

[illegible]

COMPARTO RESIDENZIALE DI COMPLETAMENTO VIA U. BASSI

PROPRIETARI : CECCHINI CLARA – CECCHINI ELSO – CECCHINI GASTONE – TIBERI MARISA

GEOLOGO : DOTT.SSA LAURA PELONGHINI

oggetto : RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

1. PREMESSA

Su incarico dei sig.ri CECCHINI CLARA CECCHINI ELSO CECCHINI GASTONE e TIBERI MARIA, in conformità alle normative tecniche dettate dal D.M. 17/01/2018, è stata redatta una relazione geologica e sismica relativa al progetto planivolumetrico del comparto residenziale di completamento ST3_P32 ubicato in Fano in via Ugo Bassi.

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 "Aggiornamento per le Norme tecniche per le costruzioni"
- Circolare n. 7 del 21/01/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento per Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018"
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici-Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione del territorio nazionale;
- Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale
- Legge Regionale 23 novembre 2012, n. 22
- DGR 53/2014

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, vista la conoscenza stratigrafica dell'area in studio, il quadro generale quale scopo della relazione presente, si è ritenuto di poter fornire un adeguato quadro di sintesi del modello geologico utilizzando le indagini svolte nel lotto confinante di tipo CPT, integrate da una misurazione MASW per determinare la classificazione sismica del sottosuolo.

I risultati desunti dalle prove forniranno indicazioni per la ricostruzione di un modello geologico stratigrafico che potrà essere utile per i successivi livelli di progettazione.

L'ubicazione delle indagini utilizzate è rappresentata in una planimetria allegata alla presente relazione.

Il progetto prevede l'espansione residenziale ripartita su n. 3 sub-comparti con la realizzazione di villette indipendenti prive di locale interrato area verde e parcheggio pubblico.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO

Topografia

L'area in oggetto risulta ubicata nel centro abitato di Fano ad una quota topografica di 14 mt. circa s.l.m.m., come rappresentato nella allegata corografia ortofotogrammetrica, a scala 1 :10.000, REGIONE MARCHE, foglio 269 (FANO) sez. n° 269130 - "FANO", nonché nello stralcio aerofotogrammetrico del comune di Fano al foglio 22.

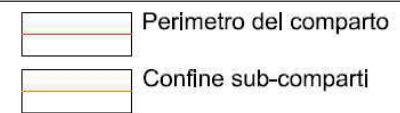


Carta Tecnica Regionale – sez. 269130 "Fano"

Comparto ST3_P32

tav. 2

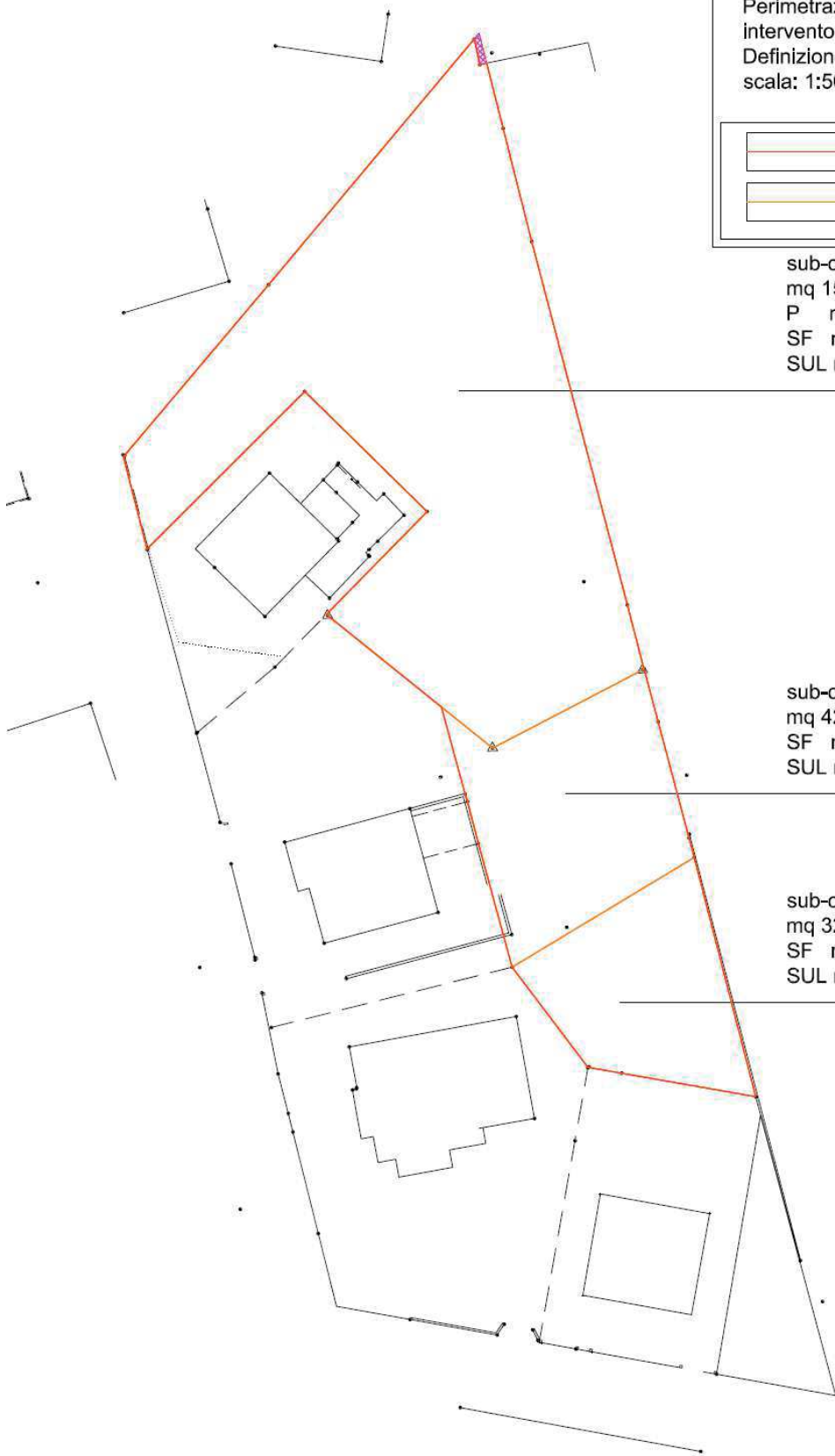
Perimetrazione dell'area di
intervento
Definizione dei sub-comparti
scala: 1:500



sub-comp. A
mq 1597
P mq 783
SF mq 814
SUL mq 532

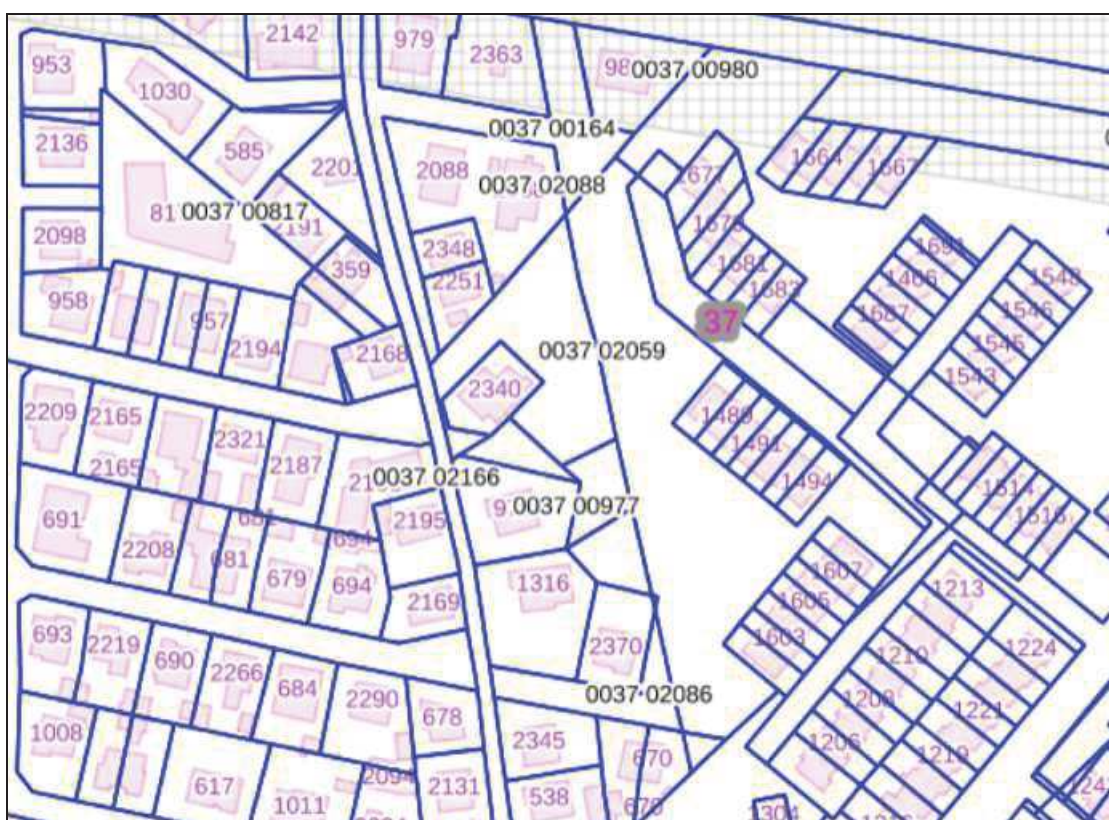
sub-comp. B
mq 426
SF mq 426
SUL mq 142

sub-comp. C
mq 326
SF mq 326
SUL mq 109



SCHEDA	DENOMINAZIONE COMPARTO							
	Sup. comparto mq	SUL comparto mq	UT SUL/Sup. comparto	Zona	Sup. zona omogenea mq	SUL zona omogenea mq	% PEEP	Sup. PEEP mq
	Note e prescrizioni							
ST3_P32	COMPARTO RESIDENZIALE DI COMPLETAMENTO VIA U. BASSI							
	2.349	783	0,33	B2.1	1.566	783		
				P2_pr	783			
	Il Comparto di cui alla presente scheda individua una zona residenziale di completamento in via Ugo Bassi. Le previsioni avranno attuazione mediante intervento diretto, subordinato ad un progetto planivolumetrico esteso all'intera area del Comparto unitario così come perimetrato nelle tavole di Piano e conforme a tutte le prescrizioni delle singole zone omogenee che lo compongono. L'intervento potrà essere realizzato soltanto a seguito del suo convenzionamento.							

