

## PROGETTO ESECUTIVO N°2935

### REALIZZAZIONE DELLE OPERE A VERDE IN CORRISPONDENZA DELLA SPONDA DEL CANALE DI CALMA DI PRA'

#### RELAZIONE GEOLOGICA

"CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO" AI SENSI  
DELL'ART. 6.2.1. del D.M. 14. 01.08 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"

	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO:	
Rev. 1	GENNAIO 2019	Seconda emissione		
Rev. 0	OTTOBRE 2018	Prima emissione		
<u>Progettisti interni:</u>		<u>Progettisti esterni:</u>		
Arch. Mariantonietta Tatti Geom. Giuseppe Di Luca		Dott. Geol. Massimiliano Testa		
PROGETTISTA RESPONSABILE		VERIFICATO	VALIDATO Il Responsabile Unico del Procedimento:	VISTO Il Direttore Tecnico
Dott. Arch. Mariantonietta TATTI		Dott. Ing. Erica TORRE	Dott. Geol. Giuseppe Canepa	Dott. Ing. Flavio DESTEFANIS

## **SOMMARIO**

- 1. PREMESSA**
- 2. ESAME DELLA DOCUMENTAZIONE E DELLA CARTOGRAFIA DISPONIBILE**
- 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE**
- 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO DELLA ZONA**
- 5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELLA ZONA**
- 6. CARATTERISTICHE DEL VENTO**
- 7. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO**
- 8. DESCRIZIONE DELLA SISMICITA' E PERICOLOSITA' SISMICA**
- 9. CONCLUSIONI**

**ALLEGATO 1: SONDAGGI GEOGNOSTICI EFFETTUATI DALLA IMPRESA FONDEDILE**

**ALLEGATO 2: SONDAGGO GEOGNOSTICO EFFETTUATI DALLA IMPRESA EUROGEO SRL - ESEGUITI NELL'AMBITO DEL POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI-BRIGNOLE (RFI - RETE FERROVIARIA ITALIANA)**

**ALLEGATO 3: INDAGINI GEOFISICHE**

**ALLEGATO 4: SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA**

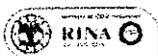
2

PE 2935 REV2 RELAZIONE GEOLOGICA



Autonità di Sistema Portuale  
del Mar Ligure Occidentale

Piazza San Giorgio - Via della Mercanzia 2 - 16124 Genova - CF/P.IVA 02443880598 - Tel. +39.010.2411  
www.portogenoa.com - E-mail: segreteria.generale@porto.genova.it - Pec: segreteria.generale@pec.porto.genova.it



## 1 PREMESSA

In questa relazione, redatta ai sensi del D.M. 14.01.08 e relativa Circolare applicativa n. 617 del 2 febbraio 2009, ci si propone la caratterizzare e modellazione geologica del sito interessato dall'opera a progetto.

L'intervento consiste nella risistemazione delle opere a verde della fascia di rispetto di Prà al fine di ridurre l'impatto delle attività portuali nei confronti della fascia urbana antistante.

Più nello specifico, il progetto prevede - zona di intervento 1 - la realizzazione di una nuova duna in aderenza a quella preesistente che sarà sostenuta, da una parte dalla struttura in legno esistente, dall'altra da un nuovo muro a mensola in calcestruzzo armato gettato in opera (opera a progetto). La nuova opera muraria verrà realizzata in corrispondenza dei primi 500 m della pista ciclabile a ridosso dell'attuale concessione della Società Nuovo Borgo Terminal come meglio evidenziato nella figura 1.

