

COMUNE DI FANO

PROVINCIA DI PESARO E URBINO

OGGETTO:

PIANO DI RECUPERO DI INIZIATIVA PRIVATA DI UNA PROPRIETA' NEL CENTRO STORICO DI FANO IN VIA A. DE' PETRUCCI N. 6-8-10-12-14 (ai sensi dell'art. 30 L. 457/78

COMMITTENTI:

ESSECI s.r.l.

UBICAZIONE:

Via A. De' Petrucci n.ri 6, 8, 10, 12, 14 FANO (PU)

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

DATA:

20/03/2012

*DOTT. GEOL. LAURA PELONGHINI
Via Alessandrini 3 - FANO (PU)
tel. e fax 0721/1796562 cell 347/3212936
e-mail: laura.pelonghini@gmail.com
C.F. PLN LRA 71H63 D488K
P.IVA 01437530411*

INDICE

1. <i>P R E M E S S A</i>	3
2. <i>I N Q U A D R A M E N T O G E O M O R F O L O G I C O – G E O L O G I C O - I D R O G E O L O G I C O</i>	5
<i>Topografia</i>	5
<i>Geomorfologia ed idrogeologia</i>	7
<i>Inquadramento geologico</i>	7
<i>Analisi del Piano di Assetto Idrogeologico</i>	9
3. <i>R I C O S T R U Z I O N E D E L M O D E L L O S T R A T I G R A F I C O</i>	10
<i>Descrizione e ubicazione delle indagini</i>	10
4. <i>C O N S I D E R A Z I O N I S U L L A F A T T I B I L I T A ’ D E L P R O G E T T O</i>	12
<i>Azione sismica</i>	12
<i>Verifica del potenziale di liquefazione</i>	17
<i>Compatibilità idrogeologica</i>	18
5. <i>E L E M E N T I D I S I N T E S I P E R L A P R O G E T T A Z I O N E</i>	19
<i>Determinazione dei parametri caratteristici</i>	20
<i>Pericolosità sismica</i>	21
6. <i>C O N C L U S I O N I</i>	22

1. PREMESSA

Su incarico della ditta ESSECI s.r.l., in conformità alle normative tecniche dettate dal D.M. 14/01/2008, è stata redatta una relazione geologica e sismica relativa al progetto di un Piano di Recupero di iniziativa privata di una proprietà nel centro storico di Fano in via A. De' Petrucci n. 6-8-10-12-14 (ai sensi dell'art. 30 l. 457/78).

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. 14/01/2008 – Testo unitario "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Circolare n. 617 del 02/02/2009 "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.

L'area in studio appartiene ad una schiera di fabbricati con ridottissimi spazi di accesso che hanno reso impossibile per problematiche tecnico operative l'accesso a macchine operatrici per indagini geognostiche. Analogamente mancano cortili interni o zone prive di solai del piano primo che consentono adeguati spazi di manovra in altezza ai macchinari utilizzati per le perforazioni.

Vista la situazione stratigrafica del centro storico della città di Fano si è ritenuto di poter fare riferimento ad indagini geognostiche e sismiche, dirette dalla sottoscritta, eseguite in aree limitrofe a quella in oggetto, la loro ubicazione verrà indicata in una planimetria allegata alla presente relazione

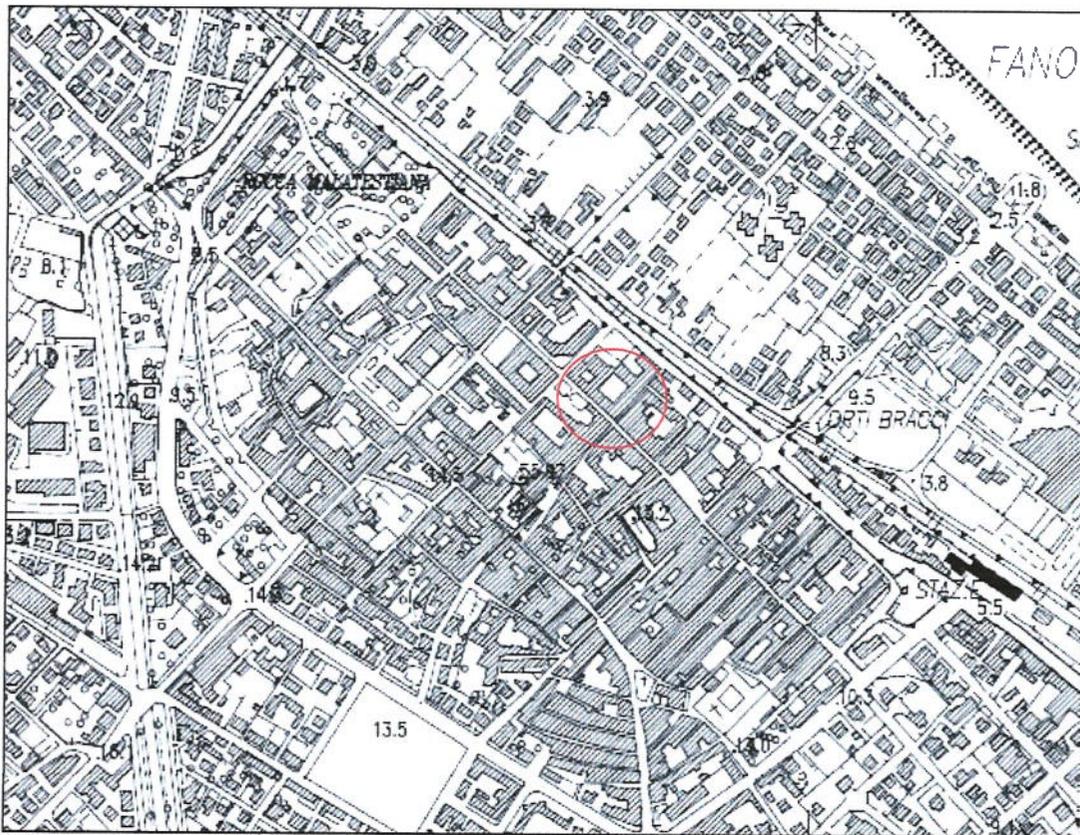


Vista del fabbricato da via De' Petrucci (si notano le porte d'ingresso di ridotte dimensioni, mancano collegamenti con aree di adeguata altezza per l'estensione verticale delle macchine penetrometriche).

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO

Topografia

L'area in oggetto risulta ubicata nel centro abitato di Fano, ad una quota topografica di 11,5 mt. circa s.l.m.m., come rappresentato nella allegata corografia ortofotogrammetrica, a scala 1:10.000, REGIONE MARCHE, sez. n° 269130 "Fano" e nello stralcio aerofotogrammetrico del Comune di Fano foglio n. 15 riprodotto allegato di seguito.



Carta Tecnica Regionale – sez. 269130 "Fano"

Geomorfologia ed idrogeologia

Sotto il profilo geomorfologico, la zona in studio è posizionata su un'area pianeggiante appartenente ai terrazzi alluvionali del III ordine frutto dell'interdigitazione dei depositi alluvionali del Fiume Metauro e del mare Adriatico. A poca distanza dal sito, in direzione NE, è presente un'importante salto morfologico, sfruttato come limite della cinta muraria del centro storico dell'abitato di Fano, che segna il passaggio con i depositi alluvionali del IV ordine e delle spiagge attuali.

L'intensa urbanizzazione, presente da diversi secoli, ha cancellato tracce di elementi morfologici così come l'idrografia superficiale risulta completamente assente essendo presente infatti una ricca rete di canalizzazioni superficiali artificiali.

