


<p>COMUNE DI FANO</p> <p>PROVINCIA DI PESARO E URBINO</p>	
OGGETTO:	<p>RICHIESTA DI VARIANTE NON SOSTANZIALE AL PRG DEL TERRENO SITO NEL COMUNE DI FANO –                  LOC. TORRETTE, VIA BUONINCONTRI</p>
COMMITTENTE:	<p>ACQUA MUNDI S.r.l                  P.IVA 09363670960</p>
UBICAZIONE:	<p>Località Torrette via Buonincontri - Fano                  Foglio 109 mappale 396</p>
ELABORATO:	<p><i>RELAZIONE GEOLOGICA</i></p>
	<p>17/11/2025</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><i>DOTT. GEOL. LAURA PELONGHINI</i>                  Via Mario Morosi 24 - FANO (PU)                  tel. 0721/826847 cell 347/3212936                  e-mail: laura.pelonghini@gmail.com                  C.F. PLN LRA 71H63 D488K                  P.IVA 01437530411</p>

## **1. PREMESSA**

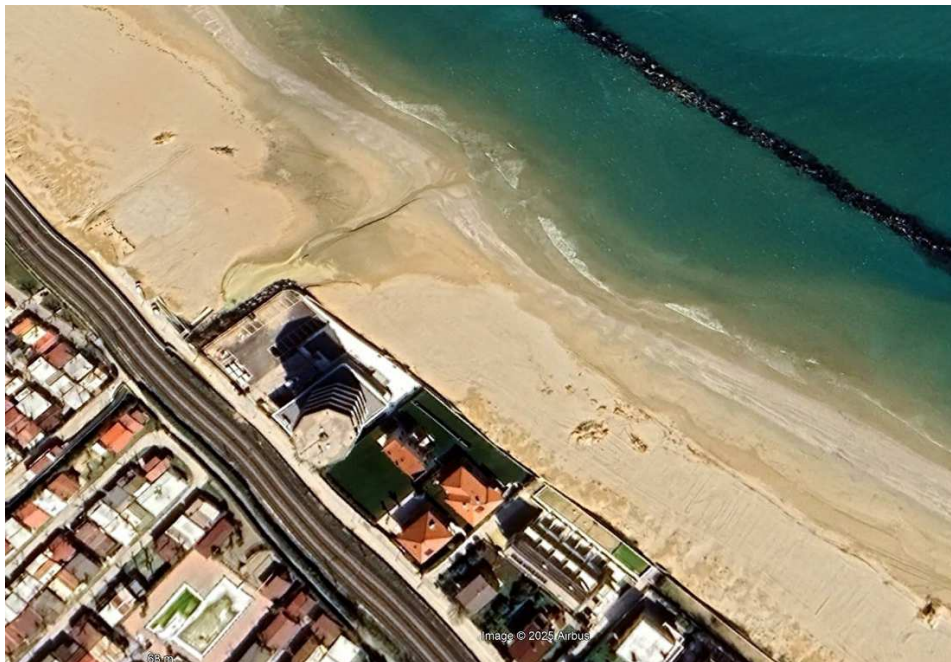
Su incarico della ditta ACQUA MUNDI srl, in conformità alle normative tecniche dettate dal D.M. 17/01/2018, è stata redatta una relazione geologica relativa alla richiesta di variante non sostanziale al PRG del terreno sito in comune di Fano in località Torrette via Buonincontri.

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 e la tipologia dell’intervento previsto, si è ritenuto di poter fornire un adeguato quadro di sintesi del modello geologico utilizzando ricostruzioni stratigrafiche ottenute con indagini in lotti limitrofi.



**Descrizione della variante**

Il terreno in oggetto è censito al Catasto Terreni del Comune di Fano al Foglio 109, Mappale 396. Il terreno, di superficie pari a mq 431.00, confina con via Buonincontri, con la società Tecno 2 Sas (ex Hotel Playa) e con varie proprietà del Dott. Francesco Milleri, salvo altri. La proprietà della società Acqua Mundi S.r.l appartiene alla famiglia del Dott. Francesco Milleri, già proprietaria delle tre aree confinanti con il lotto in questione.

In base al vigente P.R.G. il sito ad oggi ricade in zona D5 – “Zone a carattere turistico-alberghiero esistenti” di cui all’Art. 47 delle N.T.A.

L’area in oggetto ricade all’interno dei seguenti vincoli e fasce di rispetto:

- nella zona V9 – “Fasce di rispetto per ferrovia” di cui all’Art. 86 delle N.T.A.
- all’interno della “Fascia di rispetto GIZC Tr20”
- nella “zona dei 30 metri” dal demanio marittimo
- nella “zona dei 100 metri” dal demanio marittimo

Con DCC 189/2023 è stato adottato in nuovo P.R.G. 2023 che individua il sito in zona D3 – “Zone a carattere turistico - alberghiero “di cui all’art. 30 delle N.T.A.

Dall’esame degli elaborati del P.R.G., l’area risulta classificata con destinazione D3 – strutture turistico-alberghiere.

Al momento, l’area non appartiene né rientra nel lotto connesso alla struttura alberghiera confinante, ma congiunta alle abitazioni residenziali attigue, di cui costituisce spazio esterno, facenti capo alla medesima proprietà.