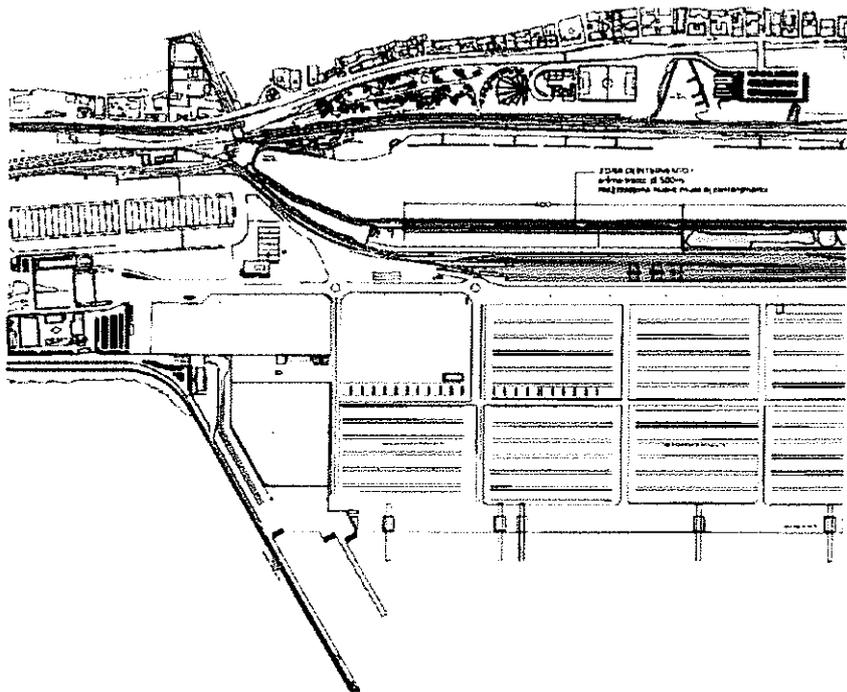


Fig. 1 - Localizzazione dell'opera a progetto - nuovo muro di contenimento.



## 2. ESAME DELLA DOCUMENTAZIONE E DELLA CARTOGRAFIA DISPONIBILE

### 2.1 Piano Urbanistico Comunale di Genova

Il Piano, adottato con DCC 8/2015, il cui procedimento si è concluso con D.D. N° 2015/118.0.0/18 ed in vigore dal 03/12/2015, classifica l'area (carta della zonizzazione geologica e suscettività d'uso del territorio, foglio 24) come zona B (aree con suscettività d'uso parzialmente condizionata)(Figura 2.1)