Per quanto concerne l'idrogeologia la falda è stimata a quote prossime a -10 m dal piano strada in oggetto, come risulta dall'esame di stratigrafie di pozzi ubicati in aree limitrofe.

Inquadramento geologico

Geologicamente l'area in oggetto è collocata sui depositi terrazzati ghiaiosi e talora parzialmente sabbiosi, gerarchicamente classificati di III ordine del Fiume Metauro. I depositi che costituiscono i corpi dei terrazzi sono per lo più alluvioni di natura ghiaiosa. In certi casi la litologia prevalente può essere sabbiosa o sabbioso-limoso-argillosa: questo solitamente avviene in certi terrazzi di tributari minori i cui bacini di drenaggio sono costituiti da terreni prevalentemente argilloso-marnoso-sabbiosi. In ogni caso intercalazioni fini, pur rimanendo quantitativamente subordinate, si associano quasi ovunque alle ghiaie alluvionali e caratterizzano molto spesso la sommità dei terrazzi o, in certi luoghi, gli intervalli basali.

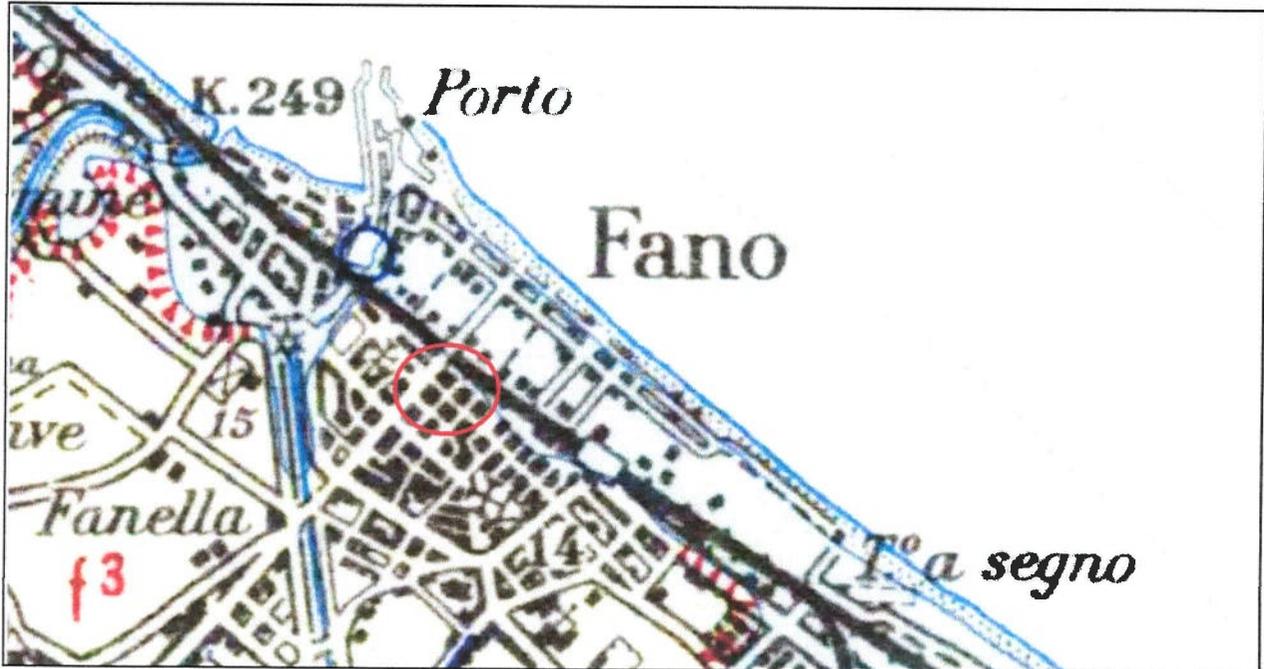
In questa zona le alluvioni terrazzate si presentano con discreti spessori trattandosi di depositi alluvionali della parte terminale delle due aste fluviali, dove i corsi d'acqua allargano la loro valle, perdono velocità idrodinamica e diminuiscono la capacità di trasporto solido provocando così una forte deposizione di sedimenti e sono interdigitate con i depositi marini.

Al di sotto delle coperture alluvionali si trova il substrato geologico ascrivibile alla formazione del Pliocene medio. La Formazione del Pliocene inferiore è costituita da argille marnose azzurre con sabbie ed arenarie talora debolmente cementate.

L'area in oggetto è collocata nel centro storico dove varie età storiche si sono succedute con sovrapposizione di edifici e rimaneggiamento costante dei terreni in posto che si sono

sovrapposti alla litologia originaria. Sono presenti pertanto coperture di terreni fini con pietrame, materiale di riporto vario e terreno granulare per uno spessore di circa 8,0 m dal piano strada.

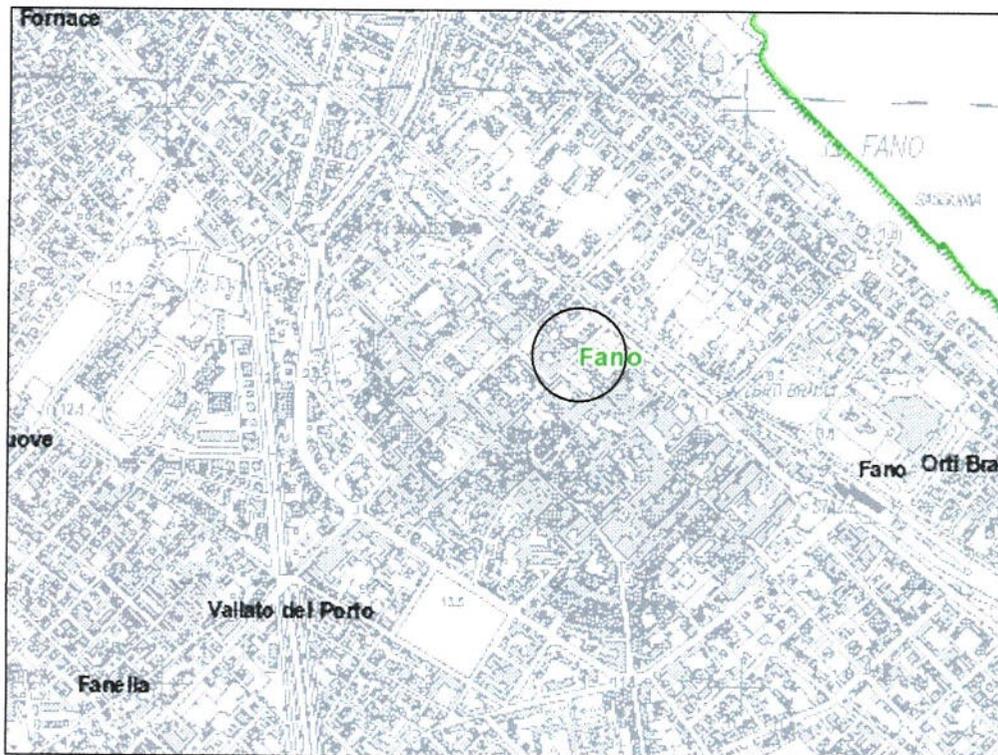
CARTA GEOLOGICA



a		Alluvioni recenti e attuali. Sabbie e ghiaie delle spiagge attuali.
f ^a		Alluvioni e depositi litoranei, ghiaiosi e talora parzialmente sabbiosi, del IV ordine dei terrazzi, a 5-8 metri sul fondovalle.
f ³		Alluvioni e depositi litoranei, ghiaiosi e talora parzialmente sabbiosi, del III ordine dei terrazzi, a 15-20 metri sul fondovalle.

