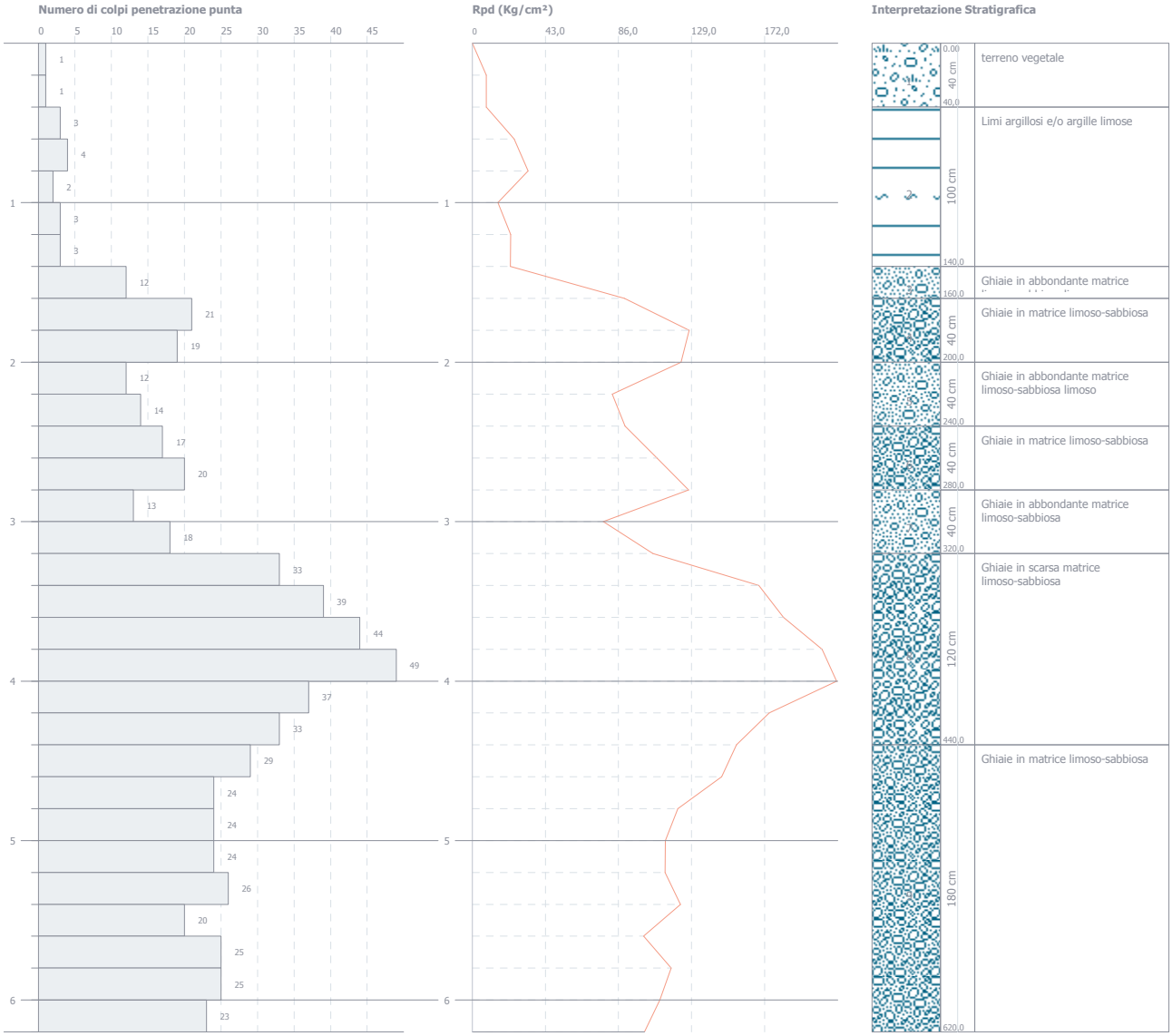
SERVIZI SISMICI SNC
VIA PIANO DI FRASSINETA 109
60041 SASSOFERRATO (AN)

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH-1
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente : GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI
Cantiere : VIA MATTEI/VIA SAN MICHELE
Località : FANO (PU)