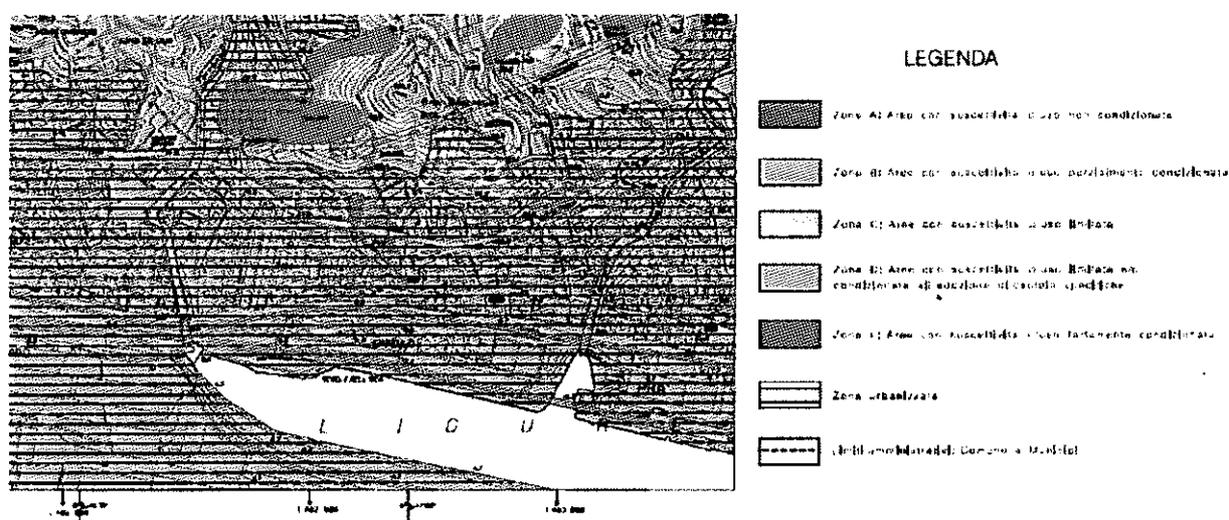


Fig. 2.1 - Stralcio del foglio 24 della carta della zonizzazione geologica e suscettività d'uso del territorio (PUC).

Il suddetto Piano riporta quanto segue in ordine all'ulteriore cartografia geologica di riferimento:

- Carta dell'Acclività: la zona di previsto intervento è individuata come contraddistinta da acclività compresa fra 0° e 5° (zona 1);
- Carta Geomorfologica: riporti, riempimenti artificiali;
- Carta Idrogeologica: zona a permeabilità variabile (colmate, riporti e discariche) in zona urbanizzata sostanzialmente impermeabile;

- d. Carta della Microzonazione Sismica: la zona è identificata come B5s (riporti con spessore > 3 metri con acclività < di 15° (amplificazione stratigrafica).

## 2.2 Piano di Bacino ambiti 12 e 13 approvato con DCP n.65 del 12.12.2002 e s.m.i.

Dall'esame della cartografia di Piano si evince quanto segue:

- a. Carta della suscettività al dissesto: Pg1 - area a bassa suscettività al dissesto (aree, in cui sono presenti elementi geomorfologici e di uso del suolo caratterizzati da una bassa incidenza sulla instabilità) - Aree speciali di tipo B2 (Figura 2.2);

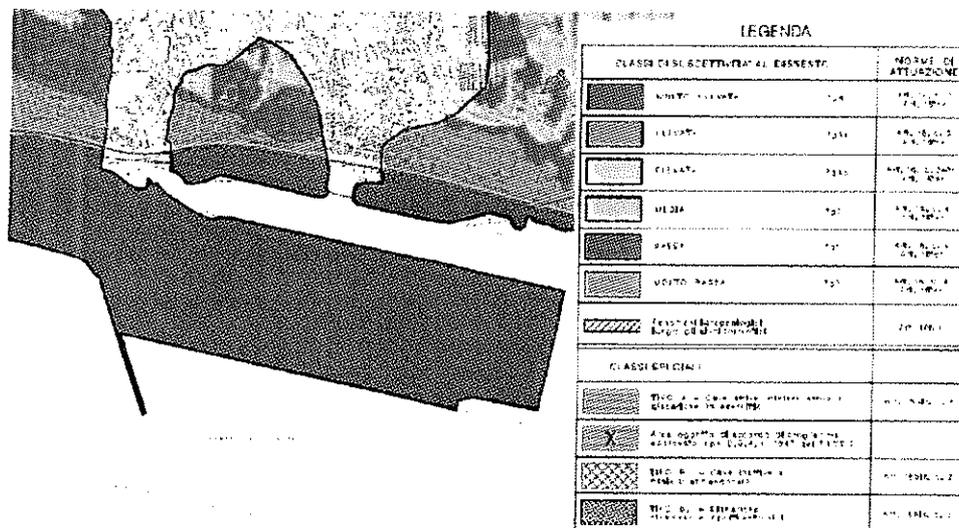


Fig. 2.2 - Carta della suscettività al dissesto

- b. Carta del rischio geologico: rischio geologico moderato (R1)(Figura 2.3);