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 aree esondabili.



Stralcio PAI



3. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO

Descrizione e ubicazione delle indagini

La ricostruzione della situazione stratigrafica è stata resa possibile dall'esecuzione di alcuni assaggi in edificio limitrofo all'area d'intervento (indicato in planimetria) di cui si riporta di seguito adeguata documentazione fotografica.



La litologia presente può essere descritta così:

ORIZZONTE A: da 0,0 a 0,3 terreno di sottofondo costituito da ghiaia eterometrica priva di matrice.

ORIZZONTE B: da 0,3 a 1,0 terreno di riporto con elementi di pietrame misti a sabbie e ghiaie fini.

ORIZZONTE C: da 1,0 a 1,5 terreno di riempimento rimaneggiato a granulometria fine con elementi ghiaiosi.

La litologia appare quindi fortemente rimaneggiata e frutto di riporto eseguito in periodi diversi e con materiale vario. Da notizie storiche si desume che il tratto ampiamente rimaneggiato possa raggiungere lo spessore di 8,0 m dall'attuale piano strada. Al di sotto di tali livelli sono presenti litologie ghiaiose sabbiose.

La stratigrafia può essere confrontata con quella desunta da una prova penetrometrica eseguita poco distante in cui il terreno di riporto è presente sino a 8,0 m dal piano campagna. Viene di seguito descritta l'indagine.

PROVA PENETROMETRICA P1

- | | |
|-----------------------------|---|
| da 0.0 mt. a 0.6 mt. | Terreno superficiale di copertura rimaneggiato e di riporto. |
| da 0.6 mt. a 7.0 mt. | Litologia limoso argillosa localmente plastica a basso grado di compattezza, quest'ultimo aumenta leggermente localmente nei punti in cui il numero dei colpi N necessari ad un avanzamento di 20 cm sale sino a 7, ciò è imputabile a livelli sabbiosi più compatti o a piccoli trovanti di riporto. |

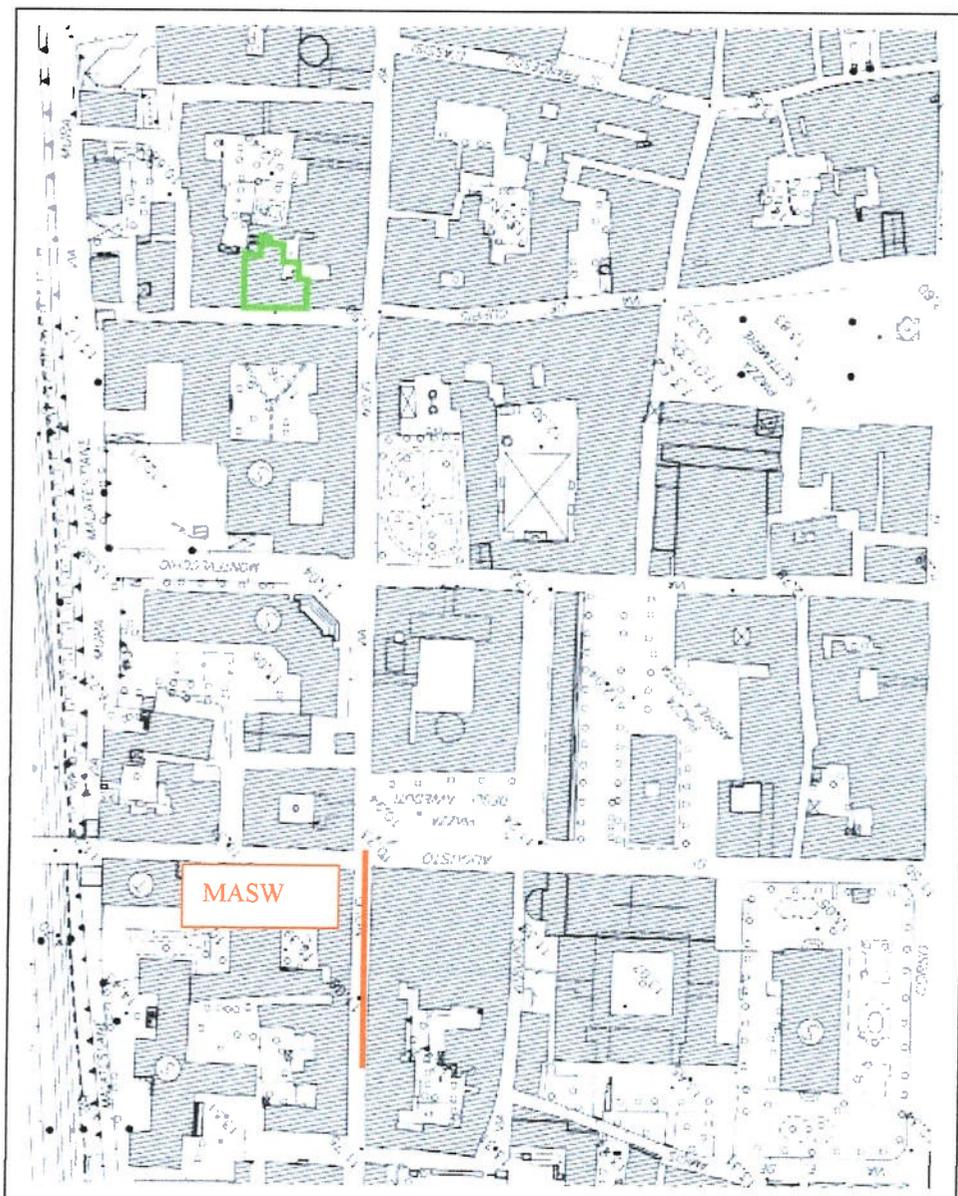


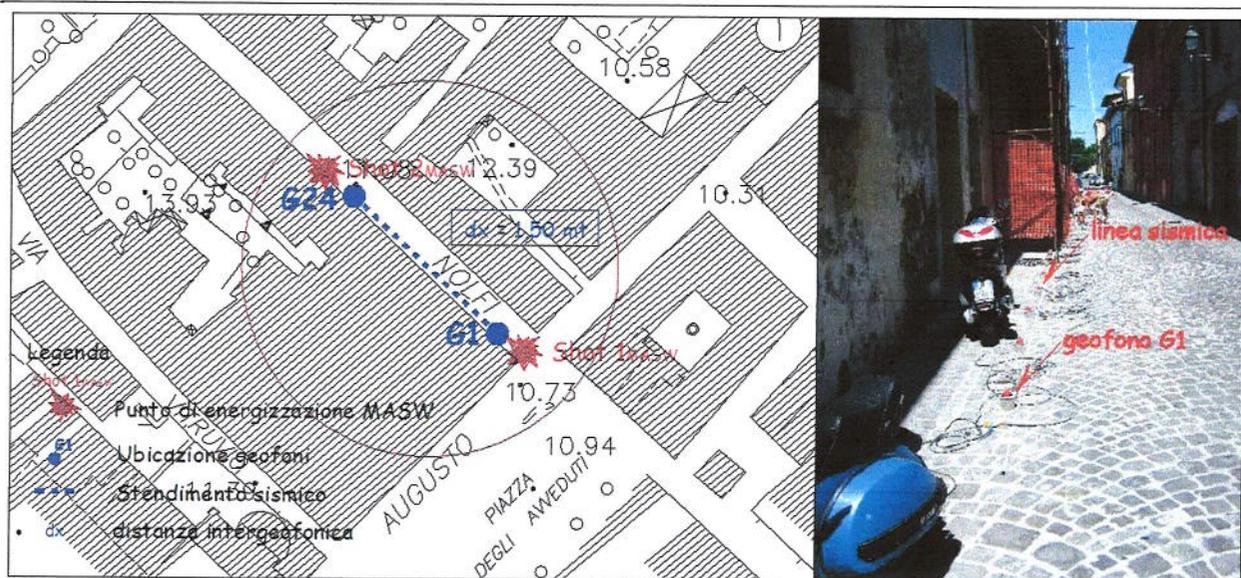
- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| ● Ubicazione penetrometria | ● Ubicazione scavi meccanici |
| | ● Ubicazione area in studio |

4. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO

Azione sismica

Per la determinazione dei parametri sismici, per la caratterizzazione del sottosuolo e la determinazione delle coltri di copertura si è fatto riferimento ad una indagine di tipo MASW, eseguita in collaborazione della ditta Servizi Sismici di Sassoferrato, ubicata in area limitrofa come indicato dalla figura 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.