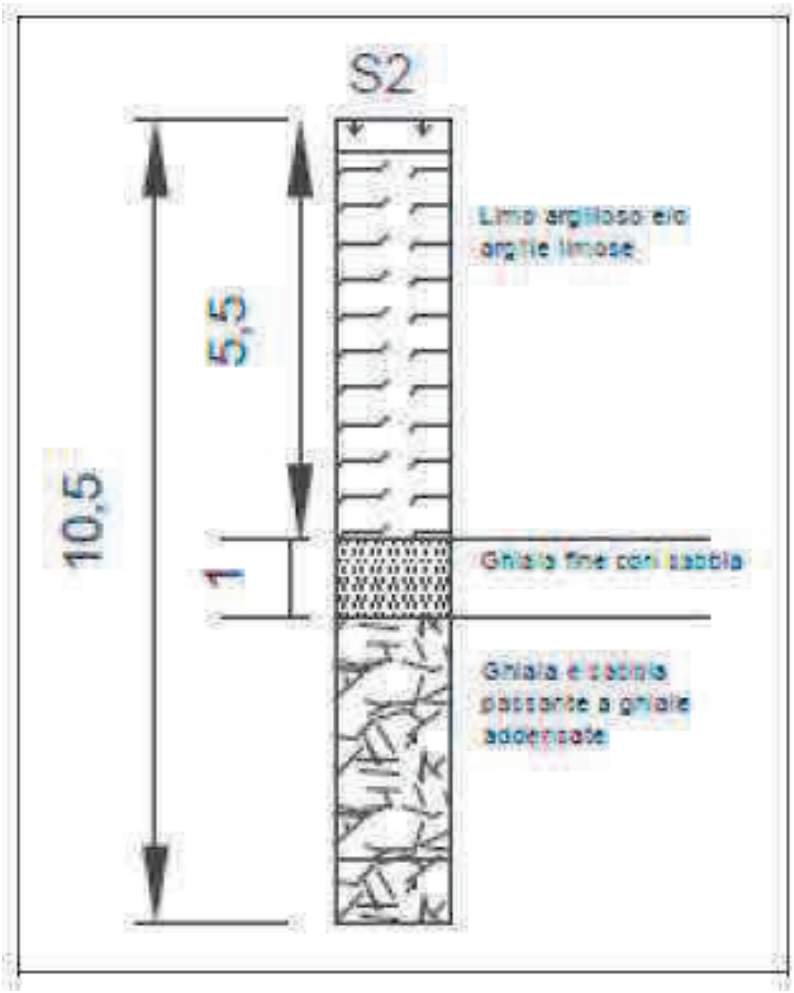
Data :23/02/2017

Scala 1:43



SONDAGGIO S2





SERVIZI SISMICI Snc
INDAGINI GEOFISICHE & GEOGNOSTICHE
DR. MANTONI FABRIZIO & DR. DONNINI ANTONELLO
Via Piano di Frassineta, 109 - 60041 Sassoferrato (AN)
Tel/Fax:0732/96839 - Cell.: 338/9056200 & 328/2652947
P.Iva: 02495830420 - C.F.:02495830420
MAIL/MSN:SERVIZISISMICI@HOTMAIL.IT

REGIONE MARCHE
PROVINCIA DI PESARO-URBINO
COMUNE DI FANO

COMMITTENTE: GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI

Indagini geofisiche eseguite a corredo del progetto di costruzione di un nuovo impianto natatorio in via E. Mattei/via San Michele nel Comune di Fano (PU)



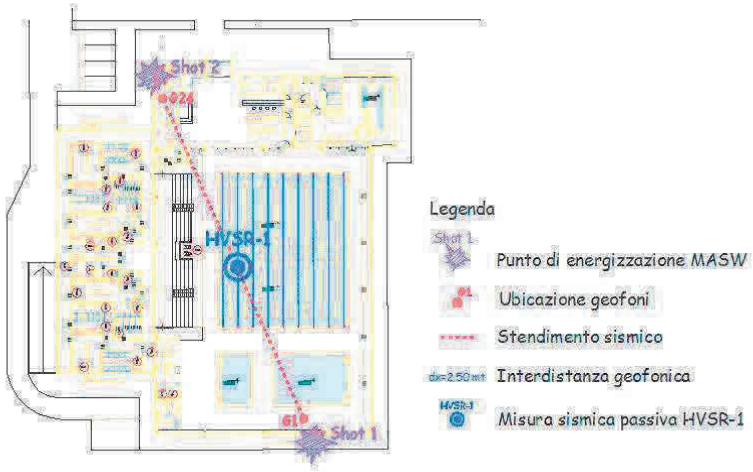
Sassoferrato, 20 marzo 2017

SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.IVA: 02495830420
N. Rea: AN-192227

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Geol. Maria Vittoria Castellani è stata eseguita un'indagine geofisica nell'area interessata dal progetto del nuovo impianto natatorio da realizzarsi in via E. Mattei/via San Michele nel Comune di Fano (PU). L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 stendimento sismico con metodologia MASW per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore Vs_{30} necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.M. 14/01/2008". Nell'area oggetto di indagine è stata inoltre eseguita n°1 registrazione dei microtremori con un simografo triassiale per la determinazione della frequenza di risonanza dei terreni costituenti la locale successione stratigrafica.

Ubicazione stendimento sismico



2 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

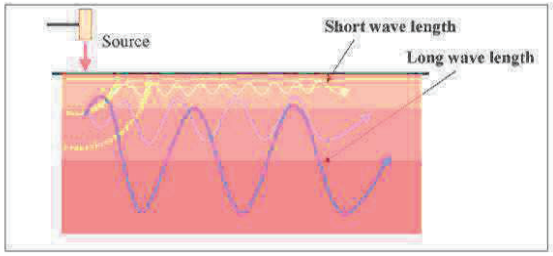
2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Le onde di Rayleigh sono generate dall'iterazione tra le onde di pressione e le onde di taglio verticali ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Alla superficie libera hanno un moto ellittico retrogrado (antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente sino ad estinguersi ad una profondità pari circa ad una lunghezza d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrispondende la stessa velocità di fase. In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali presentano un comportamento dispersivo,

ossia a frequenza diverse corrispondono diverse velocità di fase. Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati differenti 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. Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. 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 per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal domino x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_r(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori V_r-f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. 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 iterattivo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, il problema diretto 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). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura.



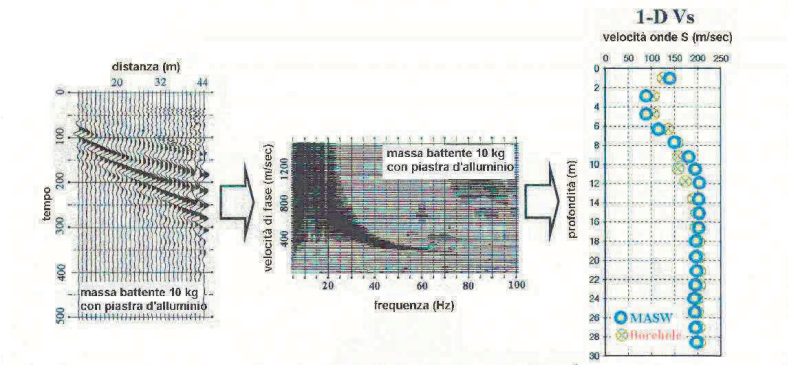
L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da

forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (Vs) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

2.2 Descrizione generale della procedura MASW

La procedura MASW comprende tre passi successivi:

1 acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
2 estrazione della curva di dispersione caratteristica del sito (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
3 inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs (profilo 1-D) che descrive la variazione di Vs con la profondità.