L'area è compresa in una zona residenziale già sviluppata. Il comparto ha una superficie complessiva di 2349 mq ed è contraddistinta al catasto terreni al foglio 37 mappali 2059 parte -2060-2061-2000parte e 977 parte.





Vista aerea dell'area

Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico, la zona in studio si presenta perfettamente pianeggiante, con completa assenza di fenomeni di instabilità.

Essa è collocata su un terrazzo fluviale di III ordine in sinistra idrografica del F. Metauro. In questa zona le alluvioni terrazzate normalmente ghiaiose, talora sabbiose e limose, si presentano con notevoli spessori trattandosi di depositi alluvionali della parte terminale dell'asta fluviale del Metauro, dove il corso d'acqua allarga la sua valle, perde velocità idrodinamica e diminuisce la sua capacità di trasporto solido provocando così una forte deposizione di sedimenti. Tali depositi alluvionali sono generalmente costituiti da litologie ghiaiose a granulometria eterogenea in matrice sabbioso-argillosa con intercalazioni argilloso-limose e sabbioso-limose, talvolta a carattere lenticolare.

In direzione ovest scorre il vallo artificiale del Canale Albani, il cui argine ha determinato la presenza di una scarpata di origine antropica ancora ben riconoscibile all'interno del tessuto urbano e indicata nella carta geologica geomorfologica allegata. Si tratta dell'unico elemento idrografico rilevante, le acque superficiali vengono tutte convogliate nella rete fognaria comunale; il corso d'acqua adiacente il sito, è un canale artificiale che, con alcune modifiche nel tracciato, risale al XV secolo.

Inquadramento geologico ed idrogeologico

Geologicamente l'area ricade sulle alluvioni terrazzate del Fiume Metauro, gerarchicamente classificate del III ordine, costituite da litologie limoso-argillose superficiali passanti in profondità a ghiaie talora sabbiose intercalate a livelli limoso-argillosi alterati.

Al di sotto dei depositi alluvionali è presente la Formazione Pliocenica costituita da una successione di argille, argille marnose ed argille marnose sabbioso-siltose con lievi intercalazioni pelitico arenacee.

Il Pliocene è rappresentato da peliti di colore grigio-azzurro di ambiente batiale a cui sono stratigraficamente sovrapposti depositi torbiditici pelitico-arenacei e arenaceo-pelitici, tutta la successione ha la potenza di alcune centinaia di metri di spessore ed indica la conclusione della fase di trasgressione marina e l'inizio della successiva fase regressiva caratterizzata dalla diminuzione della profondità del bacino sedimentario.

L'idrografia superficiale dell'area è rappresentata dal taglio antropico del Canale Albani, che scorre a O dell'area in esame ad una distanza di circa 150 mt.

Tale canale non funge da collettore per le acque superficiali in quanto esse sono completamente regimate dalla rete fognaria vista l'elevata urbanizzazione dell'area.

In un'ottica idrogeologica, le alluvioni dei terrazzi del III ordine, che, nella zona in oggetto hanno uno spessore medio di 24-28 mt. e contengono una falda ricca d'acqua, rivestono particolare interesse per ampiezza, continuità e spessore di sedimenti.

Questo acquifero rappresenta l'unico serbatoio idrico dell'area poiché, al di sotto dei depositi alluvionali, si rinvencono soltanto formazioni impermeabili sterili, di natura argillosa, di età plio-pleistocenica e di spessore variabile ma comunque superiore a qualche centinaio di metri. Ciò esclude in pratica l'esistenza di altre risorse idriche utilizzabili.

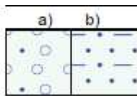
L'acquifero alluvionale è composto prevalentemente, come già indicato, di ghiaie ma con frequenti interdigitazioni di lenti di argille e limi che isolano parte dell'acquifero producendo alcune falde in sospensione.

Si precisa che alle profondità indagate non è stato riscontrato il livello statico della falda freatica che, dall'esame di stratigrafie di pozzi presenti in aree adiacenti è stato valutato alla profondità di circa 8.5 mt. dal p.c.

CARTA GEOLOGICA REGIONALE

Edizione CTR

Sezione 269130 FANO



MUSb

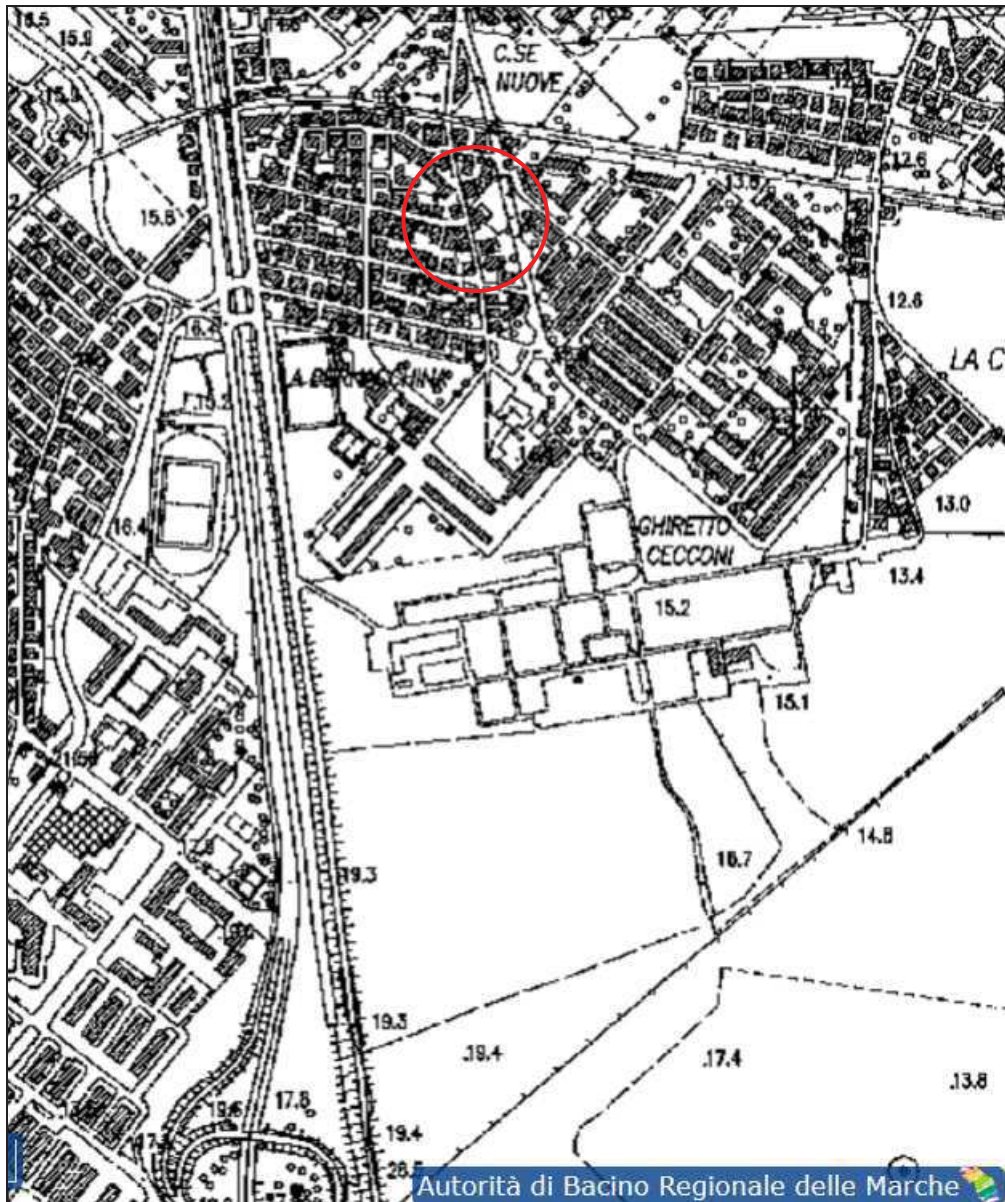
Depositi alluvionali attuali

- a) ghiaie e sabbie prevalenti con lenti sabbioso- limoso- argillose
- b) sabbie limi e argille con subordinate lenti ghiaiose



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 o aree sottoposte a rischio esondazione.



Stralcio PAI

3. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO

Descrizione e ubicazione delle indagini

La ricostruzione della situazione stratigrafica è stata resa possibile, oltre che da un rilievo geologico di superficie, dall'esame dei risultati ottenuti dalla realizzazione di n. 1 prova penetrometrica di tipo CPT ubicata come da tavola allegata a fine relazione.