Le caratteristiche degli strumenti utilizzati, la metodologia e l'acquisizione dei dati sono riportati in maniera esaustiva nel rapporto di indagine allegato alla presente relazione di cui fa parte integrante.

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.

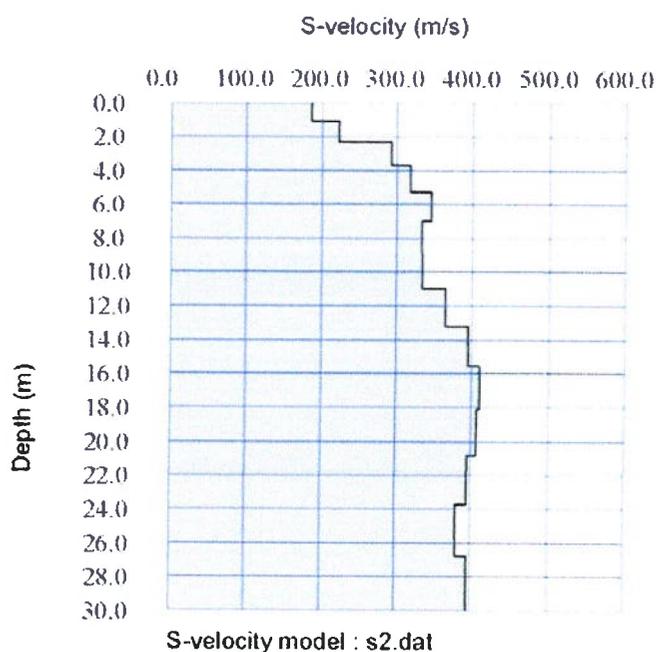
I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di caratterizzare al meglio l'area d'indagine. Gli stessi definiscono la categoria di suolo del sito, in base ai valori di VS_{30} calcolati a partire dal p.c. fino a 30 m di profondità. Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, ai sensi del TU sulle Costruzioni D.M. 14/01/2008 (paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo), deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie.

La prova ha permesso di evidenziare la mancanza di inversioni di velocità nel sottosuolo ed assenza di valori inferiori a 100 m/s. Per tutti i dettagli tecnici della prova si rimanda alla relazione geofisica allegata a fine elaborato di cui fa parte integrante.

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.

Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs30 (m/s)
0.00 ÷ 1.07	1,07	186	0,0057	Vs ₃₀ = 347 m/s Categoria di sottosuolo "C"
1.07 ÷ 2.31	1,24	224	0,0055	
2.31 ÷ 3.71	1,40	292	0,0048	
3.71 ÷ 5.27	1,57	318	0,0049	
5.27 ÷ 7.01	1,73	345	0,0050	
7.01 ÷ 8.90	1,90	334	0,0057	
8.90 ÷ 10.96	2,06	335	0,0062	
10.96 ÷ 13.19	2,23	365	0,0061	
13.19 ÷ 15.58	2,39	395	0,0060	
15.58 ÷ 18.13	2,55	410	0,0062	
18.13 ÷ 20.85	2,72	407	0,0067	
20.85 ÷ 23.74	2,88	396	0,0073	
23.74 ÷ 26.79	3,05	380	0,0080	
26.79 ÷ 30.00	3,21	394	0,0082	

$\Sigma hi/Vi = 0,0864$



Dall'esame dell'andamento delle velocità si può notare una certa uniformità nelle risposte dei terreni ciò a conferma di una discreta omogeneità litologica (ghiaie e sabbie) al di sotto del terreno di riporto qui valutabile in 5,0 m.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> 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 $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

L'area analizzata può essere inclusa nella CATEGORIA C.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica le NTC introducono parametri che riguardano l'amplificazione sismica e considerano due parametri variabili in funzione della categoria di terreno come riportato nella tabella sottostante.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_{*c})^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_{*c})^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_{*c})^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_{*c})^{-0,40}$

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**.

Per tener conto delle condizioni topografiche Le NTC forniscono valori variabili del coefficiente S_T come riportato nella tabella sottostante.

Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

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

Per la zona indagata S_T RISULTA PARI A **1,0**.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base di sito.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza PVR. Le forme spettrali sono definite per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri:

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_c per i periodi di ritorno T_R di riferimento (Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2" – Consigli Superiore dei Lavori Pubblici)

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_c [s]
30	0,046	2,430	0,276
50	0,060	2,583	0,276
72	0,075	2,482	0,282
101	0,092	2,439	0,282
140	0,107	2,466	0,284
201	0,127	2,443	0,286
475	0,181	2,470	0,296
975	0,236	2,510	0,309
2475	0,330	2,498	0,320

Verifica del potenziale di liquefazione

Ai sensi del D.M. 14/01/2008 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).

Secondo quanto stabilito dalle NTC 2008 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti

circostanze:

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

Ai sensi del capitolo 7 paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 14/01/2008 non può venire esclusa la possibilità di liquefazione in quanto non ricorre nessuno dei casi previsti. Si è pertanto provveduto a verificare l'eventualità di liquefazione con la metodologia di il metodo qualitativo di metodo Seed e Idriss, 1982, che considera il valore dei dati penetrometrici N_{SPT} , dedotti dalla prova penetrometrica di riferimento dall'analisi, riportata nella pagina seguente, si ottiene un coefficiente di sicurezza superiore al valore limite, pertanto si ritiene di poter escludere il fenomeno di liquefazione dei terreni al di sotto del piano fondale.

Compatibilità idrogeologica

Il sito in esame è posizionato su terreni fortemente rimaneggiati e con copertura impermeabile presente da tempi storici. Tale situazione consente di ipotizzare un'assenza di rischio da potenziali contaminazioni.

Il progetto non prevede l'esecuzione di un piano interrato, vengono così meno ulteriori possibilità di interazione con il regime sotterraneo delle acque di falda.

La presenza delle infrastrutture di rete sia fognarie che acquedottistiche permettono all'edificio in ristrutturazione di non dover prevedere sfruttamento alcuno delle risorse idriche sotterranee né di effettuare scarichi di acque reflue nel suolo.

Pertanto, vista la mancanza di interazione diretta tra il progetto e la falda freatica si ritiene che non sussistano problematiche particolari di carattere idrogeologico e che l'intervento in progetto sia compatibile con l'assetto idrologico ed idrogeologico della zona.