2.3 Strumentazione e metodologia di indagine

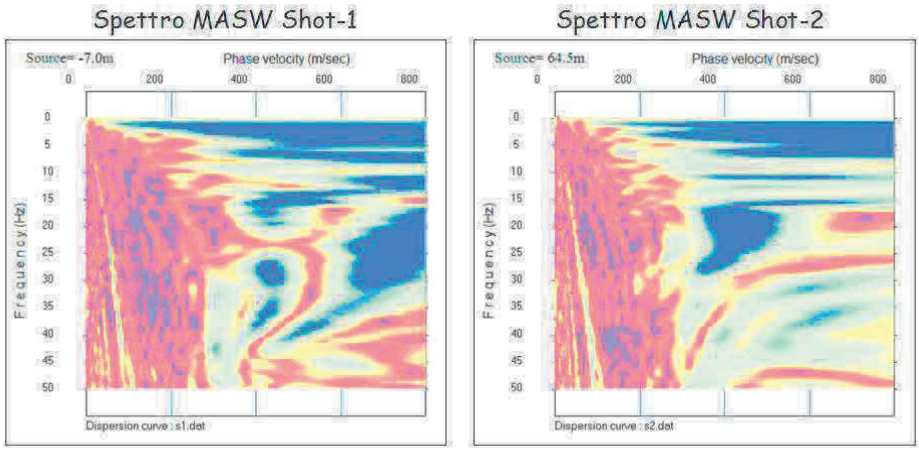
La prospezione sismica con metodologia MASW è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale a trasmissione digitale della Sara Electronic Instruments dotato di memoria indipendente per ogni canale in grado di memorizzazione oltre 30.000 campioni. Gli intervalli di campionamento sono programmabili da 5 a 0.05 millisecondi, corrispondenti a frequenze di campionamento da 200 a 20000 Hz. La durata del campionamento è selezionabile fra 0.1 e 60 secondi. Elevata dinamica (96dB al convertitore, 155dB totale). Impedenza d'ingresso: >100kΩ.. La trasmissione digitale dei dati consente un'elevata silenziosità e immunità ai rumori. Per la presente indagine si è adottata una frequenza di campionamento pari a 2000 Hz e una durata del campionamento di 1 secondo. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori sono costituiti da una catena di 24 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati con interdistanza geofonica di 2,50 mt.

I fondamenti teorici della metodologia MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali; pertanto una limitazione alla sua

applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 15°-20° sia della topografia che delle diverse discontinuità elastiche. Per valutare la validità di monodimensionalità (strati piano paralleli) e la stabilità della curva di dispersione caratteristica del sito, durante la fase di acquisizione si sono eseguiti due shots coniugati posti alle estremità opposte dello stendimento. Per ciascun punto di scoppio si sono eseguite più energizzazioni con le tracce che sono state poi sommate al fine di evidenziare il segnale sismico (stack) rispetto ai rumori ambientali presenti.

La base sismica con metodologia MASW è stata eseguita con 2 punti di scoppio coniugati secondo lo schema di seguito riportato.





Le curve di dispersione così ottenute, riportate nella precedente figura, risultano fra loro similari confermando quindi l'applicabilità delle metodologie basate sulla registrazione delle onde sismiche superficiali; il processo di inversione è stato eseguito sulla curva di dispersione ottenuta dallo Shot 2, posto ad una distanza di 7,00 mt dal geofono G22, meglio definita nell'intervallo di frequenze utilizzato e caratterizzata dal miglior rapporto segnale/rumore e dal minore errore sul fitting con la curva di dispersione sperimentale apparente.

La generazione della perturbazione sismica è avvenuta mediante mazza battente del peso di 8 Kg su piastra metallica. L'istante di tempo zero (segnale di inizio registrazione) viene inviato allo strumento da un sensore di contatto posto all'estremità della stessa mazza di energizzazione. L'area interessata dall'indagine sismica in oggetto risultava completa pianeggiante.

3 RISULTATI E CONCLUSIONI

3.1 Classificazione dei terreni di fondazione (Vs30)

L'esecuzione dell'indagine sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di classificare i terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.D.L. 14/01/2008".

La metodologia MASW presenta rispetto ad altre tecniche sismiche il vantaggio di non essere limitata dalla presenza di inversioni di velocità, consentendo pertanto l'individuazione di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici. Il metodo MASW consente quindi di individuare il profilo di velocità Vs anche in presenza di contrasti di rigidezza tra gli strati del suolo. Tale prova fornisce un profilo di velocità Vs monodimensionale. La velocità di propagazione delle onde di taglio dipende dalle proprietà elastiche dei mezzi attraversati e il parametro geofisico Vs_{30} è quello che meglio rappresenta la condizione geotecnica media dei materiali geologici del sottosuolo dei primi 30 metri. Infatti la velocità di propagazione delle onde trasversali dipende dalle proprietà elastiche del mezzo attraversato, come si evince dalla seguente relazione:

$$Vs = \sqrt{\mu / \gamma}$$

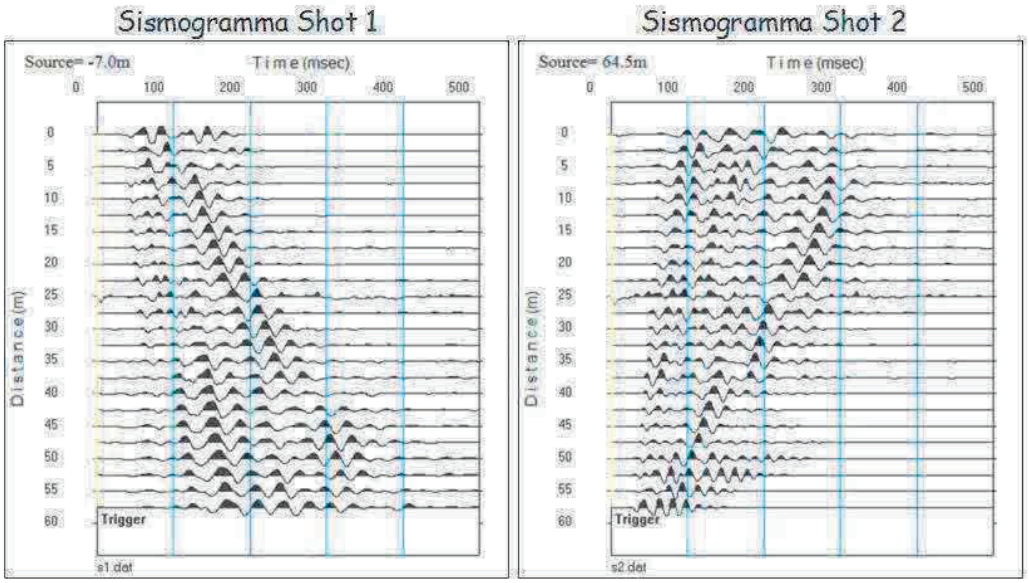
dove γ rappresenta la densità del corpo e μ il modulo di rigidità o modulo di taglio che indica la resistenza di un corpo alle variazioni di forma. Le proprietà elastiche del mezzo sono a loro volta influenzate da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il grado alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, la profondità, ecc.

Con Vs30 si definisce la velocità media di propagazione nei primi 30 metri di profondità delle onde di taglio, il cui calcolo viene effettuato utilizzando la seguente espressione:

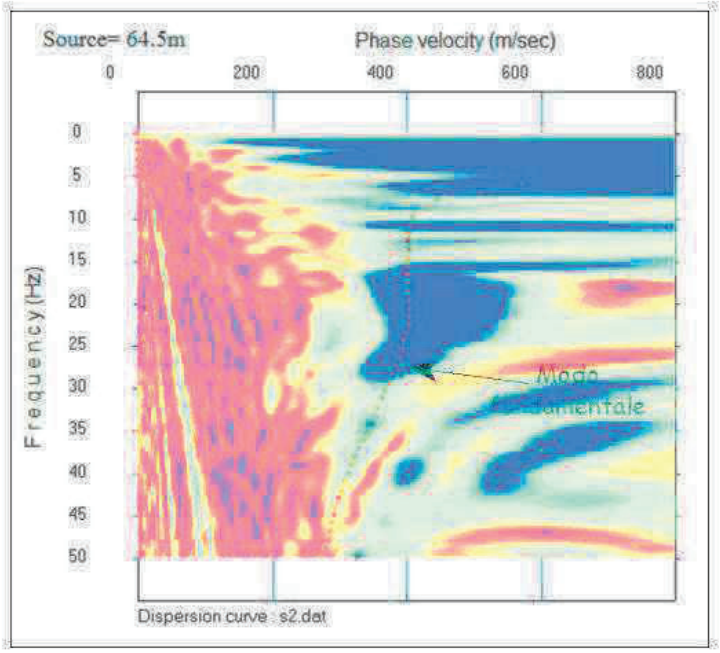
$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

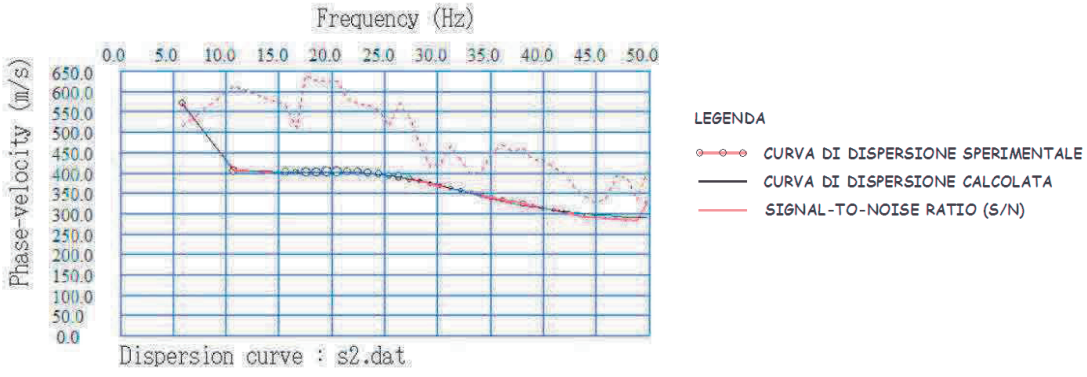
Le diverse fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno portato ai seguenti elaborati:



Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 2



Curva di dispersione sperimentale e calcolata - Shot 2



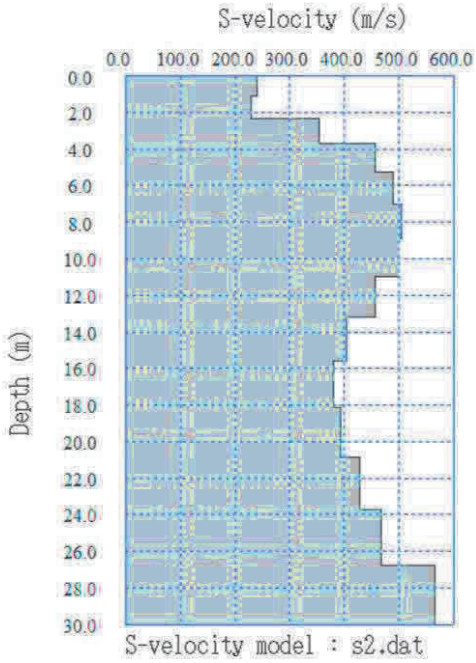
Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore Vs_{30} necessario per la classificazione dei terreni di fondazione dell'area di interesse nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs_{30} (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	240	0,0045	
1,07 ÷ 2,31	1,24	231	0,0054	
2,31 ÷ 3,71	1,40	353	0,0040	
3,71 ÷ 5,27	1,57	456	0,0034	
5,27 ÷ 7,01	1,73	489	0,0035	
7,01 ÷ 8,90	1,90	505	0,0038	
8,90 ÷ 10,96	2,06	501	0,0041	Vs_{30} = 416 m/s
10,96 ÷ 13,19	2,23	456	0,0049	
13,19 ÷ 15,58	2,39	404	0,0059	
15,58 ÷ 18,13	2,55	380	0,0067	
18,13 ÷ 20,85	2,72	393	0,0069	
20,85 ÷ 23,74	2,88	428	0,0067	
23,74 ÷ 26,79	3,05	467	0,0065	
26,79 ÷ 30,00	3,21	565	0,0057	
		ΣHi/Vi=	0,0720	

Sulla base della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità, i terreni di sedime del sito oggetto di indagine risultano attribuibili alla categoria di sottosuolo B, come si evince dalla tabella 3.2.II delle N.T.C. 2008 di seguito riportata. Dall'osservazione del profilo verticale monodimensionale delle Vs di seguito riportato, è possibile osservare, nell'intervallo di profondità compreso tra 11÷18 mt circa dal p.c., un progressivo decremento della velocità di propagazione delle onde di taglio (501 m/s ⇒456 m/s ⇒404 m/s ⇒380 m/s), di entità tali comunque da non poter essere considerati delle inversioni di velocità significative, come si evince anche dalla normativa tecnica della Regione Lazio che esponde l'argomento in maniera alquanto esaustiva. Pertanto è possibile attribuire tali terreni alla suddetta categoria di sottosuolo.

B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Profilo verticale delle onde di taglio - Shot 2



4 INDAGINI SISMICHE PASSIVE HVSR

4.1 CENNI SULLA TEORIA DELLA TECNICA HVSR

La prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o prova HVNSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o prova "di Nakamura", è una tecnica di sismica passiva che si basa sull'analisi del campo delle vibrazioni ambientali (microtremore sismico ambientale è un campo d'onde costituito prevalentemente da onde di superficie) finalizzata alla determinazione delle caratteristiche del sottosuolo al di sotto del punto di osservazione. Dato che le vibrazioni ambientali sono costituite da onde che attraversano porzioni significative del sottosuolo, la struttura del segnale che si registra in superficie è potenzialmente in grado di fornire informazioni sul mezzo attraversato dalle onde.

Considerando che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, tale tecnica di sismica passiva trova una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, essa permette di individuare situazioni sismostratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, consentendo una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri. In particolare, la prova effettua una valutazione sperimentale

dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Il risultato di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. La frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi.

In assenza di contrasti di impedenza alla base della copertura, il rapporto H/V sarà all'incirca unitario. I criteri SESAME (2004) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2. Questo criterio ha carattere puramente empirico. Tuttavia va tenuto presente che massimi H/V di ampiezza inferiore a 2 indicano bassi contrasti di impedenza e, in questo caso, la frequenza corrispondente al massimo della curva H/V potrebbe fornire una indicazione meno precisa della frequenza di risonanza delle onde S.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata per una durata non inferiore ai 15-20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio,

una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile stimare indicativamente il parametro normativo Vs_{30}.

4.2 REGISTRAZIONI ED ELABORAZIONI DEI DATI ACQUISITI

Dati generali

Committente: Geol. Maria Vittoria Castellani
Cantiere: Via Mattei/Via San Michele
Località: Fano (PU)
Operatore: Servizi Sismici snc
Data: 23/02/2017