Le indagini penetrometriche sopra indicate sono state eseguite con sonda penetrometrica Pagani TG63 200KN; le caratteristiche strumentali della sonda utilizzata sono di seguito elencate:

Prova CPT

- *Diametro punta conica = 35,7 mm*
- *Area di punta = 10 cmq*
- *Superficie manicotto = 150 cmq*
- *angolo punta conica = 60°*
- *passo letture = 20*

Prova DPSH

- *peso del maglio = 63.5 kg*
- *altezza di caduta = 75 cm.*
- *peso asta = 6.3 kg/ml.*
- *angolo punta conica = 90°*
- *sezione della punta = 20 cmq.*
- *avanzamento = 20 cm.*



CPT1

Stratigrafia

PROVA PENETROMETRICA CPT1

da 0,0 m a 0,4 m	ORIZZONTE A Terreno vegetale di copertura superficiale.
da 0,4 m a 2,2 m	ORIZZONTE B Argilla limosa compatta.
da 2,2 m a 3,0 m	ORIZZONTE C Sabbia limosa.
da 3,0 m a 4,4 m	ORIZZONTE D Argilla limosa a tratti plastica.
da 4,4 m a 5,4 m	ORIZZONTE E Livello ghiaiosa.

Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT 1

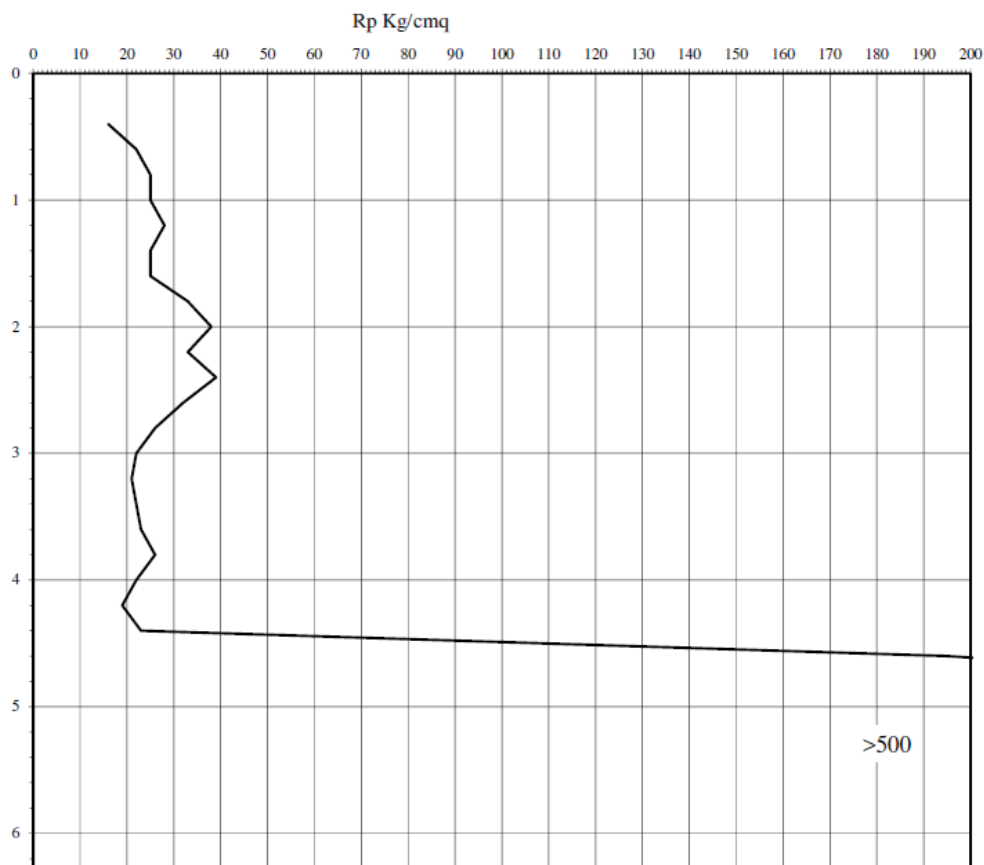
Cantiere: Fano (PU) - Via Silvio Pellico angolo via Ugo Bassi

Data: Maggio 2018

Quota inizi:

Liv.falda: a

Note:



La stratigrafia viene confermata dall'esame della seconda prova considerata

PROVA PENETROMETRICA DPSH1

da 0,0 m a 1,0 m	ORIZZONTE A Terreno vegetale di riporto rimaneggiato
da 1,0 m a 4,8 m	ORIZZONTE B Argilla limosa passante a limo sabbioso in profondità, il litotipo è caratterizzato da un numero di colpi N necessari all'avanzamento costante lungo la perforazione.
da 4,8 m a 6,0 m	ORIZZONTE C Ghiaia in matrice limosa

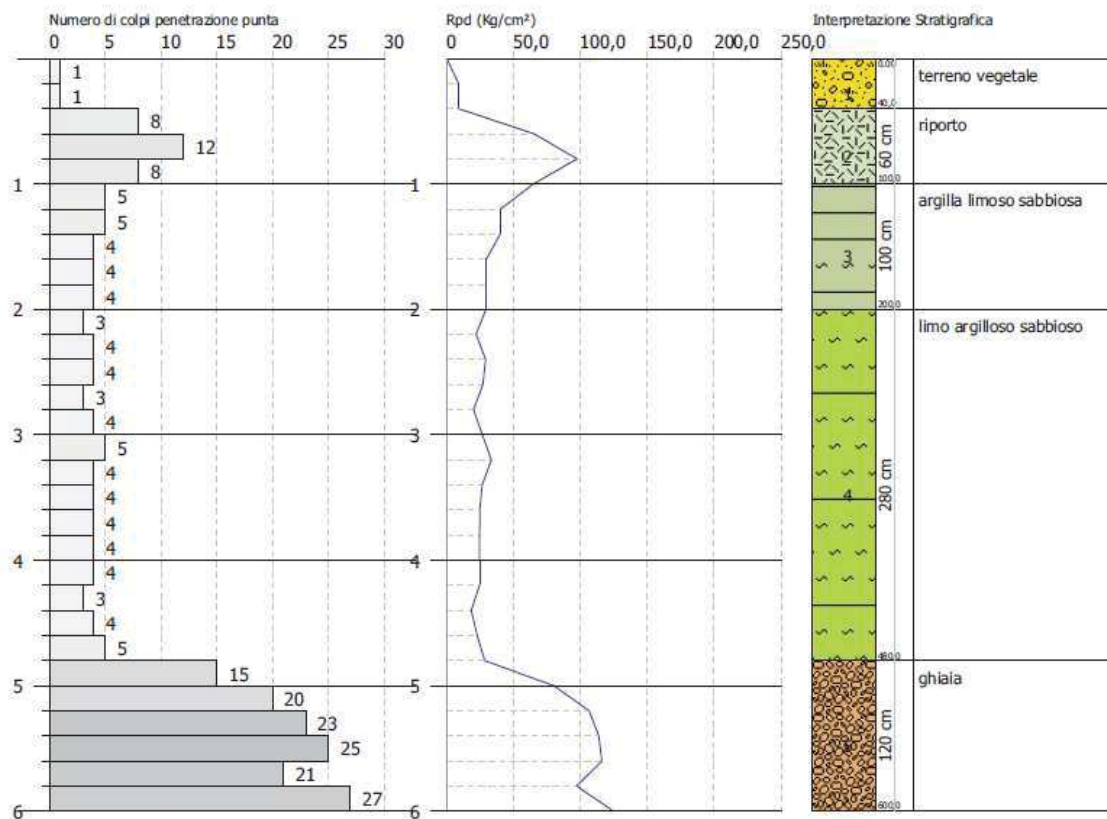
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Geol. Laura Pelonghini
Cantiere: Via Ciro Menotti, 11
Località: Fano

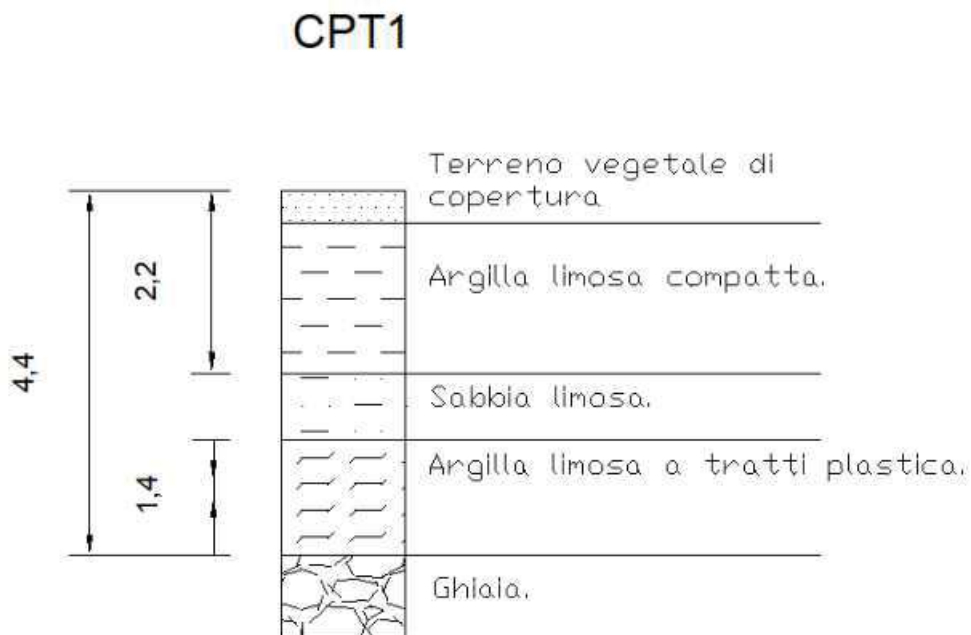
Data: 13/04/2016

Scala 1:



Ricostruzione del modello geologico

Sulla base dei dati descritti nel precedente paragrafo è stata elaborata una ricostruzione del modello geologico che tiene conto dell'indagine effettuata. Nella ricostruzione viene evidenziata l'alternanza di materiale fine granulare e coesivo al di sopra della deposizione ghiaiosa.