5. ELEMENTI DI SINTESI PER LA PROGETTAZIONE

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.14/01/2008 l'analisi del sistema terreno struttura viene trattato con metodi semiprobabilistici e compare il concetto di coefficienti di sicurezza parziali, la procedura da adottare per calcolare la capacità portante del terreno dovrà essere la seguente:

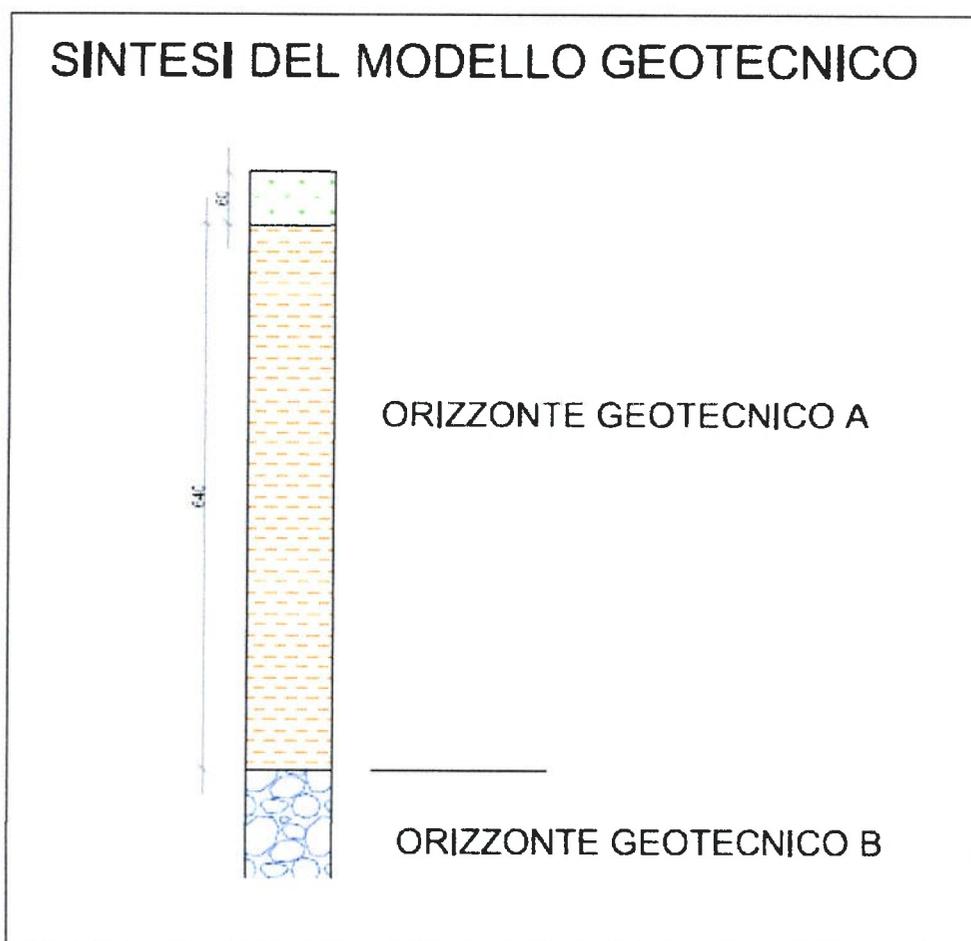
1. ipotizzando che sollecitazioni applicate e portanza siano fra loro indipendenti, si determinano i valori caratteristici dei parametri della resistenza al taglio del terreno, coesione e angolo di attrito interno; per **valore caratteristico** s'intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento;
2. per tenere conto di eventuali altre cause d'indeterminazione, si applicano ai valori caratteristici dei coefficienti di sicurezza parziali in funzione dello stato limite considerato;
3. s'introducono i valori così ridotti nella formula di calcolo della portanza ricavando la portanza della fondazione;
4. il valore di portanza ottenuto dovrà essere confrontato con il valore del carico di progetto.

La parametrizzazione geomeccanica, dei litotipi rilevati è stata elaborata sulla base dei dati ottenuti dalle indagini introspettive considerate per il sito, comparate con dati relativi a prove di laboratorio effettuate su litologie simili.

La definizione del quadro geologico stratigrafico permette una ricostruzione del modello geotecnico. Si è ritenuto di adottare il modello geologico semplificato come modello geotecnico del sito:

- A) Terreni fortemente rimaneggiati e di riporto seguiti da limi argillosi marroni con intercalazioni di limi sabbiosi.
- B) Ghiaie e sabbie di deposito alluvionale

La presenza dell'orizzonte B è desunta sulla base delle velocità di propagazione delle onde sismiche come emergono dai tabulati dell'indagine sismica riportata.



Determinazione dei parametri

Con la normativa del D.M.14/01/2008 l'analisi del sistema terreno struttura viene trattato con metodi semiprobabilistici e compare il concetto di PARAMETRI CARATTERISTICI per i parametri della resistenza al taglio del terreno, coesione e angolo di attrito interno; per **valore caratteristico** s'intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento.

Per la parametrizzazione caratteristica dei terreni presenti sarà opportuno effettuare delle prove geotecniche con lettura continua in avanzamento non appena il sito sarà accessibile per macchinari adeguati; di seguito si forniranno dei parametri nominali da integrare al momento della redazione della relazione geotecnica per il calcolo strutturale.

Si propongono pertanto come parametri caratteristici valori ricavati dai risultati della prova penetrometrica precedentemente descritta, si tende ad uniformare le litologie in quanto vengono comunque considerate materiale di riporto.

- γ_{nom} (peso di volume) 1,80 t/mc
- C'_{nom} (coesione efficace) 0 t/mq
- Φ_{nom} (angolo d'attrito) 27°

Pericolosità sismica

Nella figura seguente viene riportata la carta delle pericolosità sismiche dell'area riferita all'intera area d'intervento. Risulta evidente come siano assenti pericolosità sismiche. Lo studio effettuato ha confermato tale previsione urbanistica escludendo anche pericolosità geologiche.

Stralcio cartografia di PRG del Comune di Fano



6. CONCLUSIONI

Per la redazione del piano particolareggiato in oggetto è stata redatta la presente relazione geologica e sismica. Il sito in studio non permette, allo stato attuale, l'accesso alle macchine operatrici per indagini geognostiche, né possiede spazi adeguati interni che ne consentano l'effettiva operatività. Pertanto il modello geologico del sito è stato ricostruito tramite l'analisi di indagini penetrometriche e sismiche dirette dalla sottoscritta ed eseguite in aree limitrofe a quella in oggetto.

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**. Il modello geologico ricostruito rivela la presenza di litologie rimaneggiate e di riporto seguite da sabbiose e ghiaioso sabbiose alluvionali con **falda freatica posizionata a -10 m dal piano campagna**.

L'esame del Piano di Assetto Idrogeologico restituisce un'area libera da potenziali rischi di esondazione e di dissesto. Dal punto di vista della pericolosità sismica l'area non è interessata da potenziali rischi.

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

Vista la mancanza di interazione diretta tra il progetto e la falda freatica si ritiene che non sussistano problematiche particolari di carattere idrogeologico e che **l'intervento in progetto sia compatibile con l'assetto idrologico ed idrogeologico della zona**.