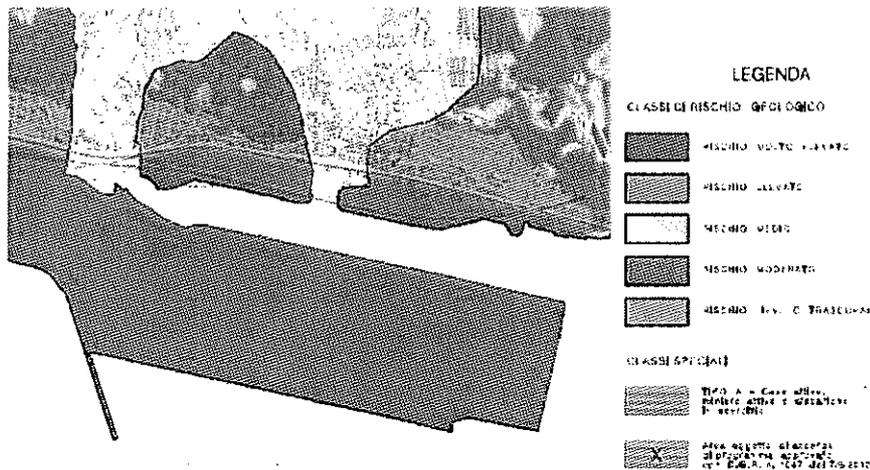


Fig. 2.3 - Carta del rischio geologico

- c. Carta del reticolo idrografico: nell'immediato intorno della zona di previsto intervento non sono presenti colatori naturali di versante interferenti con l'opera;
- d. Carta dell'acclività: pendio con pendenza compresa fra 0 e 10%;
- e. Carta della franosità reale: nessuna presenza di fenomeni franosi e di dissesto in area sito e nel suo immediato intorno;
- f. Carta geolitologica: in corrispondenza dei luoghi di previsto intervento è indicata la presenza grossi riporti (gr);
- g. Carta geomorfologica: grossi riporti di natura antropica;
- h. Carta idrogeologica: terreni permeabili per porosità - urbanizzato continuo impermeabile;
- i. Carta dei principali vincoli territoriali: area non sottoposta a Vincolo Idrogeologico.

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Considerata l'elevata antropizzazione dell'area oggetto di studio, che non permette una diretta determinazione dei materiali geologici presenti nel sottosuolo, al fine di poter valutare la successione e le caratteristiche dei riporti antropici, dei terreni e del substrato roccioso che caratterizzano il compendio in studio, è stato indispensabile analizzare sia dati provenienti da due diverse campagne di sondaggi geognostici pregresse che predisporre una specifica campagna di indagini geofisiche.

#### 3.1 Sondaggi geognostici pregressi

Presso gli Uffici del Servizio Ambiente e Impianti dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale sono state visionate e studiate due campagne geognostiche pregresse, realizzate in zone prossimali all'area d'intervento, di seguito elencate:

1. Fondedile S.p.A - "Sondaggi geognostici per determinare le caratteristiche e proprietà del terreno" effettuati per conto del Consorzio Autonomo del Porto di Genova, nel 1988 (n. 6 sondaggi geognostici). E' opportuno evidenziare che i sondaggi sono stati effettuati quando il piano campagna del riempimento antropico, che oggi costituisce il Porto di Prà/voltri, era ad una quota diversa (circa 2 metri s.l.m.m.) rispetto all'attuale (circa 4 metri s.l.m.m.).
2. EuroGeo srl - "Potenziamento infrastrutturale Voltri - Brignole", effettuato per conto di RFI, nel 2016 (n. 1 sondaggi).

In entrambe le campagne geognostiche summenzionate sono state anche effettuate, durante l'esecuzione dei sondaggi, delle prove penetrometriche dinamiche STP (Standard Penetration Test).

Negli allegati 1 e 2 sono riportate sia le stratigrafie di dettaglio che le rispettive ubicazioni dei sondaggi delle suddette campagne geognostiche.



### 3.2 Indagini geofisiche

Su specifica incarico dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale sono state eseguite nel febbraio 2019, da professionista abilitato, n.5 indagini geofisiche HVSR mediante tromografo digitale e di n°4 prospezioni sismiche di tipo Masw., effettuate sul sedime che sarà interessato dall'opera a progetto.

Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum) e permette sia la definizione delle caratteristiche della funzione di amplificazione in termini di frequenze fondamentali di risonanza sia la valutazione della stratigrafia in termini di profondità delle principali superfici di discontinuità. Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza. Per l'interpretazione software è stato utilizzato il programma *GRILLA* realizzato appositamente per le elaborazioni dei dati acquisiti con il tromografo utilizzato.

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale in campo libero è stata ricavata la curva H/V, adottando una larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s ed effettuando un lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

La valutazione delle misure è stata condotta mediante il software *Grilla* sulla base delle indicazioni fornite dal progetto europeo SESAME (Site Effects assessment using Ambient Excitations) che ha stabilito le linee guida per una corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale.

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta nella fattispecie in corrispondenza di un allineamento di geofoni posti alla quota del piano campagna. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh le quali viaggiano con una velocità dipendente dalla rigidità dei terreni o degli ammassi rocciosi interessati dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980). Onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi ed interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è il 'metodo attivo dove le onde superficiali sono state generate mediante l'uso di mazza da 10 kg è successivamente ricevute, come suddetto, da uno stendimento lineare di sensori (geofoni).

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente in un intervallo di frequenze indicativamente compreso tra 5Hz e 70Hz, da cui informazioni sulla parte più superficiale del suolo compresa entro i 30 metri, ciò in funzione della rigidità del suolo.

La strumentazione utilizzata è un Sismografo Dolang DBS280B a 24 bit con 12 geofoni verticali da 4,5 Hz, energizzazione mediante mazza da 10 kg.

Si rimanda all'allegato 3 per tutti i dettagli inerenti l'esecuzione e i risultati delle diverse prove geofisiche effettuate.



## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFICO DELLA ZONA

### 4.1 Substrato roccioso mesozoico

Le rocce che costituiscono il substrato mesozoico, dell'area interessata dal progetto, appartengono, sulla base sia della lettura della carta geologica d'Italia 1: 50.000, foglio 213 (GENOVA) che dalle risultanze delle indagini geognostiche all'Unità Tettonometamorfica Palmaro-Caffarella (Giurassico - Cretaceo) (Fig. 4.1).

Tale Unità, affiorante lungo la fascia costiera tra Prà e Sestri Ponente è costituita da metaofioliti con relativa copertura metasedimentaria, che presentano una riequilibratura metamorfica in facies degli schisti blu e una sovra impronta in facies degli scisti verdi più o meno sviluppata.

La successione stratigrafica dell'Unità Tettonometamorfica Palmaro-Caffarella è caratterizzata, dal basso verso l'alto, dalle seguenti formazioni (Fig. 4.2):

- serpentiniti di San Carlo di Cese;
- metagabri di Carpenera;
- metagabri del Bric Fagaggia;
- meta basalti della Val Varenna;
- quarzoscisti di Sant'Alberto;
- calcescisti della Val Branega.