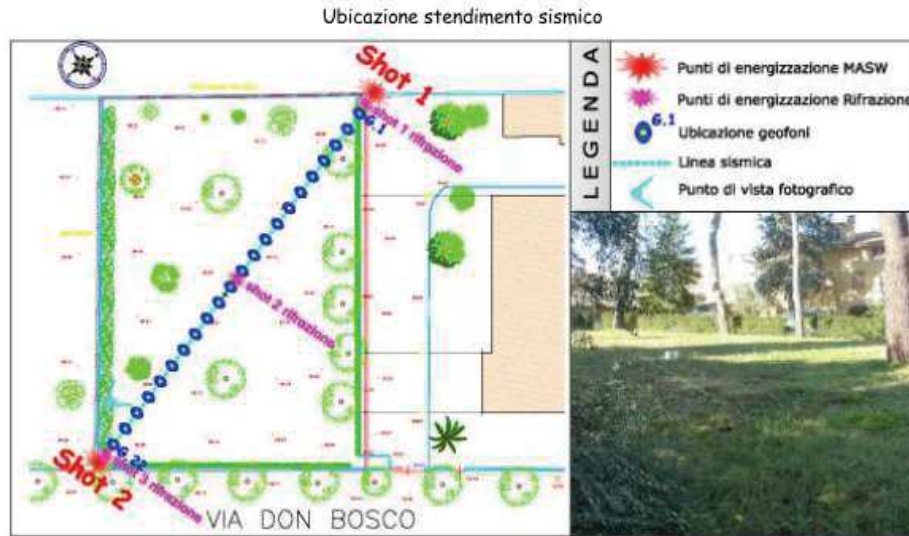
4. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO

Azione sismica

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, 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.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. Nel caso in esame si ritiene di poter applicare l'approccio semplificato consultando una prova sismica di tipo Masw condotta con la collaborazione della ditta Servizi Sismici di Sassoferrato per la dott.ssa M.V. Castellani ubicata come da planimetria seguente.





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 V_p e V_s 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 (V_p e V_s) 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, $V_{s,eq}$ (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;

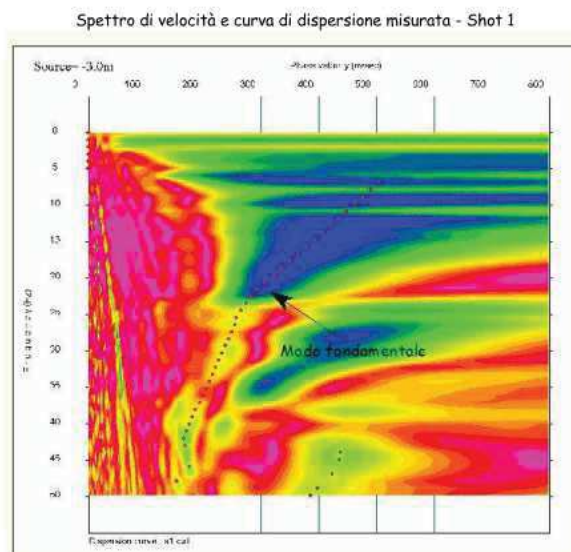
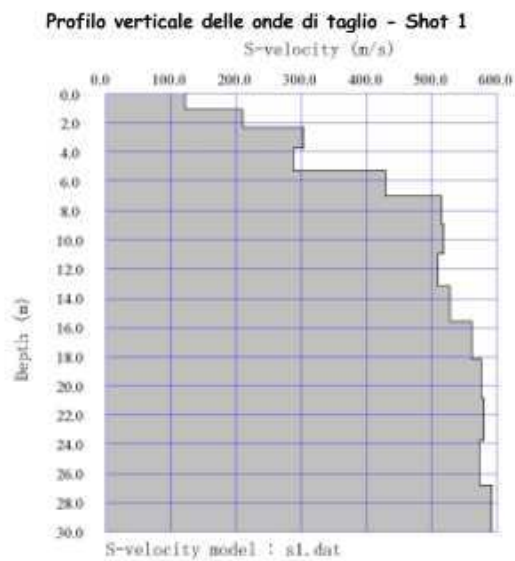
$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s 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 $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dal profilo verticale monodimensionale delle V_s sotto riportato si evince la presenza di un evidente incremento della velocità di propagazione delle onde di taglio rilevabile nell'intervallo di profondità compreso tra 5,30 e 7,00 mt circa dal p.c.; oltre quest'ultima quota si assiste generalmente ad un lieve e graduale incremento del valore di V_s con la profondità.



Profondità (mt)	h_i (mt)	V_i (m/s)	h_i/V_i	V_{s30} (m/s)
0,00 + 1,07	1,07	122	0,0088	$V_{s30} = 426$ m/s Categoria di sottosuolo "B"
1,07 + 2,31	1,24	210	0,0059	
2,31 + 3,71	1,40	303	0,0046	
3,71 + 5,27	1,57	287	0,0054	
5,27 + 7,01	1,73	429	0,0040	
7,01 + 8,90	1,90	515	0,0037	
8,90 + 10,96	2,06	518	0,0040	
10,96 + 13,19	2,23	509	0,0044	
13,19 + 15,58	2,39	527	0,0045	
15,58 + 18,13	2,55	560	0,0046	
18,13 + 20,85	2,72	575	0,0047	
20,85 + 23,74	2,88	579	0,0050	
23,74 + 26,79	3,05	573	0,0053	
26,79 + 30,00	3,21	591	0,0054	
$\Sigma h_i/V_i = 0,0704$				

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 $i \leq 15^\circ$
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 $i > 30^\circ$

La zona esaminata appartiene ad una CATEGORIA TOPOGRAFICA T1.

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 rigidità 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 limi argillosi passanti a ghiaie sabbiose, la falda freatica è stimata a – 8.5 m circa dal piano campagna. Nel caso in esame, vista l'assenza di elementi previsti dalla normativa che non permettano di escludere a priori il fenomeno della liquefazione si è proceduto ad una verifica alla quota di 2 m dal piano campagna secondo la metodologia di Seed e Idris modificato che calcola il F_s a partire dal valore di N_{SPT} . Il valore dinamico è stato desunto dalle prove penetrometriche eseguite che permettono una conversione tra la resistenza alla punta e valori N_{SPT} . Il calcolo effettuato, con le limitazioni proprie di una simulazione numerica, porta a un coefficiente di sicurezza che esclude il rischio liquefazione alla quota indicata.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					
(da prove dinamiche SPT)					
Metodo semplificato					
Metodo di Seed e Idris (1971), modificato da Tokimatsu & Yoshimi (1983) e semplificato da GNDT-CNR					
PARAMETRI:					
γ	=	1.85	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0.37	kg/cm ²		
σ'_{vo}	=	1.02	kg/cm ²		
profondità dello strato	=	200	cm		
N_{SPT}	=	5			
profondità falda	=	850	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	-0.650	kg/cm ²		
z	=	2	m		
				$R =$ Resistenza al taglio mobilitata $T =$ Sforzo di taglio indotto dal sisma.	
FORMULE:					
N_a	=	$N_{SPT} * (1,7 / (\sigma'_{vo} + 0,7)) + N_i$		=	4.941860465
$N_i = 0$					
R	=	$0,2565 * [0,16 * RadQNa + (0,2133 * RadQNa)^{1,4}]$		=	0.091239123
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) * r_d$		=	0.057177696
$a_{max}/g = 0.25$					
$r_d = 0.97$					
$F_s = R/T$	>	1.3	Sabbie sciolte	=	1.595711777
	>	1.5	Sabbie mediamente addensate		
					Verificato F_s
					Verificato F_s

Valutazione del principio dell'invarianza idraulica

Il progetto in esame è stato sottoposto alla verifica di compatibilità idraulica ed allo studio per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica.

Per la completa disamina si rimanda al fascicolo allegato alla documentazione progettuale.

5. 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 per i terreni di natura granulare il peso di volume (γ) e l'angolo di attrito (ϕ) e coesiva con indicazione della C_u (coesione non drenata). La definizione del quadro geologico stratigrafico permette una ricostruzione del modello geotecnico che, escludendo il terreno di copertura superficiale, raggruppa i livelli superficiali, riscontrati sino alla quota di -4,4 m dal piano campagna attuale, in due orizzonti tendenzialmente argillosi sovrastanti le ghiaie alluvionali.

MODELLO GEOTECNICO



<u>ORIZZONTE A ARGILLA LIMOSA COMPATTA con sabbia</u>	0.6-3.0 m spessore 2.4 m
Gamma	1,83 Kg/cmc
Gamma saturo	2,0 kg/cmc
ϕ	27°
Coesione drenata	0
Coesione non drenata	1,42 Kg/cm ² (medio) 1,01 Kg/cm ² caratteristico
Modulo edometrico	46 Kg/cm ²

<u>ORIZZONTE B limo</u>	Da 3.0 a 4.4 m Spessore 1.4 m
Gamma	1,80 Kg/cmc
Gamma saturo	2,2 kg/cmc
ϕ	24°
Coesione drenata	0
Coesione non drenata	1,1 Kg/cm ² (medio) 0,9 Kg/cm ² caratteristico
Modulo edometrico	37 Kg/cm ²

<u>ORIZZONTE C ghiaia</u>	Da 4.4 m
Gamma	1,80 Kg/cmc
Gamma saturo	2.0 kg/cmc
ϕ	36°
Coesione drenata	0
Modulo edometrico	90 Kg/cm ²

6. CONCLUSIONI

Il progetto in esame prevede l'attuazione di un comparto previsto dal PRG in vigore del comune di Fano. Saranno realizzati tre sub-comparti.