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

Fano, 20/03/2012

Geol. Laura Pelonghini

Allegati:

- Colonne stratigrafiche e Sezione
- Verifica potenziale di liquefazione
- Relazione sismica

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(da prove dinamiche SPT)

Metodo semplificato

Metodo di Seed e Idris (1982)

PARAMETRI:	
γ	1,8 g/cm ³
σ_{vo}	0,27 kg/cm ²
σ_{vo}'	1,32 kg/cm ²
profondità dello strato	150 cm
N _{SPT}	5
profondità falda	1200 cm
γ_{H_2O}	1 g/cm ³
Pressione neutra	-1,050 kg/cm ²
z	1,5 m

R=	Resistenza al taglio mobilitata
T=	Storzo di taglio indotto dal sisma
d_{50} =	Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%

FORMULE:

$$N_a = (N_{SPT} * (1,7 / (\sigma_{vo}' + 0,7))) + N_t$$

N_t

=

0

RISULTATI:

$$= 4,207920792 \quad N_a$$

$$R = N_a / 90$$

=

0,046754675

R

$$T = 0,65 * ((a_{max} / g) * (\sigma_{vo}' / \sigma_{vo})) * r$$

=

0,032490767

T

$$a_{max} / g = 0,25$$

$$r_d = 0,9775$$

$$1,3 \leq F_s = R / T \quad \text{Sabbie sature}$$

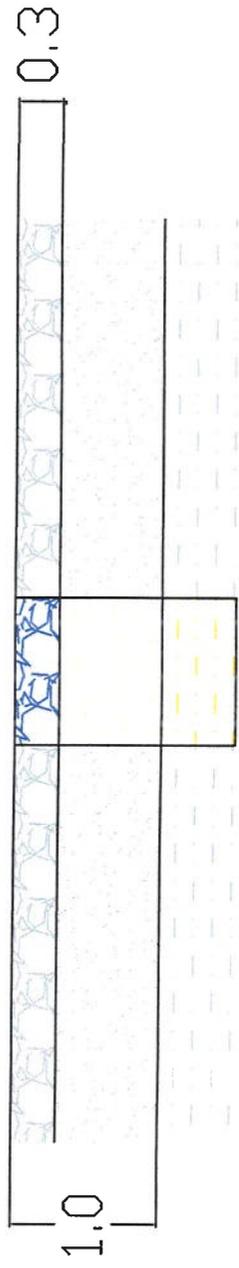
=

1,43901421

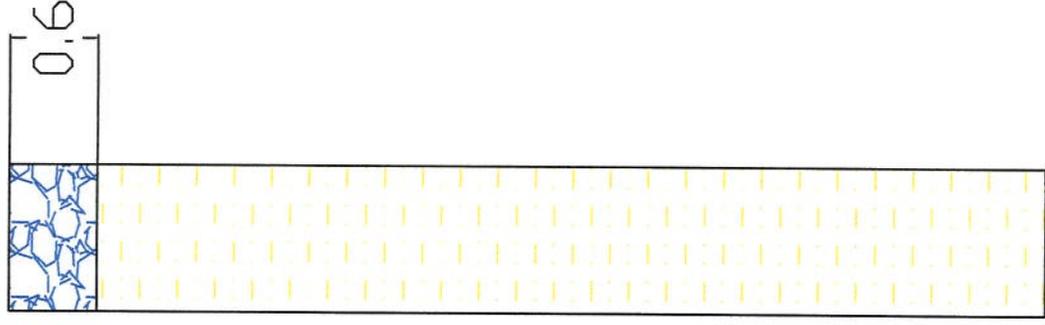
Verificato Fs

"Software Freeware distribuito da geologi.it"
 Studio Geologico Dott. Sebastiano Giovanni Monaco
 Via Torrente Trapani n. 13 - MESSINA (ME) - 98121 -
 E mail: sebastiano.monaco@inwind.it - Tel: 3394103820

SONDAGGI MECCANICI



PROVA PENETROMETRICA

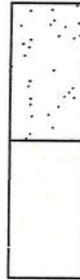


LEGENDA

RILEVATA INTERPRETATA



Terreno di sottofondo



Terreno granulare con trovanti



Sabbie e limi con ghiaia fine

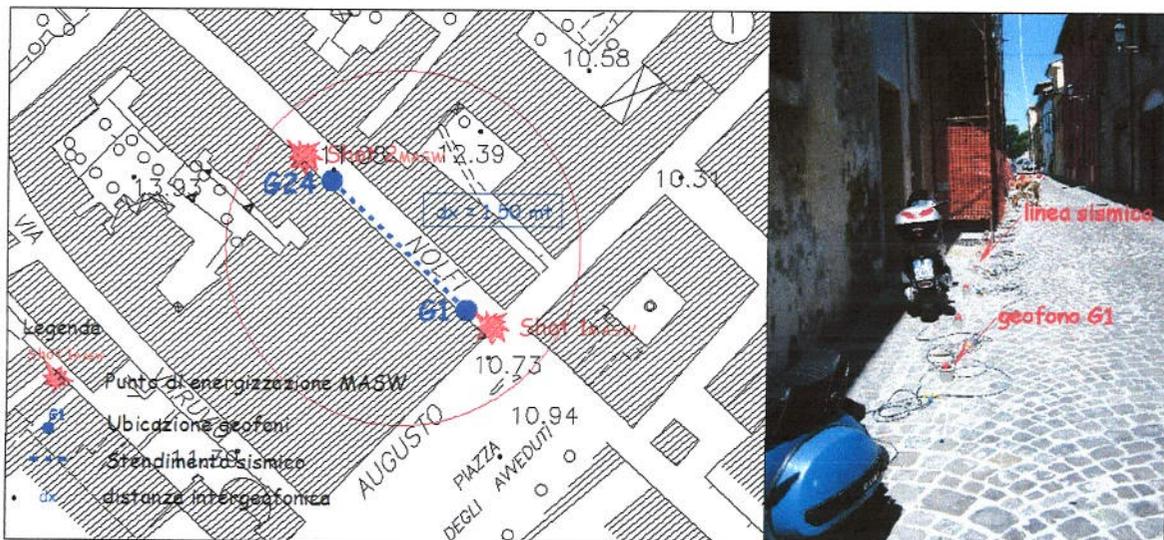


DR. ANTONELLO DONNINI & DR. FABRIZIO MANTONI
VIA PIANO DI FRASSINETA, 109 - 60041 SASSOFERRATO (AN)
TEL./FAX.: 0732/862077 - CELL.:338/9056200 - 328/2652947
MAIL/MSN:SERVIZISISMICI@HOTMAIL.IT

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

**COMMITTENTE: SIG. GIANFRANCO CASANOVA
VIA VITRUVIO, 2 - FANO**

**INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW ESEGUITA
NELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE
DI UN FABBRICATO DI CIVILE ABITAZIONE SITO IN VIA NOLFI
N°40 NEL COMUNE DI FANO (PU)**



Sassoferrato, 21 luglio 2010



DR. ANTONELLO DONNINI & DR. FABRIZIO MANTONI
VIA PIANO DI FRASSINETA, 109 - 60041 SASSOFERRATO (AN)
TEL./FAX.: 0732/862077 - CELL.:338/9056200 - 328/2652947
MAIL:MSN:SERVIZISISMICI@HOTMAIL.IT

**INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW ESEGUITA NELL'AREA
INTERESSATA DAL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE UN FABBRICATO DI
CIVILE ABITAZIONE SITO IN VIA NOLFI N°40 NEL COMUNE DI FANO (PU)**