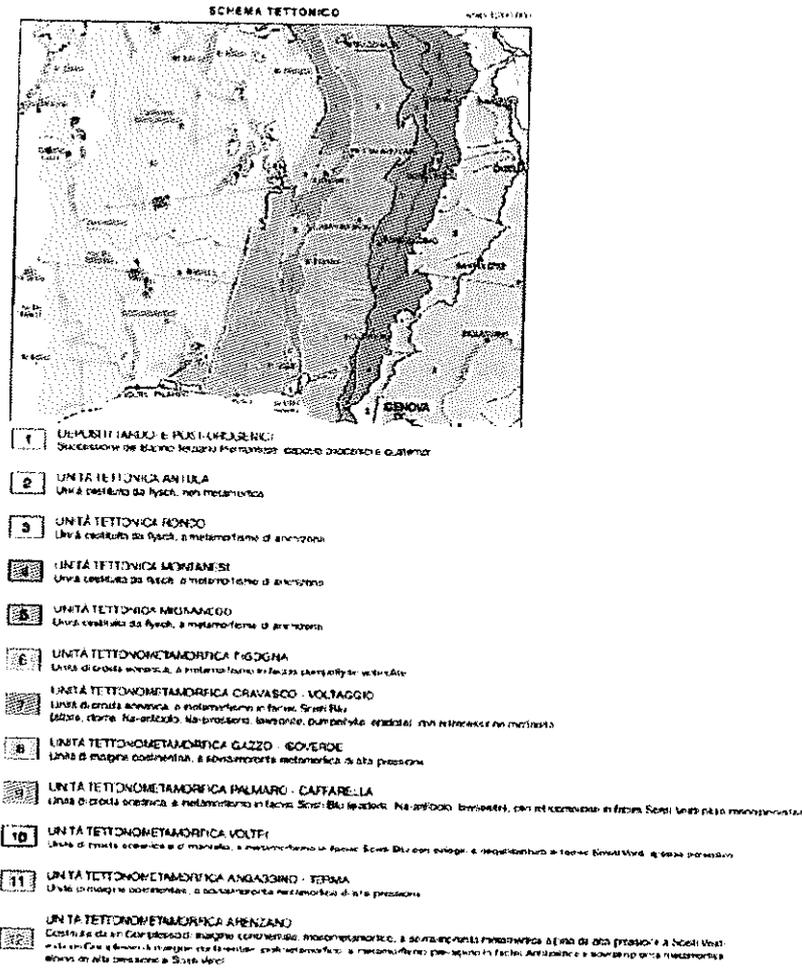


Fig. 4.1 - Schema tettonico tratto dalla carta geologica d'Italia 1:50.000, foglio 213

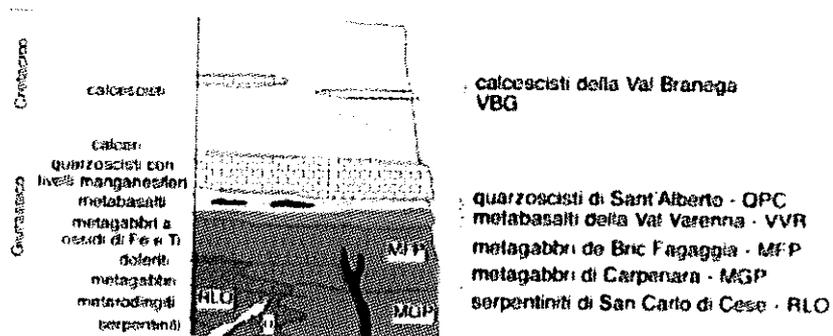


Fig. 4.2 - Schema stratigrafico dell'Unità Tettonometamorfica Palmaro-Caffarella

Più nello specifico, sulla base dei sondaggi analizzati, si può ritenere che i litotipi del substrato roccioso mesozoico, nell'area oggetto dell'intervento, siano da riferirsi alla formazione dei calcescisti della Val Branega.

Questi sono costituiti da scisti quarzo-micacei più o meno calcariferi, calcescisti, micascisti e calcari cristallini, caratterizzati da alternanze di livelli pelitici e livelli quarzocarboniosi.

E' importante evidenziare che la parte sommitale, del suddetto substrato roccioso, nell'area indagata, risulta significativamente fratturata e alterata. Quanto sopra trova riscontro sia dall'analisi dei sondaggi pregressi che, in particolar modo, dai risultati delle indagini geofisiche (allegato 3). Infatti, le indagini geofisiche, evidenziano un sismostrato 5 (con tetto fra 21,26 e 23,32 metri) avente Vs compresa fra 402 e 677 m/s, che si ritiene riconducibile al cappellaccio di alterazione del substrato.