Dopo un sopralluogo nell'area in studio, per fornire un adeguato quadro geologico stratigrafico del sito, sono state consultate varie indagini penetrometriche di tipo DPSH E CPT realizzate nell'intorno significativo.

In relazione ai dati emersi nel corso dell'elaborazione dei risultati ottenuti dal rilievo diretto di campagna e dalle indagini considerate non sono state individuate particolari problematiche di tipo geologico.

L'interpretazione delle indagini ha restituito la presenza di terreni alluvionali a granulometria tendenzialmente fine passanti a litologie granulari più grossolane dalla quota di circa 4,0-4,4 m dal piano campagna attuale. Durante lo svolgimento delle indagini non è stata rilevata la presenza di falda freatica.

Le costruzioni saranno dotate di piano interrato ciò permetterà di eliminare il terreno superficiale di scarse caratteristiche geotecniche.

L'esame del Piano di Assetto Idrogeologico restituisce un'area libera da potenziali rischi di dissesto.

Le indagini sismiche consultate per la determinazione della Vs30 nel sito sono state eseguite con metodologia MASW, si è evidenziata una classificazione dei terreni presenti pari a C.

In funzione delle nuove impermeabilizzazioni, per ottemperare a quanto stabilito dalla DGR 53/14, si rimanda al fascicolo allegato per la verifica di compatibilità idraulica e la definizione degli interventi per rispettare il principio dell'invarianza idraulica.

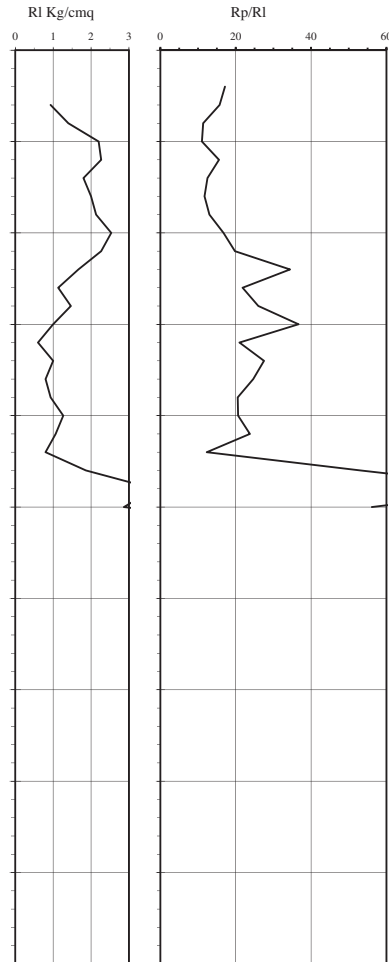
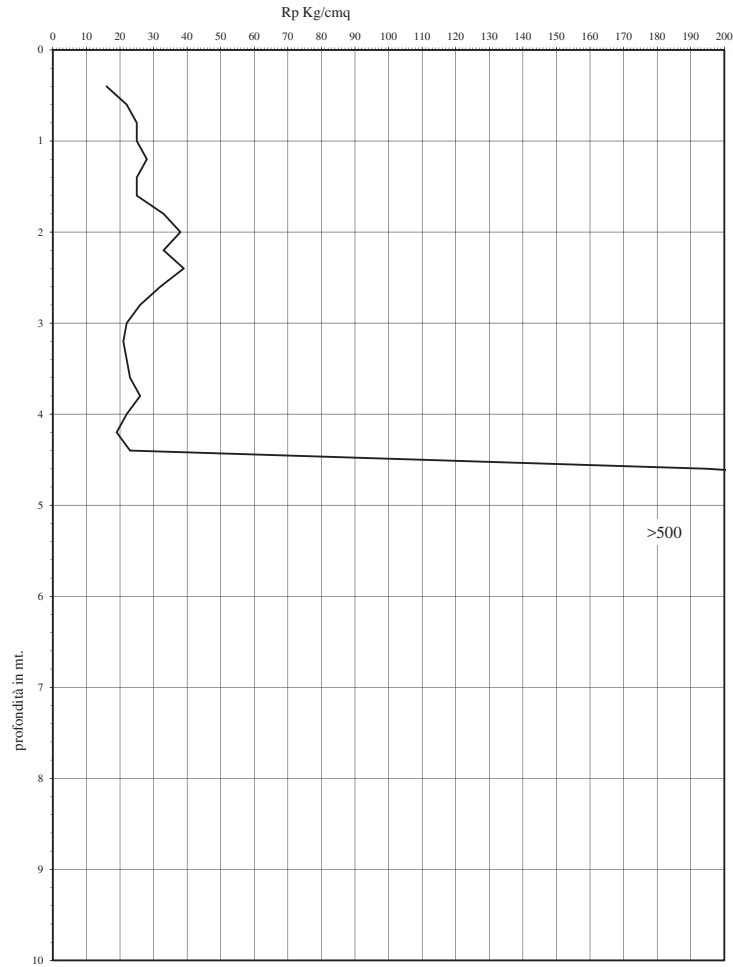
Questo Studio resta a disposizione per la necessaria assistenza tecnica durante la fase esecutiva.

Fano, 05/02/2020

Geol. Laura Pelonghini



Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

[illegible]

Angolo d'attrito interno, densità
relativa e coesione

Verifica alla liquefazione
magnitudo di 6 g
accelerazione massima al suolo 0,25 g
(Seed et al. 1985)

coefficiente di sicurezza

ϕ°	Dr	Cu Kg/cmq	Nspt
/	/	0.8	/
/	/	1.1	/
/	/	1.25	/
/	/	1.25	/
/	/	1.4	/
/	/	1.25	/
/	/	1.25	/
/	/	1.65	/
/	/	1.9	/
/	/	1.65	/
/	/	/	9.75
/	/	1.6	/
/	/	1.3	/
/	/	/	5.5
/	/	1.05	/
/	/	1.1	/
/	/	1.15	/
/	/	1.3	/
/	/	1.1	/
/	/	0.95	/
/	/	1.15	/
45	0.79	/	48.75
50	0.99	/	69
57	1.28	/	98.25
/	/	20.8	/

Cu media Kg/cmq	2,25	46,25	Nspt media n. colpi
-----------------	------	-------	---------------------

Caratteristiche strumento: penetrometro statico semovente, 200kN spinta
Punta meccanica tipo Begemann - manicotto laterale superficie 150 cmq

Legenda:

AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa

n.l. non liquefacibile

argilla
sabbia limoso argillosa
sabbia



**INDAGINI & GEOFISICHE
&
GEOGNOSTICHE**

SEDE:

SERVIZI SISMICI S.n.c.

VIA PIANO DI FRASSINETTA, 109

60041 SASSOFERRATO (AN)

P.I. - C.f.: 02495830420 - codice REA: AN-192227

Tel/Fax: 0732-96839 - Cell: 338-9056200 - 3282652947

MAIL/MSN: SERVIZISISMICI@HOTMAIL.IT

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Prove n°: DPSH. 1

Committente: Geol. Pelonghini Laura

Cantiere: Via Ciro Menotti, 11

Località: Fano

CARATTERISTICHE TECNICHE STRUMENTAZIONE (Penetrometro Statico - Dinamico Pagani TG 63-200 Kn.)

Rif. Norme:

Peso massa battente:

Altezza di caduta libera:

Peso sistema di battuta:

Diametro punta conica:

Area di base punta:

Lunghezza delle aste:

Peso aste a metro:

Profondità di giunzione 1° asta:

Avanzamento punta:

Numero colpi per punta:

Rivestimento:

Angolo di apertura punta:

Rendimento medio strumento:

Coefficiente di correlazione:

Din 4094

63.5 Kg

0.75 m

0.63 Kg

51.0 mm

20.43 cm²

1.0 m

6.31 kg

0.40 m

0.20

n (20)