INDICE

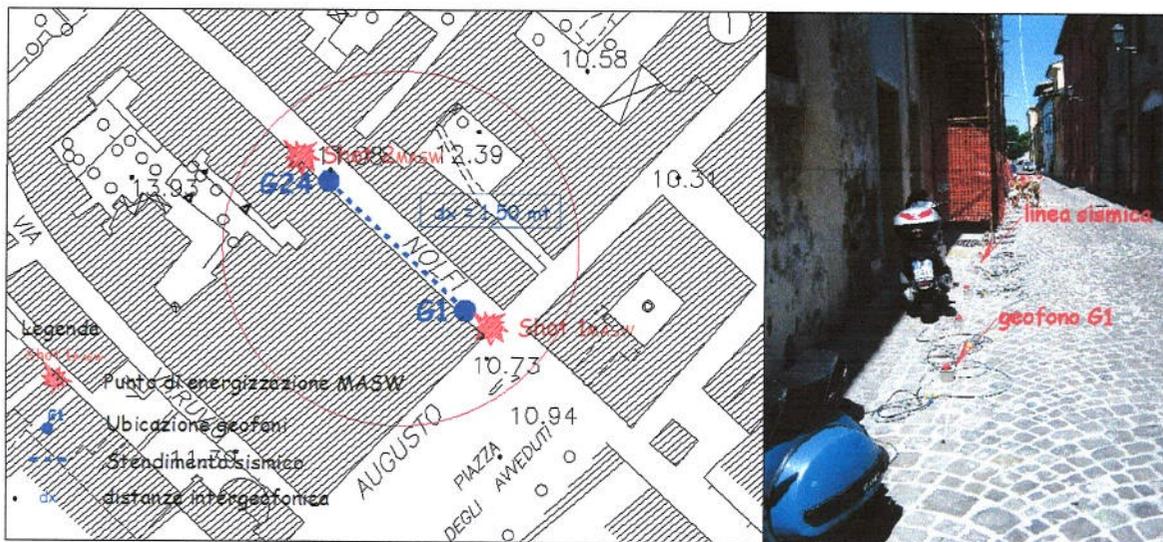
1	PREMESSA	pag. 1
2	INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW	
2.1	<i>Analisi multicanale delle onde superficiali</i>	<i>pag. 1</i>
2.2	<i>Descrizione generale della procedura MASW</i>	<i>pag. 3</i>
2.3	<i>Strumentazione e metodologia di indagine</i>	<i>pag. 3</i>
3	RISULTATI E CONCLUSIONI	
3.1	<i>Classificazione dei terreni di fondazione (Vs30)</i>	<i>pag. 6</i>



1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Sig. Gianfranco Casanova è stata eseguita un'indagine geofisica nell'area interessata dal progetto di ristrutturazione di un fabbricato di civile abitazione sito in via Nolfi n°40 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 dell'intervento in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.M. 14/01/2008".

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

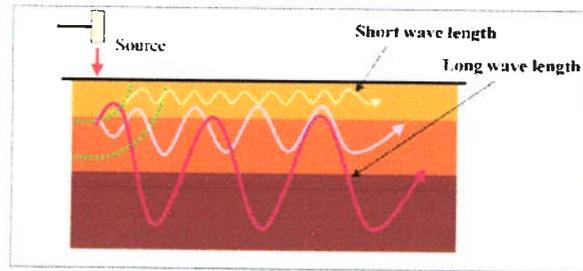


differenti, le onde superficiali presentano un comportamento dispersivo, ossia a frequenza diverse corrispondono diverse velocità di fase. Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati differenti ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione.

Per ottenere un profilo V_s 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 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.

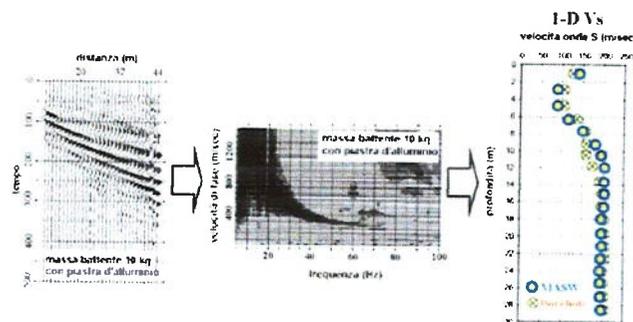


L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione 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.

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



2.3 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

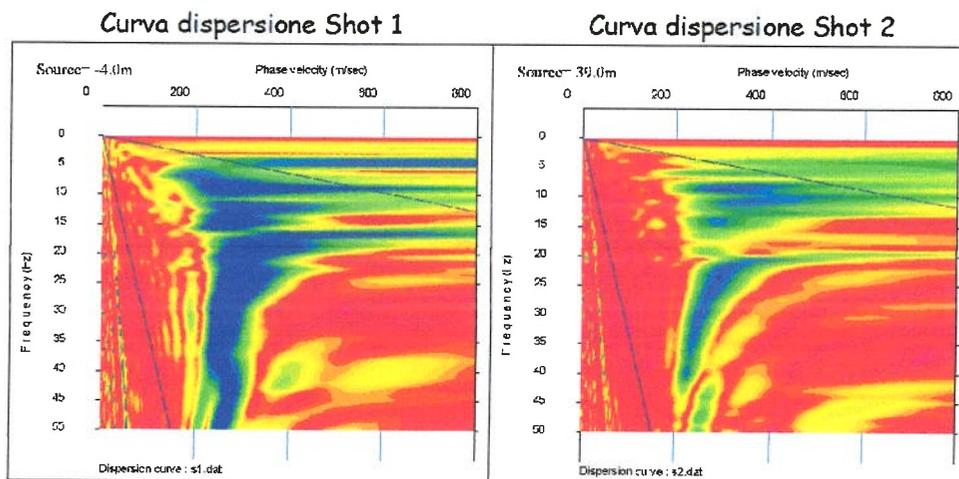


convertitore, 155dB totale). Impedenza d'ingresso: $>100k\Omega$. La trasmissione digitale dei dati consente un'elevata silenziosità e immunità ai rumori.

Per la presente indagine si è adottata una frequenza di campionamento pari a 2000 Hz e una durata dello stesso pari ad 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 1,50 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.

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 shots coniugati posti alle estremità opposte dello stendimento.

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



Le curve di dispersione ottenute, riportate nella figura precedente, risultano fra loro simili confermando quindi l'applicabilità della metodologia MASW; il processo di inversione è stato eseguito sulla curva di dispersione ottenuta dallo Shot 2, posto ad una distanza di 4,50 mt dal geofono G24, 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.

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.

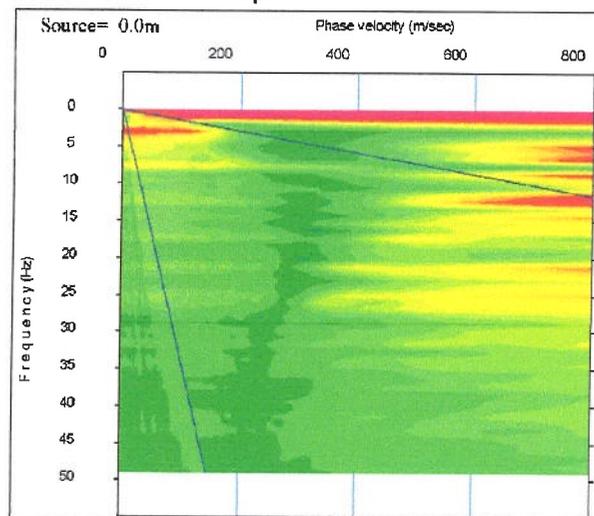
La generazione della perturbazione sismica è avvenuta mediante mazza battente del peso di 8 Kg su piastra metallica. L'istante di tempo zero (segnale di inizio registrazione) viene inviato allo strumento da un sensore di contatto posto all'estremità della mazza usata per energizzare. La morfologia del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

Fase di energizzazione MASW



Sulla stessa stesa geofonica è stata eseguita un'indagine con metodologia ReMi basata sull'analisi dei microtremori, che ha confermato di fatto i risultati della metodologia MASW, come si vede dal confronto degli spettri ottenuti. I dati sono stati registrati con la strumentazione precedentemente indicata effettuando n°10 registrazioni ad intervalli irregolari nell'arco di $\frac{1}{2}$ ora con un lunghezza di ciascuna acquisizione di 30 sec.