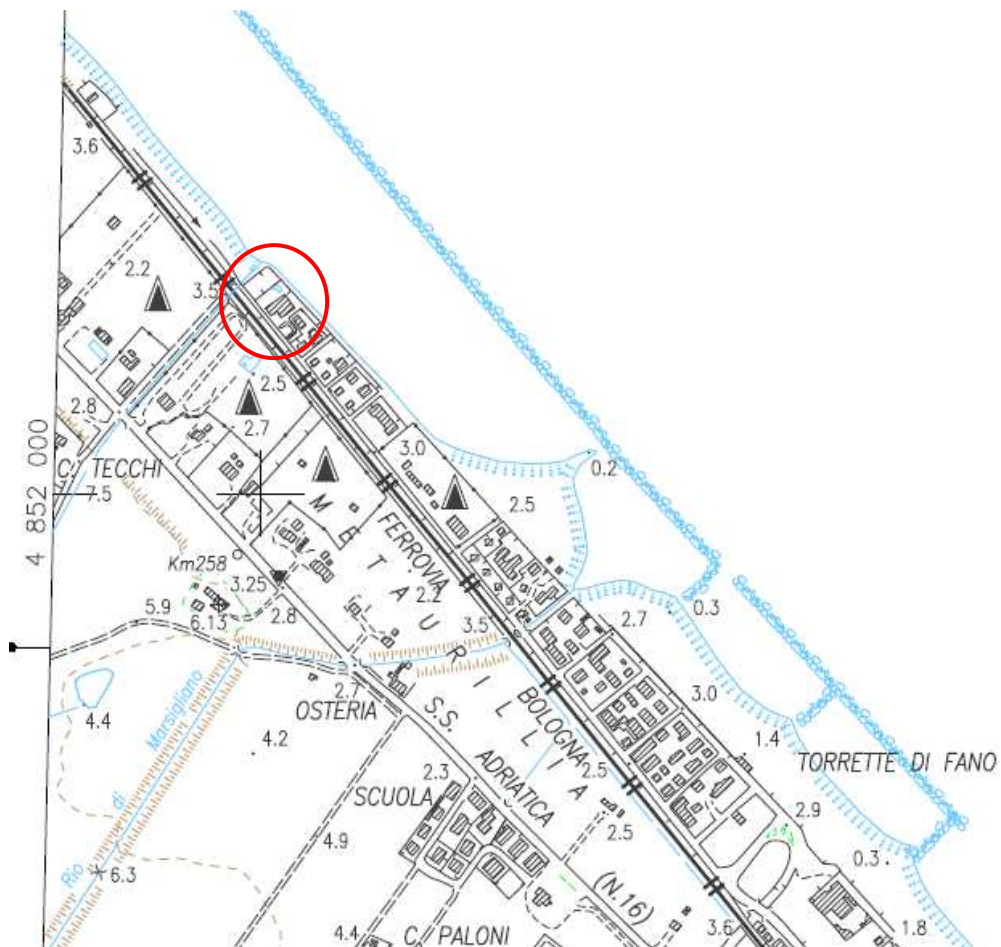
Si intende quindi modificare la destinazione urbanistica dell’area sopra indicata, attualmente classificata come zona a carattere turistico–alberghiero, attribuendole la destinazione di verde privato di pertinenza alle abitazioni adiacenti.

L’area sarà posta a servizio delle tre unità immobiliari limitrofe, tutte di proprietà del medesimo soggetto, delle quali costituirà pertinenza esclusiva e spazio esterno di uso privato, funzionalmente connesso alle stesse, riducendo il potenziale edificatorio.

## 2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO

### Topografia

L'area in oggetto risulta ubicata ai limiti sud est del comune di Fano in un'area di spiaggia attuale ed è posta ad una quota topografica di 3 mt. circa s.l.m.m., come rappresentato nella allegata corografia ortofotogrammetrica, a scala 1 :10.000, REGIONE MARCHE, foglio 269 (FANO) sez. n° 269140 - "METAURILIA"



Carta Tecnica Regionale – sez. 269140 "Metaurilia"

### **Geologia e geomorfologia**

Geologicamente l'area in studio insiste su depositi litoranei. Le alluvioni terrazzate si presentano con notevoli spessori ben superiori a 30 m. Al di sotto delle coperture alluvionali si trova il substrato geologico ascrivibile alla formazione del Pliocene inferiore. La Formazione del Pliocene inferiore è costituita da argille marnose azzurre con sabbie ed arenarie talora debolmente cementate.

Queste formazioni si sono formate nell'Avanfossa marchigiana, un bacino di sedimentazione subsidente situato sul bordo esterno della catena in corrugamento, il quale è migrato nel tempo da SW a NE, contemporaneamente allo spostamento nella stessa direzione della deformazione della catena; in questo suo movimento l'avanfossa è stata progressivamente colmata da sedimenti via via più giovani procedendo verso est. Questi sono costituiti principalmente come sopra riportato da torbiditi silicoclastiche di età miocenica e da sabbie e argille plioceniche. A questi sedimenti si intercalano i depositi evaporitici del Messiniano.

Le intercalazioni sabbiose del Pliocene inf. proprio per questo motivo presentano la forma di enormi lenti molto allungate secondo NW-SE e che si chiudono rapidamente verso NE.

Le formazioni Plio-Pleistoceniche sono caratterizzate da assetto strutturale sub orizzontale o monoclinale, immergente verso NE e N con inclinazione variabile, in modo tale che la direzione degli strati risulta obliqua alla costa adriatica (Cancelli et al,1984).

La diminuzione di profondità dell'antico mare, iniziata generalmente verso la fine del Pliocene inferiore (almeno in destra del Metauro) è stata abbastanza graduale, quindi, con ogni probabilità la regione compresa fra i fiumi Conca e Metauro deve essere definitivamente emersa poco dopo l'inizio del Pliocene medio.

Mancano, nell'intorno significativo dell'area in esame, particolari strutture tettoniche o assetti strutturali degni di nota.

Dal punto di vista morfologico i depositi litoranei sono costituiti da costa bassa a morfologia ghiaiosa su cui sono presenti numerosi fattori di variabilità soprattutto di origine antropica, quali scogliere emerse e soffolte, pennelli, moli portuali e barriere radenti che, insieme agli effetti dell'urbanizzazione, arrivata talora fino a pochi metri dalla linea di riva, alle alterazioni dell'equilibrio idrogeologico che ne consegue, hanno implicato una notevole modificazione di tutto il litorale.