Invece, la profondità media del tetto del substrato roccioso avente migliori caratteristiche meccaniche (sismostrato 6), desunta dalle indagini MASW, risulta pari a 30,4 metri. Tale orizzonte risulta avere valori di Vs compresi fra 739 e 958 m/s.

#### **4.2 Depositi Alluvionali e marini (Quaternari)**

Dalle indagini geognostiche studiate e dall'analisi della bibliografia di riferimento si è evidenziato che, sul predetto substrato roccioso mesozoico, si è impostata una successione di sedimenti di origine alluvionale e marina costituiti prevalentemente da alternanze di livelli sabbiosi con livelli a sabbia limosa e massi detritici. Detti depositi presentano una discreta corrispondenza con i sismo strati 3 e 4 individuati nelle indagini geofisiche (allegato 3), caratterizzati rispettivamente dalle seguenti velocità medie delle onde Vs: 258,28 e 293,85 m/s



### 4.3 Terreni di Riporto

Trattasi di depositi antropici molto potenti ed eterogenei, costituiti prevalentemente da massi e pietrame in matrice sabbio-limosa e sabbie con ghiaie distribuite prevalentemente nella parte più superficiale. Detti riporti presentano una discreta corrispondenza con i sismostrati 1 e 2 individuati nelle indagini geofisiche (allegato 3), caratterizzati rispettivamente dalle seguenti velocità medie delle onde Vs: 519,38 e 312,45 m/s.

### 4.4 Assetto stratigrafico

Sulla base di quanto già descritto nei precedenti punti 4.1, 4.2 e 4.3 e richiamando le indagini geognostiche, di cui al precedente punto 3, di seguito viene descritta, dai più recenti ai più vecchi, la successione dei depositi caratterizzanti il sottosuolo dell'area in studio:

- **Terreno di riporto antropico** con uno spessore stimato di circa 9 - 10 metri;
- **Depositi Alluvionali e Marini (Quaternari)** con uno spessore stimato di circa -12 - 13 metri;
- **Substrato roccioso**, costituito dai litotipi della formazione dei calcescisti della Val Branega, caratterizzato da una parte sommitale significativamente fratturata e alterata con una potenza media di circa 8 m. La geometria della superficie del substrato roccioso non si presenta con un andamento regolare ma viceversa è caratterizzata da significativi avvallamenti.

In allegato 4 è stata elaborata una sezione geologica interpretativa che evidenzia l'assetto stratigrafico dell'area oggetto dell'intervento.



## **5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELLA ZONA**

Le caratteristiche morfologiche generali dell'area considerata sono il risultato dell'intensa attività di rielaborazione del territorio ad opera dell'uomo.

Infatti, l'area costiera di Genova Prà e in parte anche quella di Voltri sono state interessate, a partire degli anni 70, da importanti riempimenti a mare, posti in essere dall'allora Consorzio Autonomo del Porto di Genova, finalizzati alla realizzazione di un nuovo porto container (Fig.5.1). Oggi Il Porto di Prà/Voltri è uno dei più importanti Terminal container d'Italia.

La zona di intervento, pianeggiante, significativamente antropizzata, è posta ad una quota di circa 4 metri s.l.m.m. nel margine nord del predetto porto di Prà/Voltri,. Più nel dettaglio, si pone in una zona d'interfaccia tra un'area con una funzione tipicamente portuale ( attività connesse alla movimentazione dei container) e un'area a funzione urbana (Fascia di rispetto di Prà). Le due suddette aree sono fisicamente divise da una piccola duna artificiale, con un'altezza di circa 1,5 metri.

Nelle aree interessate dal progetto non si rilevano elementi geomorfologici critici così anche come evidenziato nel capitolo 2 - lettura della documentazione e cartografia disponibile.

Circa gli aspetti idrogeologici si indica quanto segue:

- i riporti antropici e i depositi alluvionali e marini sono permeabili per porosità a grado variabile,

- il substrato roccioso e permeabile per fessurazione e/o fratturazione.