assente

90°

73%

1.487-1° asta

PROVA ... Nr.1

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

DPSH TG 63-200 PAGANI
 13/04/2016
 6,00 mt

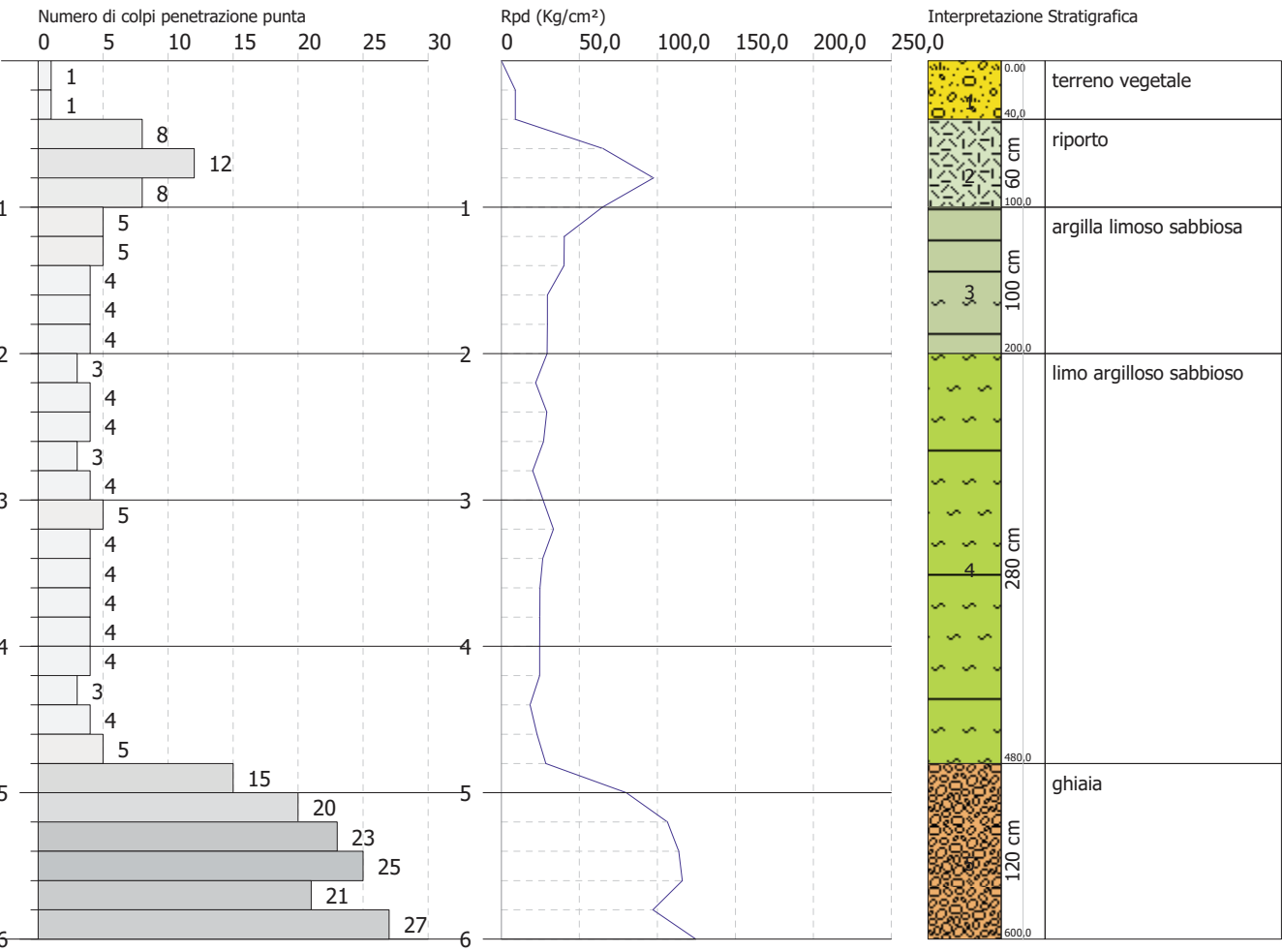
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

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)
0,20	1	0,855	8,98	10,51	0,45	0,53
0,40	1	0,851	8,94	10,51	0,45	0,53
0,60	8	0,847	65,34	77,15	3,27	3,86
0,80	12	0,843	97,59	115,72	4,88	5,79
1,00	8	0,840	64,78	77,15	3,24	3,86
1,20	5	0,836	40,32	48,22	2,02	2,41
1,40	5	0,833	40,16	48,22	2,01	2,41
1,60	4	0,830	29,57	35,64	1,48	1,78
1,80	4	0,826	29,45	35,64	1,47	1,78
2,00	4	0,823	29,34	35,64	1,47	1,78
2,20	3	0,820	21,92	26,73	1,10	1,34
2,40	4	0,817	29,13	35,64	1,46	1,78
2,60	4	0,814	26,97	33,13	1,35	1,66
2,80	3	0,811	20,16	24,85	1,01	1,24
3,00	4	0,809	26,79	33,13	1,34	1,66
3,20	5	0,806	33,38	41,41	1,67	2,07
3,40	4	0,803	26,61	33,13	1,33	1,66
3,60	4	0,801	24,78	30,94	1,24	1,55
3,80	4	0,798	24,70	30,94	1,24	1,55
4,00	4	0,796	24,63	30,94	1,23	1,55
4,20	4	0,794	24,56	30,94	1,23	1,55
4,40	3	0,791	18,37	23,21	0,92	1,16
4,60	4	0,789	22,91	29,03	1,15	1,45
4,80	5	0,787	28,56	36,28	1,43	1,81
5,00	15	0,735	80,01	108,85	4,00	5,44
5,20	20	0,733	106,39	145,14	5,32	7,26
5,40	23	0,681	113,67	166,91	5,68	8,35
5,60	25	0,679	116,03	170,85	5,80	8,54
5,80	21	0,677	97,20	143,52	4,86	7,18
6,00	27	0,675	124,64	184,52	6,23	9,23

Committente: Geol. Laura Pelonghini
 Cantiere: Via Ciro Menotti, 11
 Località: Fano

Data: 13/04/2016

Scala 1:50



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	De Beer	0,8
Strato (4) limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80		0,71

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	46,56
Strato (4) limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80		37,73

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (4) limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80		MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	Meyerhof	1,83
Strato (4) limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80		1,80

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	6,36	Meyerhof 1957	59,53
Strato (4) limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80	5,68		46,98
Strato (5) ghiaia	31,54	4,80-6,00	31,54		95,79

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	6,36	Meyerhof (1965)	27,08
Strato (4) limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80	5,68		26,74
Strato (5) ghiaia	31,54	4,80-6,00	31,54		35,71

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	6,36	Schmertmann (1978) Sabbie	50,88
Strato (4) limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80	5,68		45,44
Strato (5) ghiaia	31,54	4,80-6,00	31,54		252,32

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	6,36	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4 limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80	5,68		POCO ADDENSATO
Strato (5) ghiaia	31,54	4,80-6,00	31,54		ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	6,36	Meyerhof ed altri	1,60
Strato (4 limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80	5,68		1,57
Strato (5) ghiaia	31,54	4,80-6,00	31,54		2,15

Modulo di Poisson

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
Strato (3) argilla limoso sabbiosa	6,36	1,00-2,00	6,36	(A.G.I.)	0,34
Strato (4 limo argilloso sabbioso	5,68	2,00-4,80	5,68		0,34
Strato (5) ghiaia	31,54	4,80-6,00	31,54		0,29

**REGIONE MARCHE
 PROVINCIA DI PESARO-URBINO
 COMUNE DI FANO**

COMMITTENTE: GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI

**INDAGINE SISMICA ESEGUITA NELL'AREA INTERESSATA
 DAL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN EDIFICIO DI CIVILE
 ABITAZIONE SITA IN VIA DON BOSCO NEL COMUNE DI FANO (PU)**



Sassoferrato, 12 dicembre 2013

SERVIZI SISMICI S.n.c.
 di Donnini A. & Mantoni F.
 Via Piano di Frassineta, 109
 60041 - SASSOFERRATO (AN)
 Cod. Fisc. e P.IVA: 02495830420
 R. Reg. AN-162227
Antonello Salerni

**INDAGINE SISMICA ESEGUITA NELL'AREA INTERESSATA DAL
 PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN EDIFICIO DI CIVILE ABITAZIONE
 SITA IN VIA DON BOSCO NEL COMUNE DI FANO (PU)**

INDICE

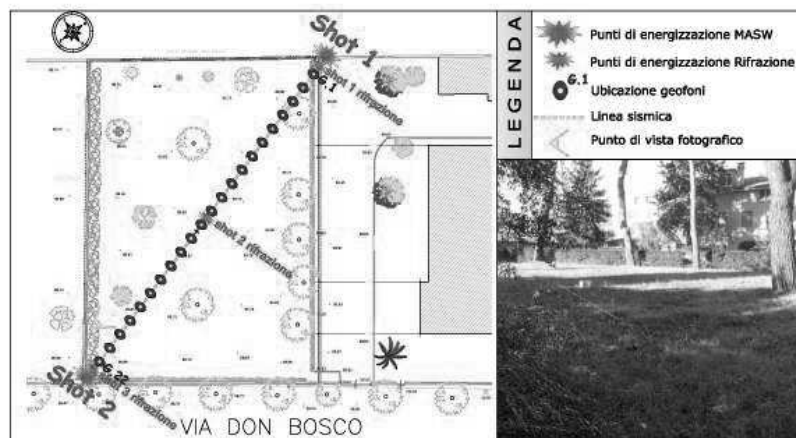
1	PREMESSA	pag. 1
2	INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	
2.1	Generalità della metodologia	pag. 1
2.2	Strumentazione e metodologia di indagine	pag. 3
2.3	Acquisizione e elaborazione dei dati	pag. 3
3	INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW	
3.1	Analisi multicanale delle onde superficiali	pag. 6
3.2	Descrizione generale della procedura MASW	pag. 8
3.3	Strumentazione e metodologia di indagine	pag. 8
4	RISULTATI E CONCLUSIONI	
4.1	Indagine sismica a rifrazione	pag. 9
4.2	Classificazione dei terreni di fondazione (Vs30)	pag. 10



1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Geol. Maria Vittoria Castellani è stata eseguita un'indagine geofisica nell'area interessata dal progetto di costruzione di un edificio di civile abitazione sita in via Don Bosco 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 V_{s30} 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"; sulla stessa stesa geofonica è stata inoltre eseguita un'indagine sismica a rifrazione per la taratura dell'indagine MASW, per l'individuazione delle principali unità sismostratigrafiche e per l'ottenimento di informazioni sulla natura e sulla geometria del sottosuolo.

Ubicazione stendimento sismico



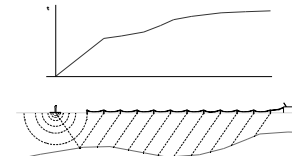
2 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

2.1 Generalità della metodologia

Il metodo sismico a rifrazione è un metodo non invasivo che si basa sulla misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche (P o SH) generate in superficie da una sorgente sismica e captate da ricevitori, anch'essi in superficie, disposti su un allineamento a diverse distanze dalla sorgente. I tempi di primo arrivo, correlati alle diverse distanze sorgente-ricevitore, permettono la stima delle geometrie del sottosuolo e delle velocità di propagazione delle onde sismiche. Tali onde vengono generate e si propagano nel terreno ogni qualvolta quest'ultimo viene sottoposto a



sollecitazioni sia di tipo naturale che artificiale (esplosioni, mazze battenti, ecc.). La tecnica di prospezione sismica a rifrazione consiste nella misura dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche generate in un punto in superficie (punto di energizzazione) in corrispondenza di una molteplicità di punti disposti allineati sulla superficie topografica (geofoni). Lo studio della propagazione delle onde sismiche consente di valutare le proprietà meccaniche e fisiche dei terreni attraversati, di stimare il loro grado di consistenza e di ottenere informazioni sulla natura e sulla geometria del sottosuolo.