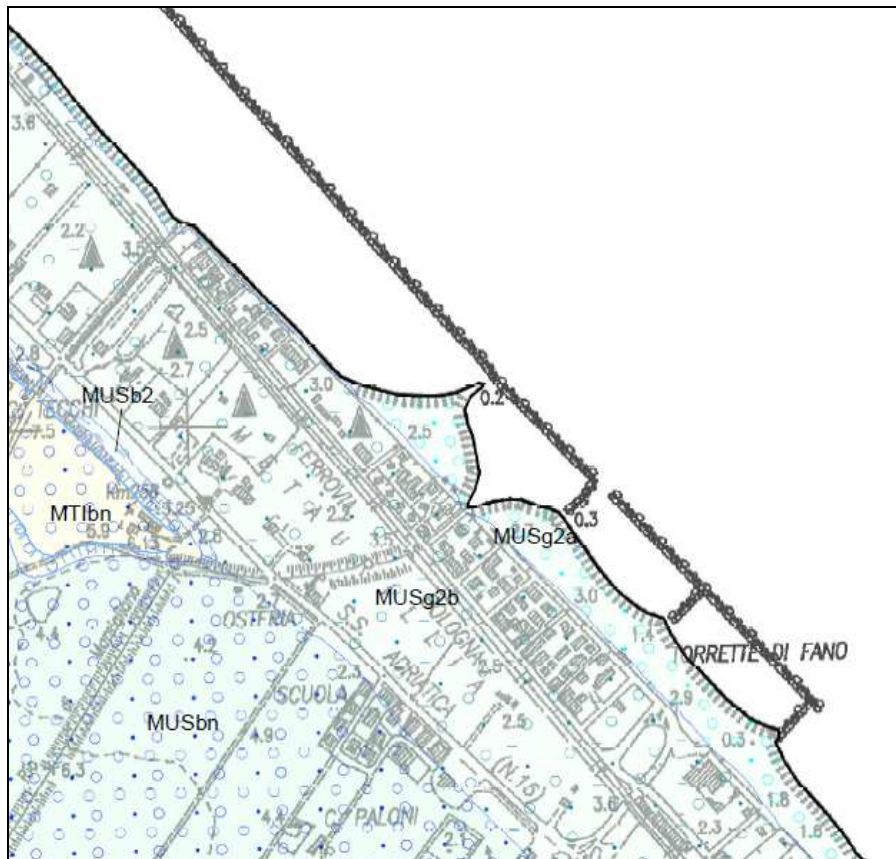
La foce del fiume Metauro, al quale è imputata la composizione geomorfologia della spiaggia e le cui dinamiche influenzano direttamente quelle del litorale stesso, ha forma tricuspide e si presenta in maniera più o meno irregolare con l'ala sinistra più sviluppata della destra, il che dimostra la dipendenza dell'assetto della foce dalle dinamiche costiere. La componente marina infatti fa sì che i materiali alluvionali sollecitati dalla traversia prevalente vengano trascinati verso nord (Buli e Ortolani, 1947).

La geomorfologia della spiaggia è subordinata pertanto a due fattori principali: quello fluviale e quello marino. Il primo provvede all'apporto dei materiali, il secondo alla distribuzione e al relativo assetto degli stessi lungo le spiagge. La costituzione dei materiali di spiaggia è quindi strettamente legato al regime torrentizio del fiume Metauro come del resto la natura fisica dei materiali fluviali apportati.

Le grandi portate autunnali e primaverili, la forte pendenza anche nel tratto terminale fanno sì che nei periodi di morbida il fiume trasporti a mare le ghiaie trascinate dalla corrente fluviale che verranno poi ridistribuite lungo il litorale. La spiaggia, nel tratto di costa in oggetto, si presenta costituita per tutta la sua larghezza da una successione di dossi sabbiosi ghiaiosi paralleli tra loro che segnano le varie fasi della costruzione deltizia.

Nello specifico l'area appartiene ad una situazione di spiaggia attuale che risente dell'azione marina e della dinamica costiera. Le acque di ruscellamento superficiale risultano essere nella totalità afferenti al mare. La posizione della superficie freatica è valutata in -1,0/-1,4 m dal piano campagna.

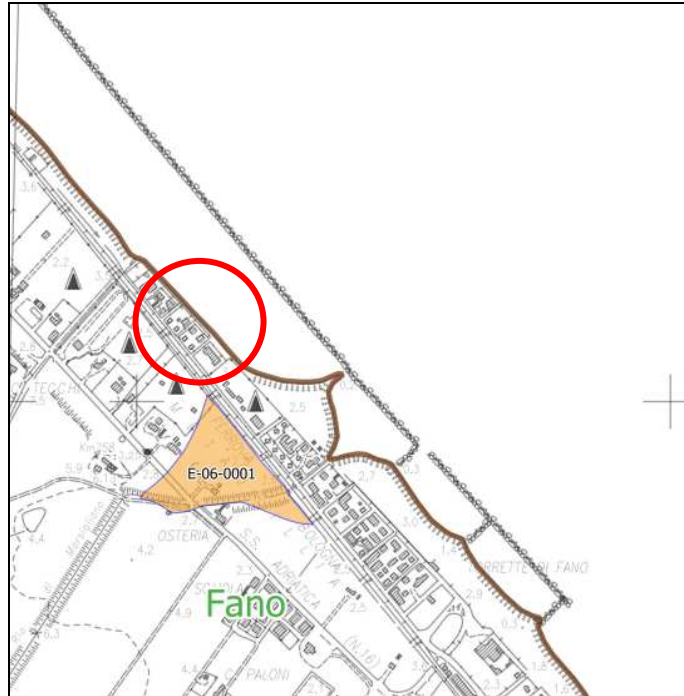
**STRALCIO CARTA GEOLOGICA REGIONALE**  
**Sezione 269140 "Metaurilia"**