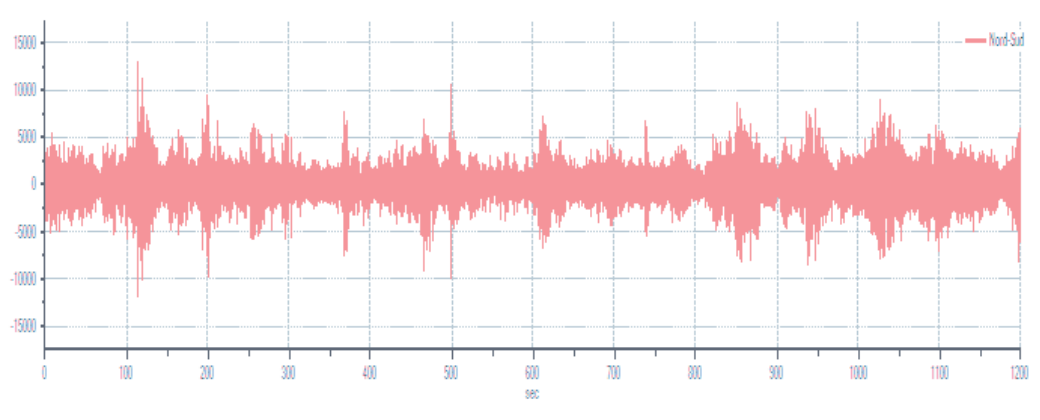


Tracce in input

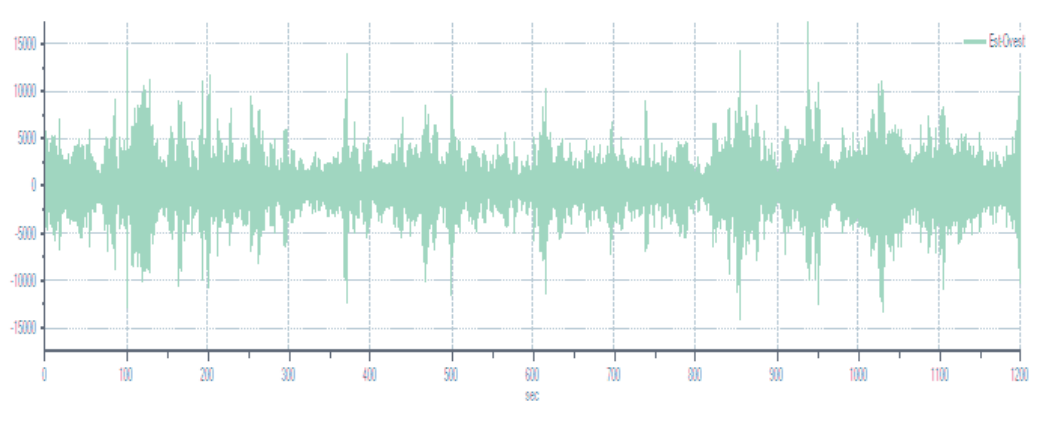
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3	
Durata registrazione:	1200	s
Frequenza di campionamento:	300,00	Hz
Numero campioni:	360000	
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.	

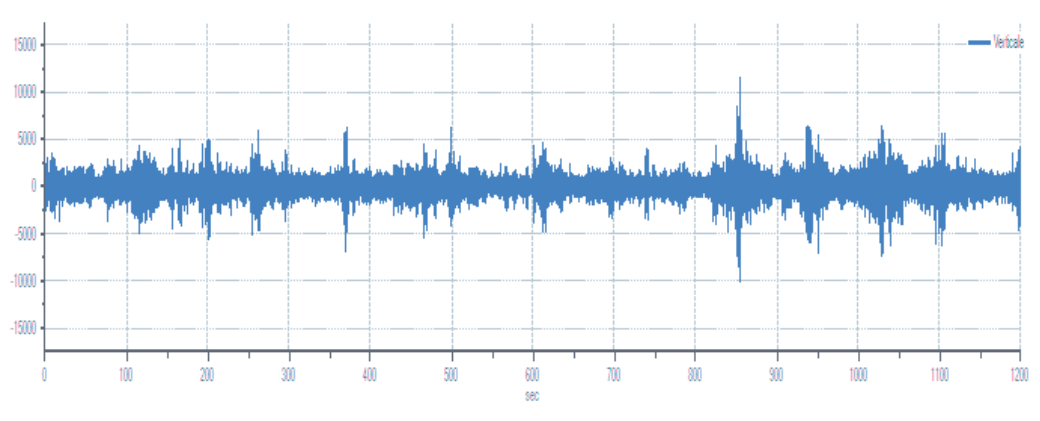
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

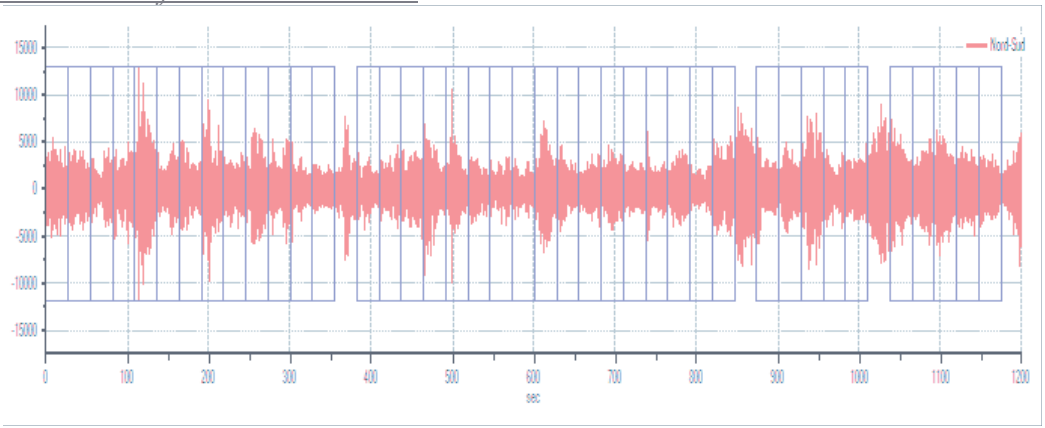
Numero totale finestre selezionate: 40
Numero finestre incluse nel calcolo: 40
Dimensione temporale finestre: 27,307 s
Tipo di lisciamento: Triagolare proporzionale
Percentuale di lisciamento: 10,00 %

Tabella finestre:

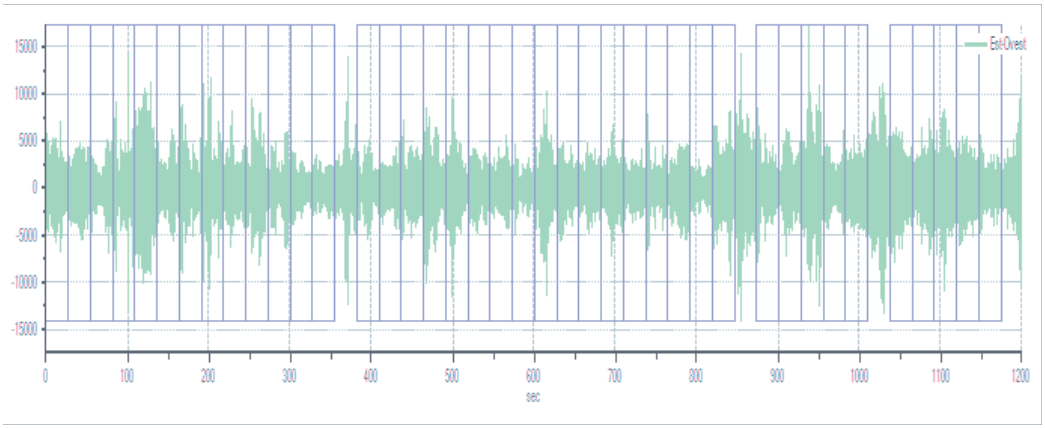
Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	27,307	Inclusa
2	27,307	54,613	Inclusa
3	54,613	81,92	Inclusa
4	81,92	109,227	Inclusa
5	109,227	136,533	Inclusa
6	136,533	163,84	Inclusa
7	163,84	191,147	Inclusa
8	191,147	218,453	Inclusa
9	218,453	245,76	Inclusa
10	245,76	273,067	Inclusa
11	273,067	300,373	Inclusa
12	300,373	327,68	Inclusa
13	327,68	354,987	Inclusa
14	382,293	409,6	Inclusa
15	409,6	436,907	Inclusa
16	436,907	464,213	Inclusa
17	464,213	491,52	Inclusa
18	491,52	518,827	Inclusa
19	518,827	546,133	Inclusa
20	546,133	573,44	Inclusa
21	573,44	600,747	Inclusa
22	600,747	628,053	Inclusa
23	628,053	655,36	Inclusa
24	655,36	682,667	Inclusa
25	682,667	709,973	Inclusa
26	709,973	737,28	Inclusa
27	737,28	764,587	Inclusa
28	764,587	791,893	Inclusa
29	791,893	819,2	Inclusa
30	819,2	846,507	Inclusa
31	873,813	901,12	Inclusa
32	901,12	928,427	Inclusa
33	928,427	955,733	Inclusa
34	955,733	983,04	Inclusa
35	983,04	1010,347	Inclusa

36	1037,653	1064,96	Inclusa
37	1064,96	1092,267	Inclusa
38	1092,267	1119,573	Inclusa
39	1119,573	1146,88	Inclusa
40	1146,88	1174,187	Inclusa

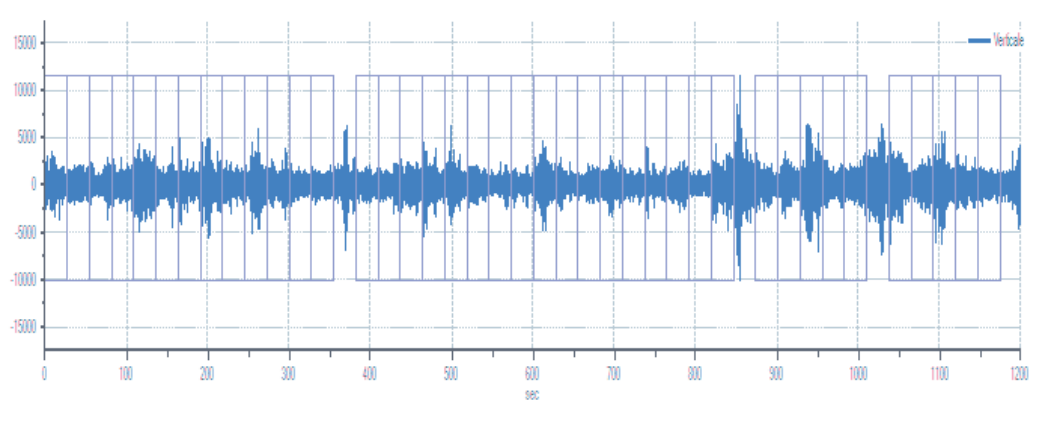
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud

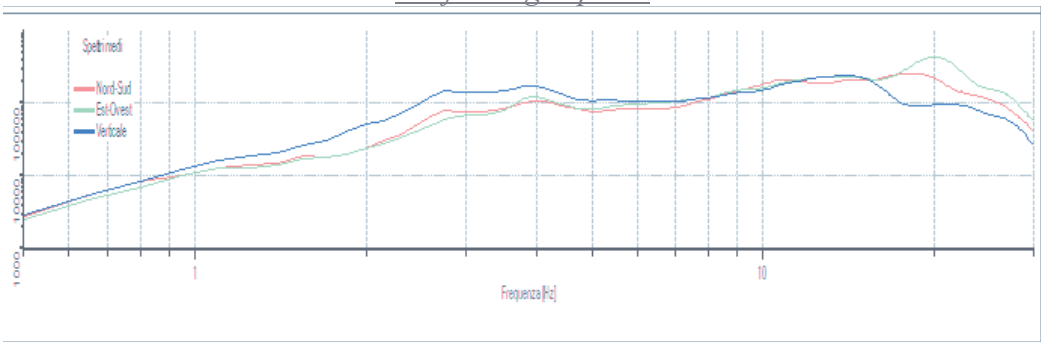


Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest

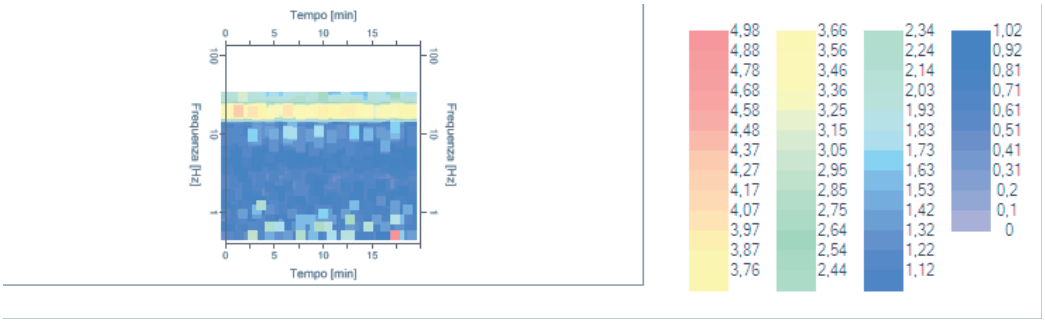


Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale

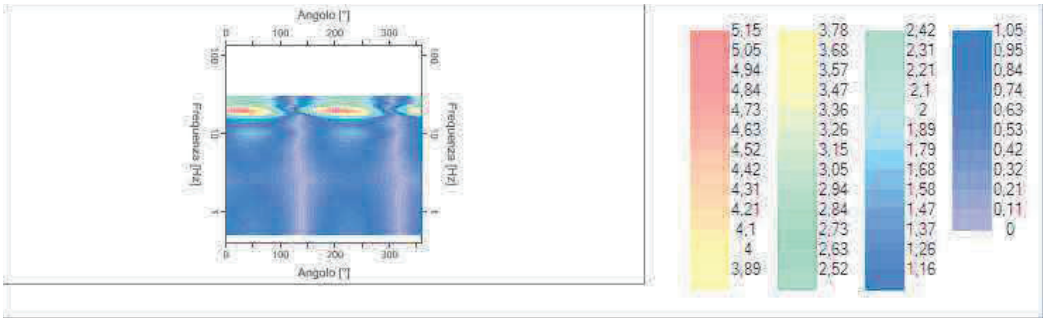
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

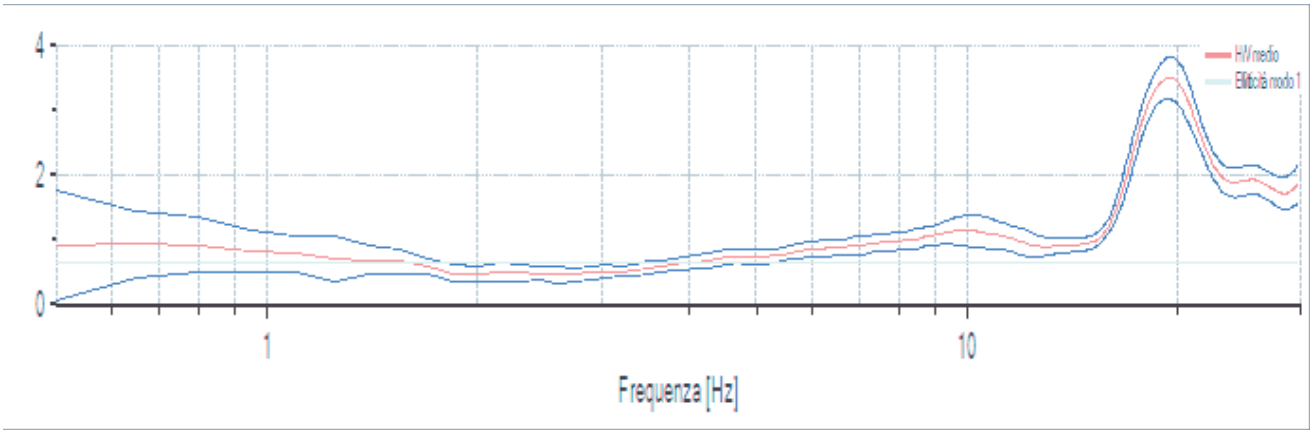
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	30,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento::	Triagolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 19,40 Hz ±0,09 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un discreto fenomeno amplificativo (contrasto di impedenza sismica), con picco H/V dell'ordine di 3,5 circa, rilevabile ad una frequenza di 19,40 Hz, al di fuori comunque del campo delle frequenze di interesse ingegneristico (0,5÷10 Hz). Tale contrasto, rilevabile nella porzione più superficiale della locale successione stratigrafica (f_0=8÷20 Hz $\Rightarrow$ h $\cong$ 5÷10 mt), è presumibilmente connesso al passaggio stratigrafico tra i terreni alluvionali fini e quelli sottostanti prettamente ghiaiosi. All'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico non sono invece rilevabili fenomeni amplificativi significativi.

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5Hz$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5Hz$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Il progetto SESAME ha definito una serie di criteri di tipo statistico sulla stabilità della curva e sulle modalità di campionamento. Tali criteri non permettono di valutare la qualità "fisica" della misura, che deve essere invece valutata sulla base della sua ripetibilità, confrontando misure condotte in posizioni vicine o in condizioni ambientali differenti. Per una curva H/V attendibile i primi 3 criteri del progetto SESAME devono essere verificati (robustezza statistica).

Sassoferrato, 20 marzo 2017

SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.IVA: 02495830420
N. Rea: AN-192227