I principali limiti della sismica a rifrazione risiedono nell'impossibilità teorica di rilevare strati a velocità inferiore rispetto a quelli sovrastanti (inversioni di velocità), in quanto il raggio incidente la superficie di separazione tra i due mezzi si approfondirebbe sempre di più non creando l'onda birifratta. Un'altra limitazione di tale metodologia si può verificare in presenza di strati di ridotto spessore, per i quali è possibile che la relativa birifratta non arrivi in alcun geofono per prima, per il fatto che il tratto di superficie dove arriva per prima è molto breve e può non contenere alcun geofono o al più uno solo. Infatti uno strato per essere visto deve essere campionato da almeno due geofoni e se questo non avviene è come se non esistesse (stato nascosto). Entrambe le situazioni appena descritte possono portare a sottostimare o sovrastimare le velocità delle onde sismiche e degli spessori delle coperture. Si ritiene inoltre opportuno ricordare che la velocità delle onde di compressione in terreni saturi dipende talora in maniera determinante dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido e perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del mezzo attraversato.

Utilizzando quindi le distanze tra il punto di energizzazione e quelli di ricezione e i tempi di primo arrivo dei segnali sismici, sono state ricavate le dromocrone (curve tempi-distanze), dalle quali si è risaliti, tramite opportuno programma di calcolo utilizzando il metodo del Delay - time, alle velocità reali nei singoli sismostrati, al loro spessore, profondità, forma ed inclinazione. La validità del modello bidimensionale così determinato è stata successivamente verificata attraverso una procedura iterativa basata sulla determinazione dell'errore minimo quadrato tra le dromocrone osservate e quelle teoriche (Ray-tracing).

L'elaborazione dei dati sismici acquisiti è stata effettuata attraverso la procedura sopra descritta, consistente sinteticamente nell'esecuzione delle seguenti fasi: individuazione del tempo di primo arrivo delle onde di compressione su ciascuna traccia di ogni sismogramma → dromocrone → modello delay time → procedura di ray-tracing.



2.2 Strumentazione e metodologia di indagine

La prospezione sismica oggetto del presente lavoro 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: $>100k\Omega$. La trasmissione digitale dei dati consente un'elevata silenziosità e immunità ai rumori.

Per la presente indagine si è adottato un intervallo di campionamento pari a 0,2 ms, una corrispondente frequenza di campionamento di 5000 Hz e una durata del campionamento pari a 0,25 secondi. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori sono costituiti da una catena di 22 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 10Hz 380 ohms del tipo elettromagnetico a bobina mobile equispaziati con interdistanza geofonica di 2,00 mt. Questi sono dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche prodotte da una specifica sorgente.

Le base sismica a rifrazione è stata eseguita con 3 punti di scoppio in linea secondo il seguente schema:



Nel dettaglio sono stati eseguiti n°2 end-shot posti ad una distanza di 1,00 mt dai geofoni esterni e n°1 shot al centro dello stendimento geofonico.

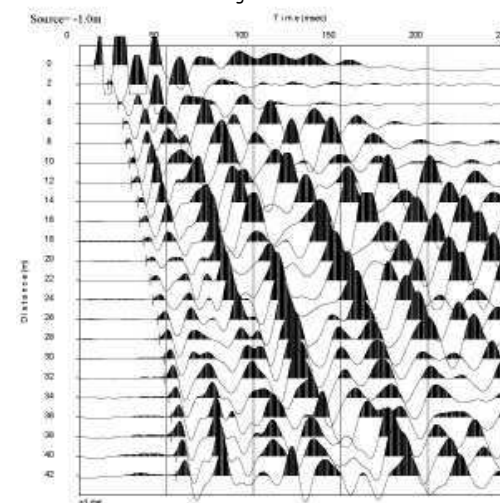
La generazione della perturbazione sismica è avvenuta mediante mazza battente del peso di 8 Kg su piastra metallica. L'istante di tempo zero (segnale di inizio registrazione) viene inviato allo strumento da un sensore di contatto posto all'estremità della stessa mazza di energizzazione. La morfologia del sito interessato dallo stendimento sismico risultava pressoché pianeggiante.

2.3 Acquisizione e elaborazione dei dati

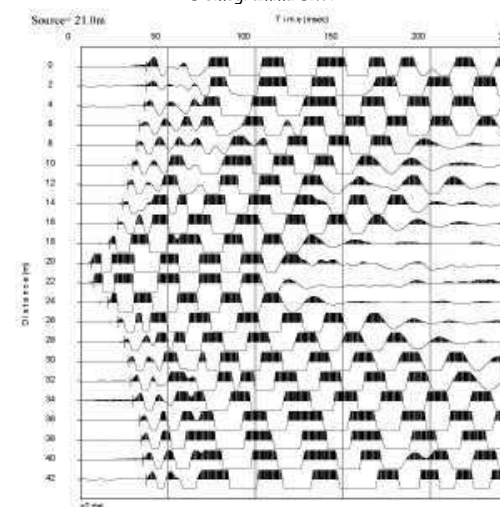
L'acquisizione di dati è avvenuta dopo le opportune verifiche di corretto funzionamento della strumentazione e del circuito di time-break. Il controllo della qualità dei dati acquisiti è stata verificata immediatamente dopo ogni energizzazione. Le fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno permesso di ottenere i seguenti elaborati:

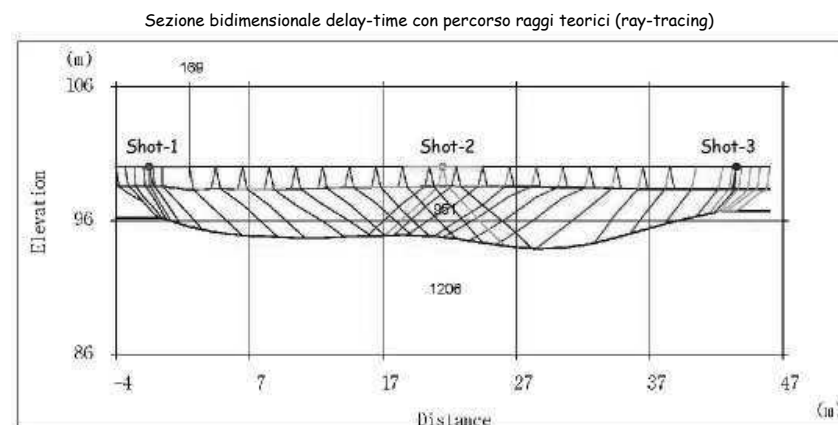
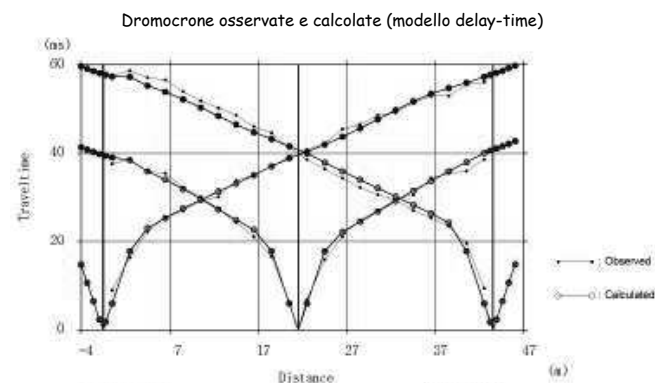
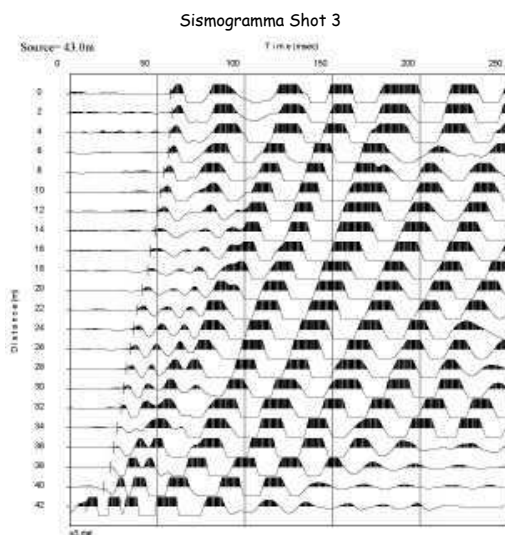


Sismogramma Shot 1



Sismogramma Shot 2





3 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

3.1 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.

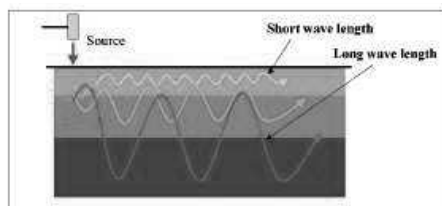
Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarli minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di



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 dominio 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 iterativo: 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

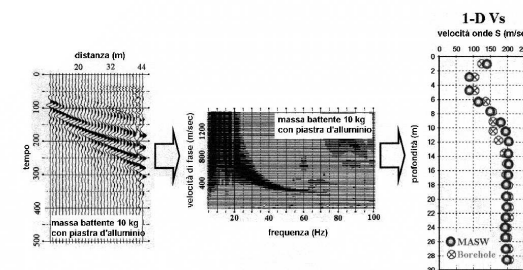


proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

3.2 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 V_s (profilo 1-D) che descrive la variazione di V_s con la profondità.