MUSg2a Depositi di spiaggia attuale  
ghiaie e sabbie in proporzioni variabili

**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 come testimoniato dallo stralcio cartografico RI\_7b

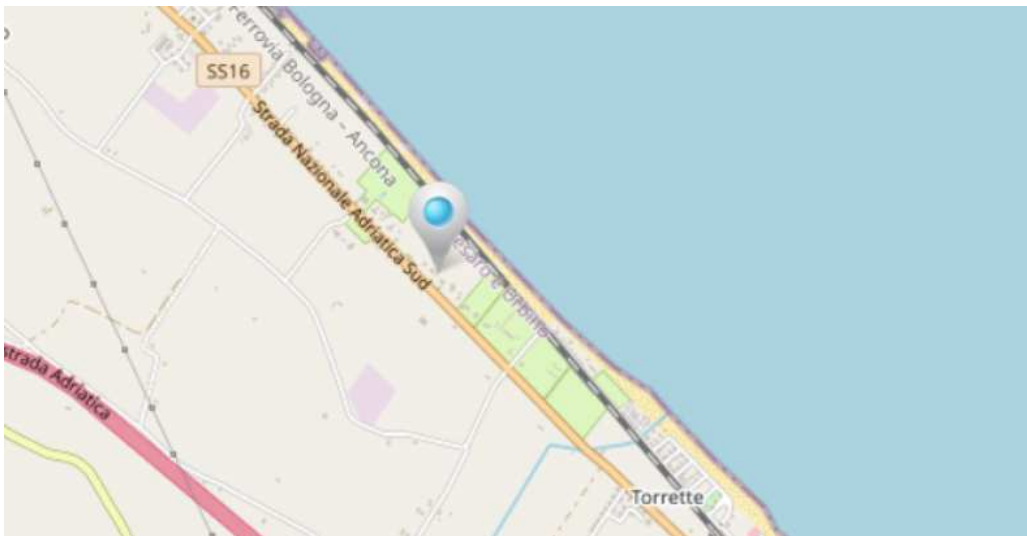


Stralcio PAI

### 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 dall'esame di una prova penetrometrica eseguita a monte della ferrovia reperita sul database nazionale di microzonazione sismica (<https://www.webms.it/>).



#### Stratigrafia

Viene di seguito descritta l'indagine:

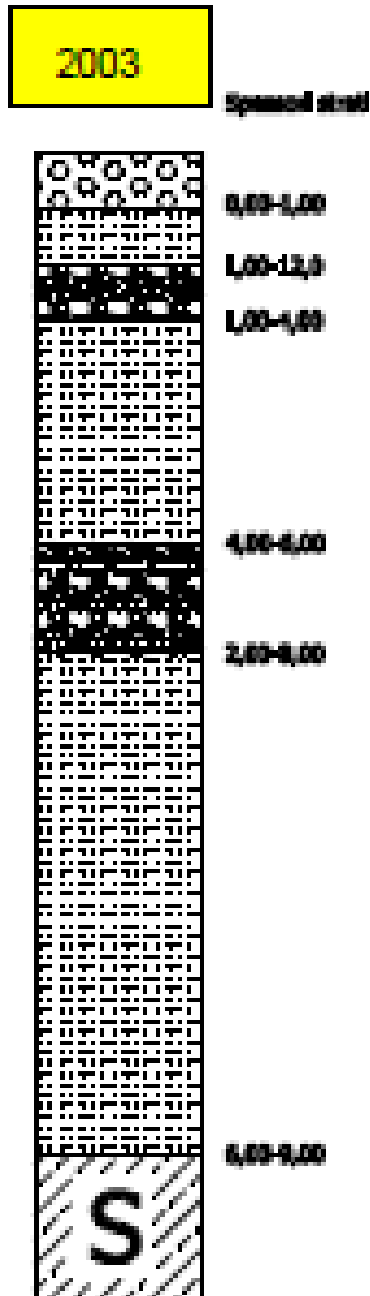
<b>PROVA PENETROMETRICA DPSH</b>
----------------------------------

<b>da 0.0 mt. a 1.4 mt.</b>	Sabbie e sabbie limose sciolte caratterizzata da un aumento della componente sabbiosa in profondità.
<b>da 1.4 mt. a 2.2 mt.</b>	Litologia sabbioso ghiaiosa caratterizzata da un grado d'addensamento piuttosto uniforme, la parte più superficiale dell'intervallo è attribuibile ad una paleo linea di costa.
<b>da 2.2 mt. a 4.0 mt.</b>	Limo sabbioso passante a sabbia limosa in profondità.
<b>da 4.0 mt. a 5.2 mt.</b>	Sabbie e ghiaie.

Più propriamente nella zona d'interesse prevalgono coperture sabbiose con livelli limoso sabbiosi con inclusioni ghiaiose dovute alla maggior energia deposizionale del mare.

Con tutta probabilità al di sotto della coltre superficiale, localmente, possono essere presente grossi massi dovuti alla vecchia protezione della linea ferroviaria che, con l'azione di trasporto operata dal mare, allo stato attuale risultano sommersi dalla copertura sabbiosa.

La quota della falda è da intendersi a -1,0/-1,4 m dal piano campagna.



Ricostruzione del modello geologico dalle indagini di microzonazione sismica

#### 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 eseguita in prossimità del sito in studio: l'ubicazione della prova considerata è in un'area di spiaggia con litologie presentanti le medesime caratteristiche geomeccaniche e con la quota della falda posizionata a profondità analoghe.

Il rapporto completo di prova viene allegato a fine elaborato.



##### Documentazione fotografica



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

L'interpretazione geofisica individua il modello geofisico dell'area distinguendo le unità geofisiche, a cui si associano intervalli di valore di Vp e Vs e dei relativi parametri elastici.