Spettro ReMi





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 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:

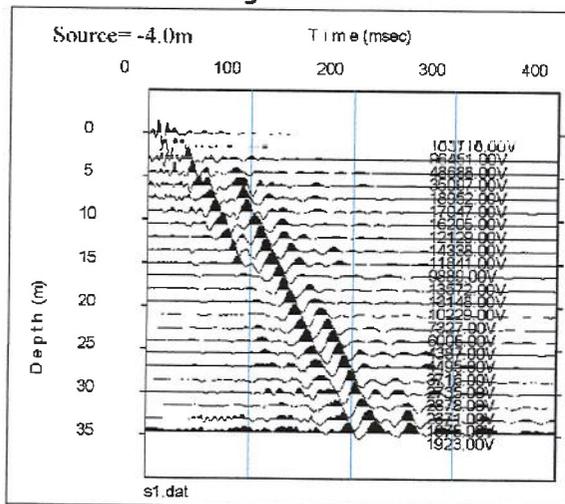
$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$

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.

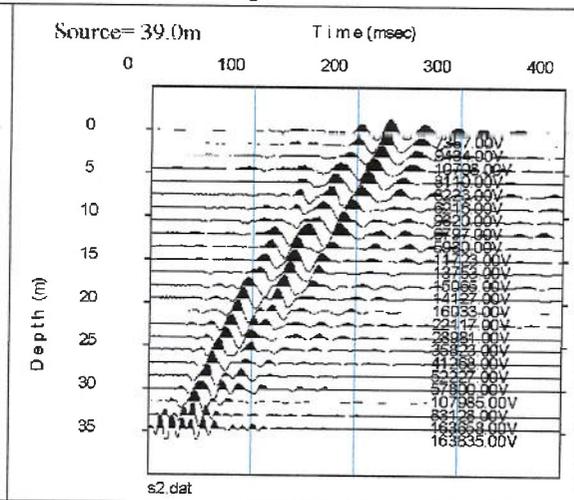
Le diverse fasi di acquisizione ed interpretazione dei dati sismici hanno portato alla creazione dei seguenti elaborati:



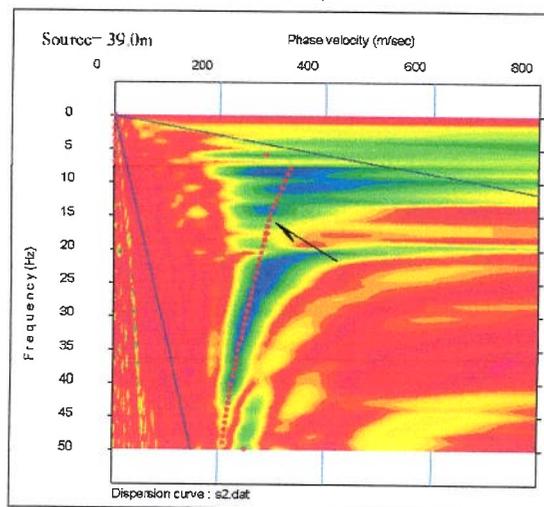
Sismogramma Shot 1



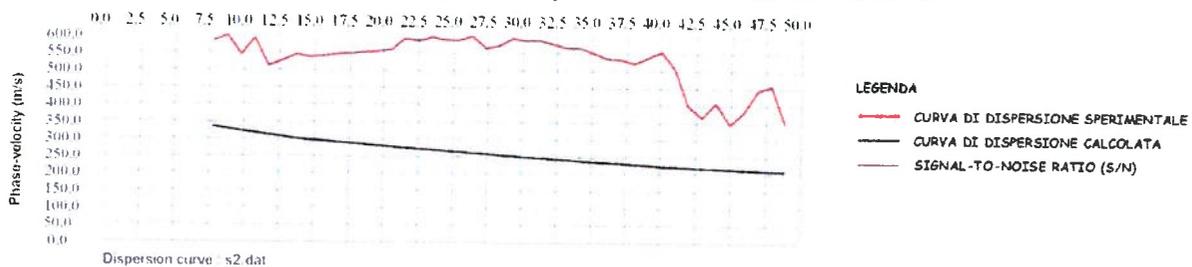
Sismogramma Shot 2



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 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.



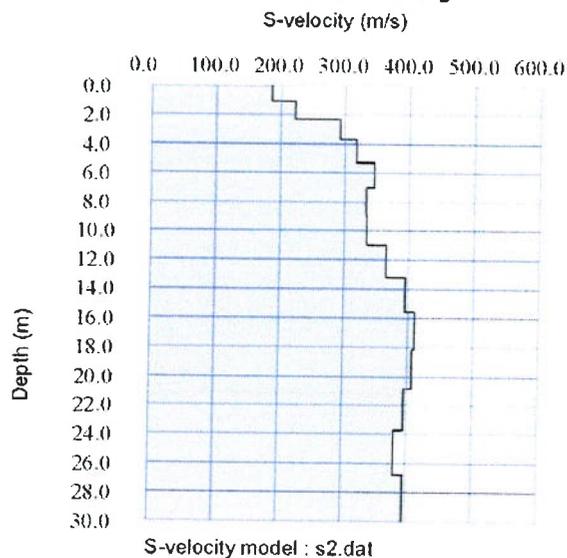
Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs ₃₀ (m/s)
0.00 ÷ 1.07	1,07	186	0,0057	Vs₃₀ = 347 m/s Categoria di sottosuolo "C"
1.07 ÷ 2.31	1,24	224	0,0055	
2.31 ÷ 3.71	1,40	292	0,0048	
3.71 ÷ 5.27	1,57	318	0,0049	
5.27 ÷ 7.01	1,73	345	0,0050	
7.01 ÷ 8.90	1,90	334	0,0057	
8.90 ÷ 10.96	2,06	335	0,0062	
10.96 ÷ 13.19	2,23	365	0,0061	
13.19 ÷ 15.58	2,39	395	0,0060	
15.58 ÷ 18.13	2,55	410	0,0062	
18.13 ÷ 20.85	2,72	407	0,0067	
20.85 ÷ 23.74	2,88	396	0,0073	
23.74 ÷ 26.79	3,05	380	0,0080	
26.79 ÷ 30.00	3,21	394	0,0082	

$$\Sigma hi/Vi = 0,0864$$

Alla luce di quanto precedentemente esposto, i terreni di fondazione del sito oggetto di indagine risultano attribuibili alla categoria di sottosuolo C, come si evince dalla tabella 3.2.II delle N.T.C. 2008.

C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs₃₀ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 ≤ N_{SP30} ≤ 50 nei terreni a grana grossa e 70 ≤ c_{u,30} ≤ 250 kPa nei terreni a grana fina).</i>
----------	---

Profilo verticale delle onde di taglio - Shot 2





Dal profilo verticale monodimensionale delle Vs sopra riportato si evince la presenza di un discreto incremento della velocità di propagazione delle onde di taglio rilevabile alla profondità di 2,00 circa dal p.c ed uno, meno netto, nell'intervallo compreso tra 11,00 e 13,00 mt circa dal p.c.; a partire da quest'ultima quota il parametro Vs assume valori pressoché costanti sino alle profondità indagate.

Sassoferrato, 21 luglio 2010



I Responsabili della prova