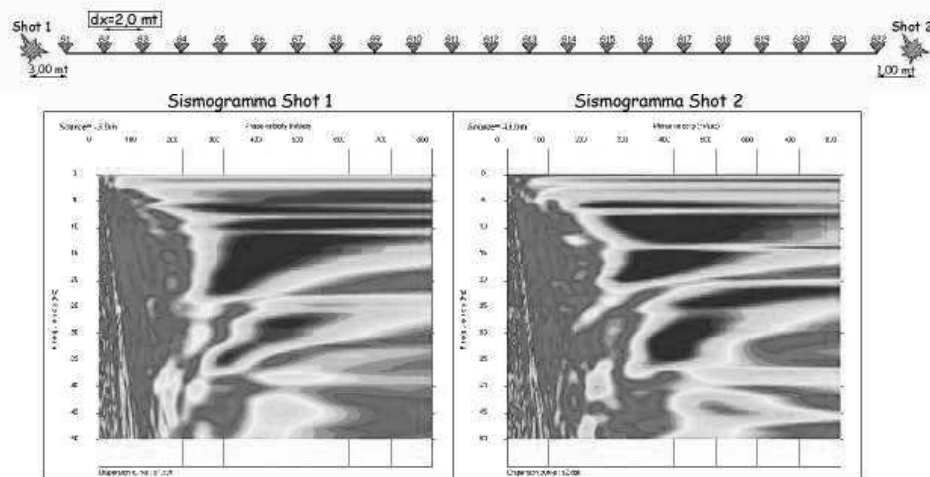
3.3 Strumentazione e metodologia di indagine

Le prospezioni sismiche con metodologia MASW sono state eseguite con la strumentazione descritta al precedente § 2.2. 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 22 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati con interdistanza geofonica di 2,00 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 simili 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 1, posto ad una distanza di 3,00 mt dal geofono G1, 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.

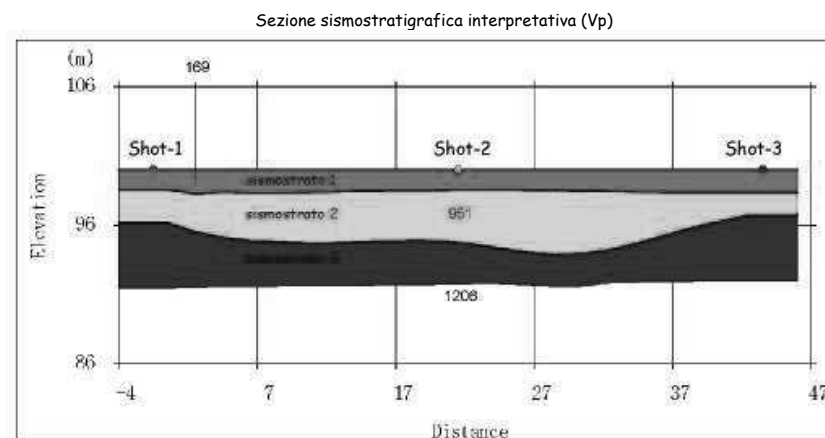
4 RISULTATI E CONCLUSIONI

4.1 Indagine sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione eseguita nel sito oggetto di indagine ha evidenziato, sino alle profondità indagate connesse alla geometria dello stendimento, la presenza di due rifrattori che hanno permesso di individuare 3 distinti livelli a diversa velocità di propagazione delle onde di compressione:



- 1) il primo sismostrato presenta spessori compresi tra 1,50 e 1,70 mt circa ed è caratterizzato da una velocità delle onde di compressione di 170 m/sec circa; tale livello a bassa velocità di propagazione delle onde di compressione è riferibile alla porzione più superficiale e areata della locale successione stratigrafica;
- 2) I sismostrati 2 e 3, riferibili a depositi alluvionali generalmente sabbioso-ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi mediamente addensati, sono caratterizzati da una velocità delle onde di compressione compresa tra 950 e 1200 m/sec circa. Tali livelli sono stati rispettivamente rilevati a partire da una profondità compresa tra 1,50-1,70 e 3,20-6,00 mt circa dal p.c..



4.2 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 rigidità 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 Vs30 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:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\gamma}}$$

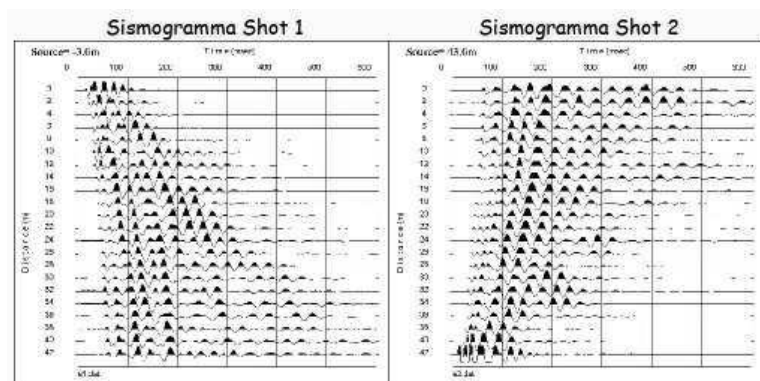
dove γ rappresenta la densità del corpo e μ il modulo di rigidità o modulo di taglio che indica la resistenza di un corpo alle variazioni di forma. Le proprietà elastiche del mezzo sono a loro volta influenzate da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura,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

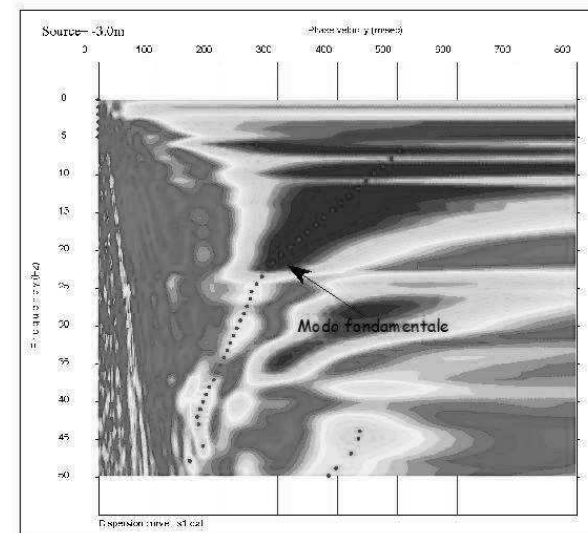
$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

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.

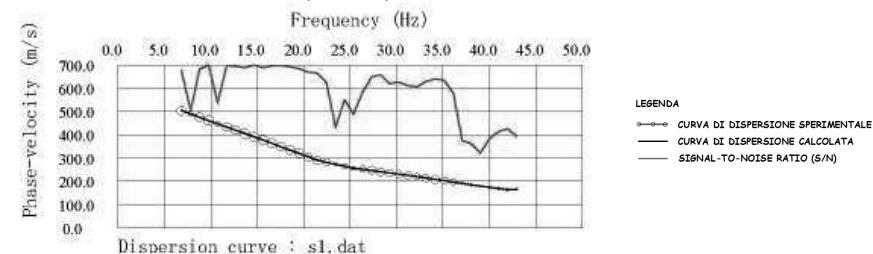
Le diverse fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno portato alla creazione dei seguenti elaborati:



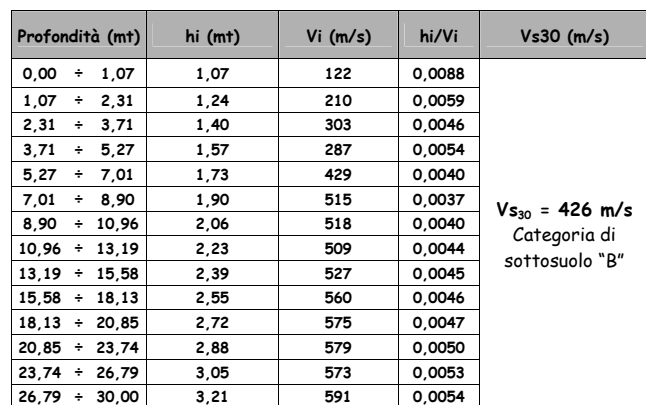
Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 1



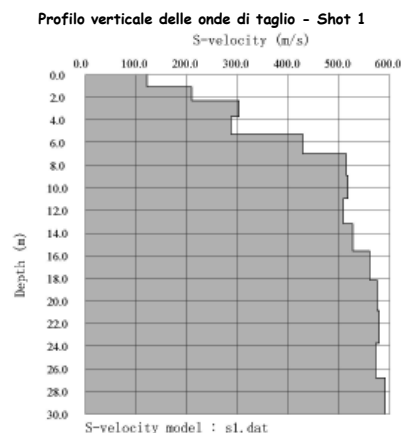
Curva di dispersione sperimentale e calcolata - Shot 1



Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore Vs30 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.



Alla luce di quanto precedentemente esposto, i terreni di fondazione del sito oggetto di indagine risultano attribuibili alla categoria di sottosuolo B.
Tale categoria rimane invariata con la profondità.



Dal profilo verticale monodimensionale delle Vs sopra riportato si evince la presenza di un evidente incremento della velocità di propagazione delle onde di taglio rilevabile nell'intervallo di profondità compreso tra 5,30 e 7,00 mt circa dal p.c.; oltre quest'ultima quota si assiste generalmente ad un lieve e graduale incremento del valore di Vs con la profondità.

Sassoferrato, 12 dicembre 2013

SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.IVA: 0295830420
M. Roma AN-192227

SEZIONE STRATIGRAFICA