La velocità delle onde di massa dipende dai parametri elastici dei mezzi attraversati che sono a loro volta influenzati da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, ecc.. Una corretta determinazione della velocità delle onde di massa (Vp e Vs) consente quindi di ricavare i moduli elastici dinamici che caratterizzano il mezzo in cui si propaga la perturbazione ed ottenere informazioni circa la sua natura e il tipo di risposta alle sollecitazioni dinamiche.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di caratterizzare al meglio l'area d'indagine.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h<sub>i</sub> spessore dell'i-esimo strato;

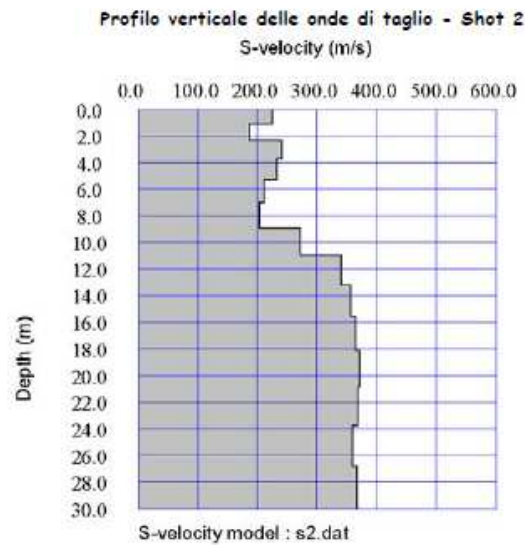
V<sub>S,i</sub> velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

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

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

Dal profilo verticale monodimensionale delle Vs sotto riportato si evince la presenza di un discreto incremento della velocità di propagazione delle onde di taglio rilevabile nell'intervallo di profondità compreso tra 9,00 e 11,00 mt circa dal p.c, oltre il quale il parametro Vs assume valori pressoché costanti sino alle profondità indagate



Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs <sub>30</sub> (m/s)
0.00 ÷ 1.07	1,07	225	0,0048	Vs <sub>30</sub> = 295 m/s  Categoria di sottosuolo "C"
1.07 ÷ 2.31	1,24	187	0,0066	
2.31 ÷ 3.71	1,40	241	0,0058	
3.71 ÷ 5.27	1,57	233	0,0067	
5.27 ÷ 7.01	1,73	211	0,0082	
7.01 ÷ 8.90	1,90	202	0,0094	
8.90 ÷ 10.96	2,06	273	0,0075	
10.96 ÷ 13.19	2,23	341	0,0065	
13.19 ÷ 15.58	2,39	356	0,0067	
15.58 ÷ 18.13	2,55	365	0,0070	
18.13 ÷ 20.85	2,72	372	0,0073	
20.85 ÷ 23.74	2,88	369	0,0078	
23.74 ÷ 26.79	3,05	360	0,0085	
26.79 ÷ 30.00	3,21	367	0,0088	

Σhi/Vi = 0,1016

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 C**.

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.

## **5. CONCLUSIONI**

La richiesta a cui si accompagna il presente elaborato è la richiesta di una variante al PRG sia vigente che adottato, per modificare la destinazione di un'area da Zona a carattere turistico - alberghiero a zona a verde privato.

Vista la tipologia di intervento, che interessa un'area di immediato retro spiaggia, per la caratterizzazione dei terreni presenti, per la definizione del modello geologico, si è così fatto riferimento ad un'indagine eseguita in prossimità del lotto e ad un rilievo di superficie.

Le indagini e i rilievi hanno permesso di stabilire come nella zona d'interesse prevalgono coperture sabbiose con livelli limoso sabbiosi con inclusioni ghiaiose dovute alla maggior energia deposizionale del mare.

La quota della falda è da intendersi a -1,0/-1,4 m dal piano campagna.

La prova sismica ha restituito una classificazione di tipo C del sottosuolo.

In relazione ai dati emersi nel corso dell'elaborazione dei risultati ottenuti dal rilievo diretto di campagna e dalle indagini esaminate non sono state individuate problematiche particolari ai fini della conclusione positiva della richiesta di variante considerando che si andrà a diminuire l'indice edificatoria e non si apporterà alcun aumento di carico urbanistico.

Per quanto concerne gli obblighi dettati dalla D.G.R. n. 53 del 27/01/2014 il sito non è sottoposto a tali obblighi in quanto trattasi di mantenimento di superficie permeabile.

Fano, 17/11/2025

Geol. Laura Pelonghini


**MICROZONAZIONE SISMICA**  
**CARTA DELLE INDAGINI**
**INDAGINE**  
**PUNTUALE**  
 versione 1.0

**Sito puntuale**

Identificazione	Chiave primaria 32	Provincia 041	Comune 013	Identificazione sito 041013P32
Ubicazione	Indirizzo LOC.MATAURILIA DI FANO			Latitudine 4852440
	Longitudine 345588			Identificativo della modalità 269130
Quota	Modalità utilizzata per identificare le coordinate CTR010		Identificativo della modalità 269130	
Varie	Quota sul livello del mare (metri) 2.0	Modalità utilizzata per identificare la quota del piano campagna CTR010		
	Data	Note		

**Indagine puntuale**

Identificativo	Chiave primaria 32	Classe dell'indagine GS	Tipo d'indagine DP	
	Identificativo indagine 041013P32DP32			
Tracciabilità	Precedente identificativo DPSH1	Nome precedente archivio COMUNE DI FANO		
	Note			
Quota/spessore	Profondità del top (m) 0.0	Profondità del bottom (m) 6.2	Spessore complessivo (m) 6.2	
	Quota del top (m) 2.0	Quota del bottom (m) -4.2		
Varie	Data	Pagina	Documento	

**Parametri puntuali**

Identificativo	Chiave primaria 94	Tipologia del parametro F1	Identificativo misura 041013P32DP32F194	
Quota/spessore	Profondità del top (m) 1.0	Profondità del bottom (m) 2.4	Spessore del livello (m) 1.4	
	Quota del top (m) 1.0	Quota del bottom (m) 0.4		
Valore	Valore 27	Attendibilità della misura 2	Tabella valori	
Varie	Note	Data		

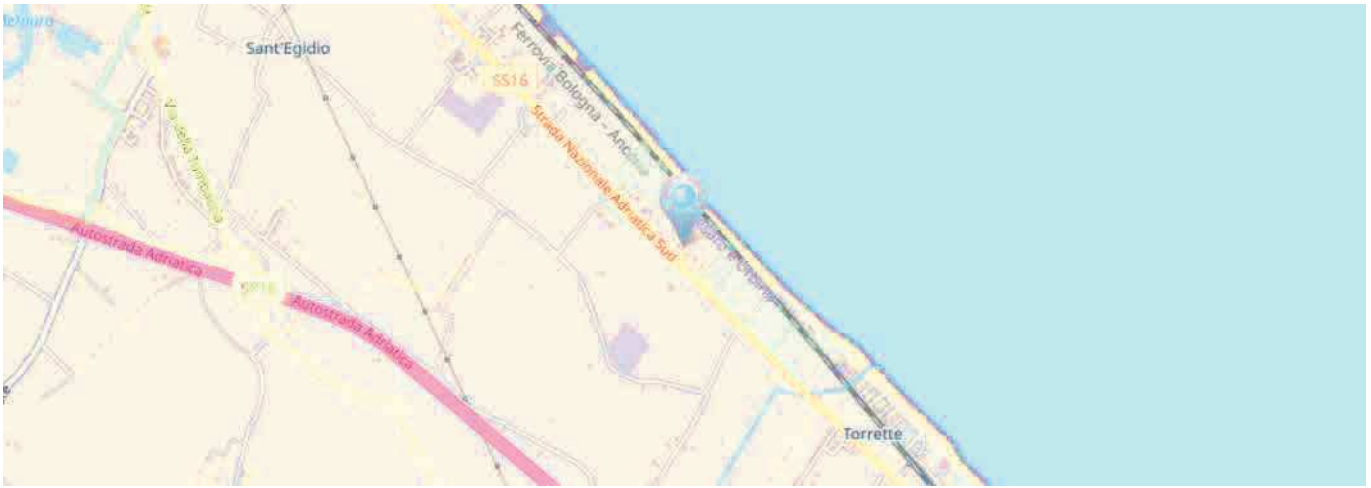
Identificativo	Chiave primaria 95	Tipologia del parametro F1	Identificativo misura 041013P32DP32F195	
Quota/spessore	Profondità del top (m) 2.4	Profondità del bottom (m) 3.2	Spessore del livello (m) 0.8	
	Quota del top (m) -0.4	Quota del bottom (m) -1.2		
Valore	Valore 32	Attendibilità della misura 2	Tabella valori	
Varie	Note	Data		

Identificativo	Chiave primaria 96	Tipologia del parametro F1	Identificativo misura 041013P32DP32F196	
Quota/spessore	Profondità del top (m) 3.2	Profondità del bottom (m) 5.0	Spessore del livello (m) 1.8	
	Quota del top (m) -1.2	Quota del bottom (m) -3.0		
Valore	Valore 25	Attendibilità della misura 2	Tabella valori	
Varie	Note	Data		

Identificativo	Chiave primaria 97	Tipologia del parametro F1	Identificativo misura 041013P32DP32F197	
Quota/spessore	Profondità del top (m) 5.0	Profondità del bottom (m) 5.8	Spessore del livello (m) 0.8	
	Quota del top (m) -3.0	Quota del bottom (m) -3.8		
Valore	Valore 28	Attendibilità della misura 2	Tabella valori	
Varie	Note	Data		

Identificativo	Chiave primaria 98	Tipologia del parametro F1	Identificativo misura 041013P32DP32F198	
Quota/spessore	Profondità del top (m) 5.8	Profondità del bottom (m) 6.2	Spessore del livello (m) 0.4	
	Quota del top (m) -3.8	Quota del bottom (m) -4.2		
Valore	Valore 28	Attendibilità della misura 2	Tabella valori	

Comune di Fano Prot.0112233-24/11/2025-c\_d488-PG-0629-00060001-A 0641-0643



Comune di Fano Prot.0112233-24/11/2025-c\_d488-PG-0629-00060001-A 0641-0643



**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](mailto:SERVIZISISMICI@HOTMAIL.IT)

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

**COMMITTENTE: DOTT. GEOL. LAURA PELONGHINI**

**INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW ESEGUITA  
NELL'AREA INTERESSATA DAL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE  
CON AMPLIAMENTO DELL'HOTEL CARAVEL SITO IN  
VIA FAA' DI BRUNO NEL COMUNE DI FANO (PU)**



Sassoferrato, 8 novembre 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 CON  
AMPLIAMENTO DELL'HOTEL CARAVEL SITO IN VIA FAA' DI BRUNO  
NEL COMUNE DI FANO (PU)

INDICE

1	<i>PREMESSA</i>	<i>pag. 1</i>
2	<i>INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW</i>	
	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. 4</i>
3	<i>RISULTATI E CONCLUSIONI</i>	
	3.1 <i>Classificazione dei terreni di fondazione (Vs30)</i>	<i>pag. 6</i>



## 1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Dott. Geol. Laura Pelonghini è stata eseguita un'indagine geofisica nell'area interessata dal progetto di ristrutturazione con ampliamento dell'Hotel Caravel sito in via Faà di Bruno 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



Documentazione fotografica



## 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'interazione 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.

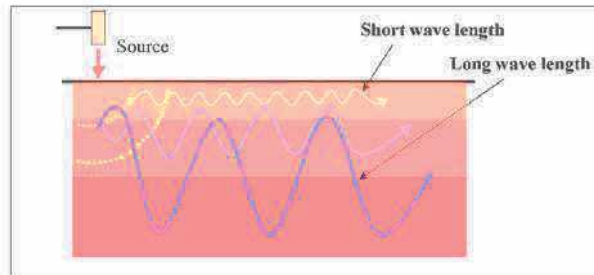
Per ottenere un profilo  $V_s$  bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di *processing* che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase 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.

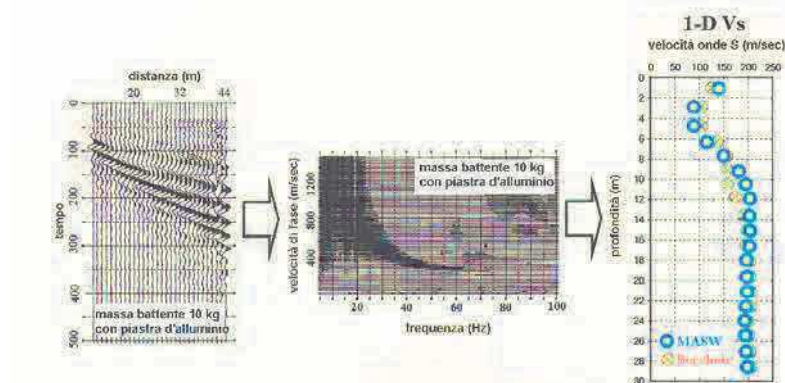


L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione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





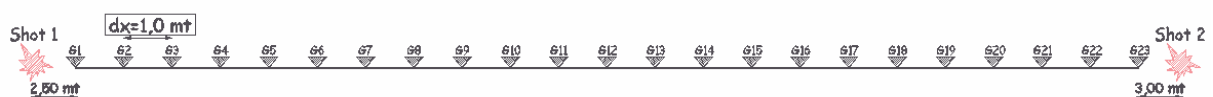
### 2.3 Strumentazione e metodologia di indagine

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 23 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati con interdistanza geofonica di 1,00 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. La scelta del numero dei ricevitori e della configurazione geometrica dello stendimento è stata dettata dalle condizioni logistiche del cantiere.

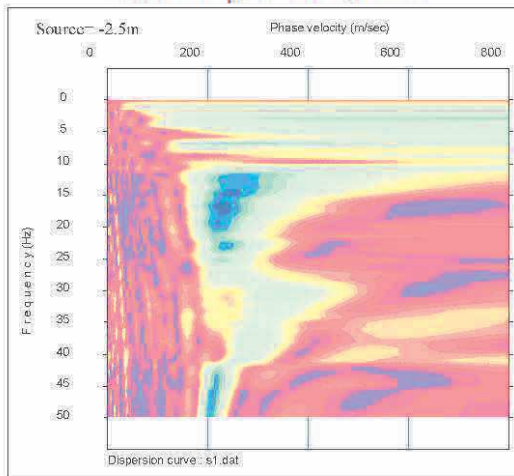
I fondamenti teorici della metodologia MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali; pertanto una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a  $15^{\circ}$ - $20^{\circ}$  sia della topografia 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:

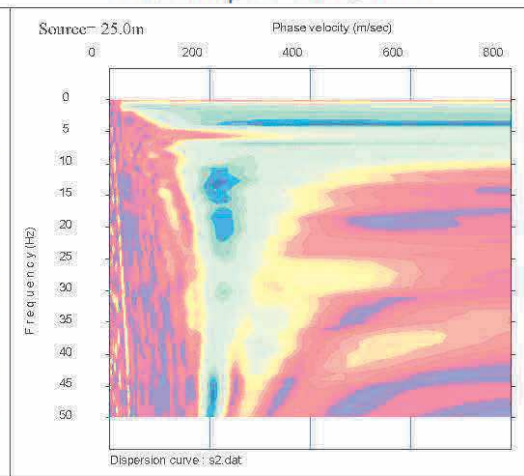




Curva dispersione Shot 1



Curva dispersione Shot 2

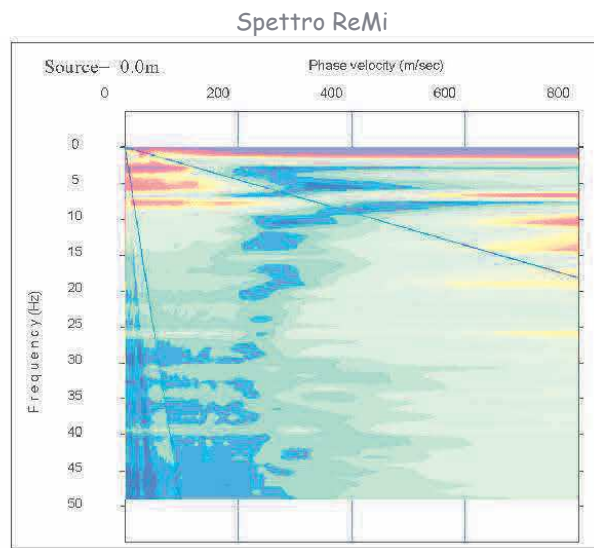


Le curve di dispersione ottenute, riportate nella figura precedente, risultano fra loro simili confermando quindi l'applicabilità della metodologia MASW; il processo di inversione è stato eseguito sulla curva di dispersione ottenuta dallo Shot 2, posto ad una distanza di 3,00 mt dal geofono G23, meglio 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.

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.



### 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 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  $\gamma$  rappresenta la densità del corpo e  $\mu$  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



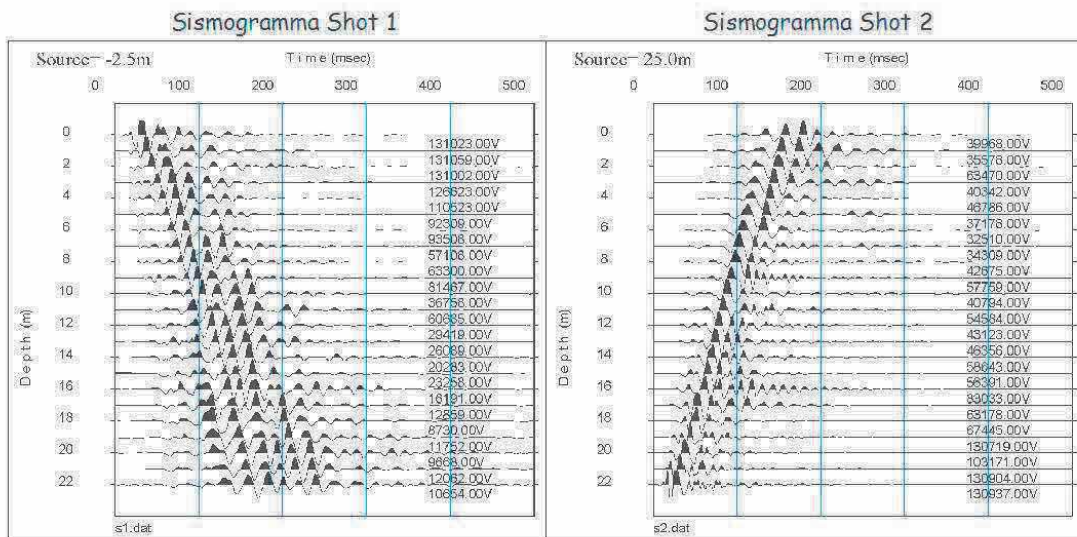
litificazione, la porosità, la tessitura, il grado alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, la profondità, ecc.

Con  $V_{S30}$  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:

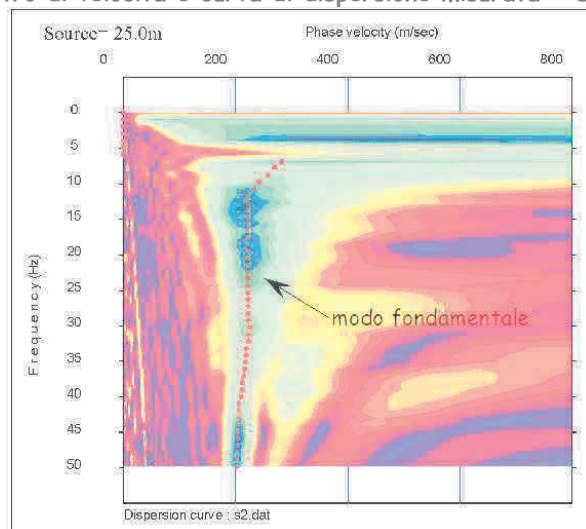
$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

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 interpretazione dei dati sismici hanno portato alla creazione dei seguenti elaborati:

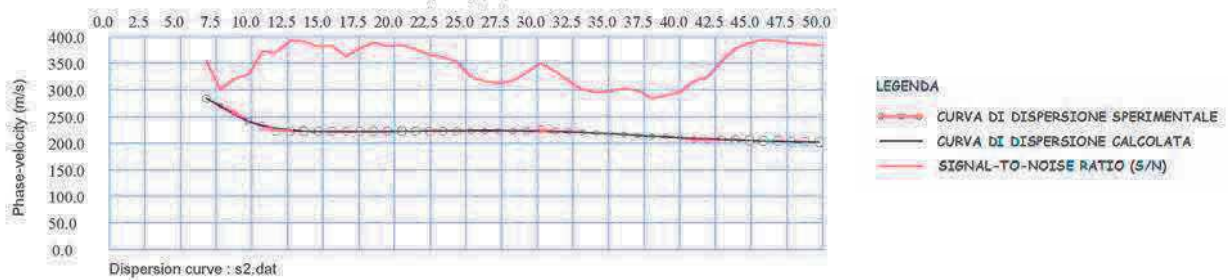


Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 2





Curva di dispersione sperimentale e calcolata - Shot 2



Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore  $V_{s30}$  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)	$h_i$ (mt)	$V_i$ (m/s)	$h_i/V_i$	$V_{s30}$ (m/s)
0.00 ÷ 1.07	1,07	225	0,0048	$V_{s30} = 295$ m/s  Categoria di sottosuolo "C"
1.07 ÷ 2.31	1,24	187	0,0066	
2.31 ÷ 3.71	1,40	241	0,0058	
3.71 ÷ 5.27	1,57	233	0,0067	
5.27 ÷ 7.01	1,73	211	0,0082	
7.01 ÷ 8.90	1,90	202	0,0094	
8.90 ÷ 10.96	2,06	273	0,0075	
10.96 ÷ 13.19	2,23	341	0,0065	
13.19 ÷ 15.58	2,39	356	0,0067	
15.58 ÷ 18.13	2,55	365	0,0070	
18.13 ÷ 20.85	2,72	372	0,0073	
20.85 ÷ 23.74	2,88	369	0,0078	
23.74 ÷ 26.79	3,05	360	0,0085	
26.79 ÷ 30.00	3,21	367	0,0088	

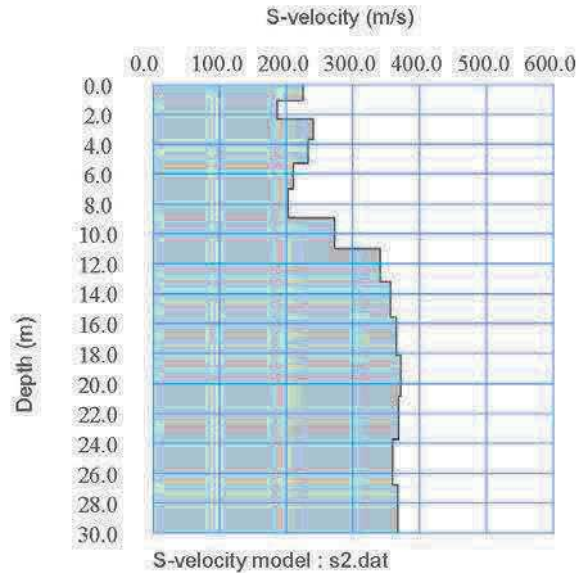
$$\Sigma h_i/V_i = 0,1016$$

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 <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> 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 nell'intervallo di profondità compreso tra 9,00 e 11,00 mt circa dal p.c, oltre il quale il parametro Vs assume valori pressoché costanti sino alle profondità indagate.

Sassoferrato, 8 novembre 2010

I Responsabili della prova