Tuttavia, così come evidenziata nella carta idrogeologica del piano di Bacino, richiamata nel precedente capitolo 2, considerata l'elevata urbanizzazione dell'area, quest'ultima la si deve considerare, nel suo complesso, sostanzialmente impermeabile.

E' importante evidenziare la presenza di terreni saturi a partire da circa 4 m da p.c.

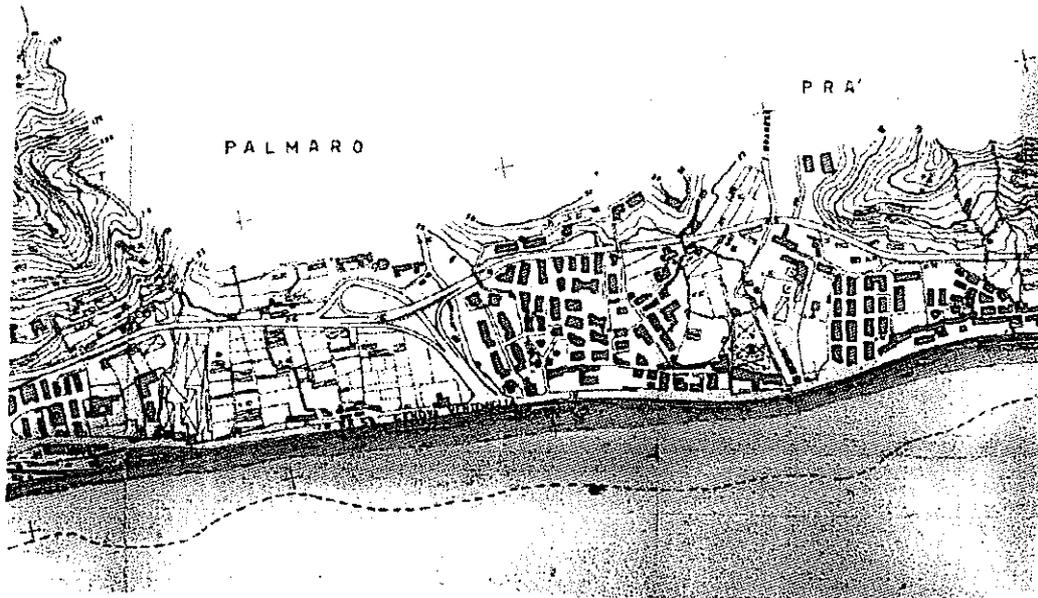


Fig. 5.1 - Stralcio di una carta topografica del 1968 (non in scala), rappresentante la zona costiera di Palmaro - Prà (archivio storico dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale).

## 6 CARATTERISTICHE DEL VENTO

L'area portuale di Prà-Voltri, dove sarà realizzata l'opera a progetto, ospita attività portuali la cui sicurezza e funzionamento risentono in modo significativo delle azioni e degli effetti del vento.

Per quanto sopra, di seguito vengono riportate alcuni risultati del progetto europeo "Venti e Porti" nel quale sono stati studiati in modo statistico, dati storici provenienti da diverse stazioni anemometriche di rilevanza portuale come la stazione di Genova Sestri/Ponente.



La stazione meteorologica di Genova/Sestri Ponente è una stazione storica di riferimento per il servizio meteorologico dell'Aeronautica Militare ed è a servizio dell'aeroporto civile "Cristoforo Colombo" di Genova. La stazione è attualmente gestita dall'ENAV ed è collocata all'interno dell'aeroporto in prossimità della pista di atterraggio.

La base dati della stazione meteorologica di Genova/Sestri Ponente conta di 44 anni effettivi di misure triorarie. Dal grafico dell'intera serie storica delle velocità medie (Fig. 6.1) si può notare l'assenza di misure nel 1997. Per quanto riguarda l'intensità della velocità del vento, si può notare che i valori non superano mai 20 m/s.

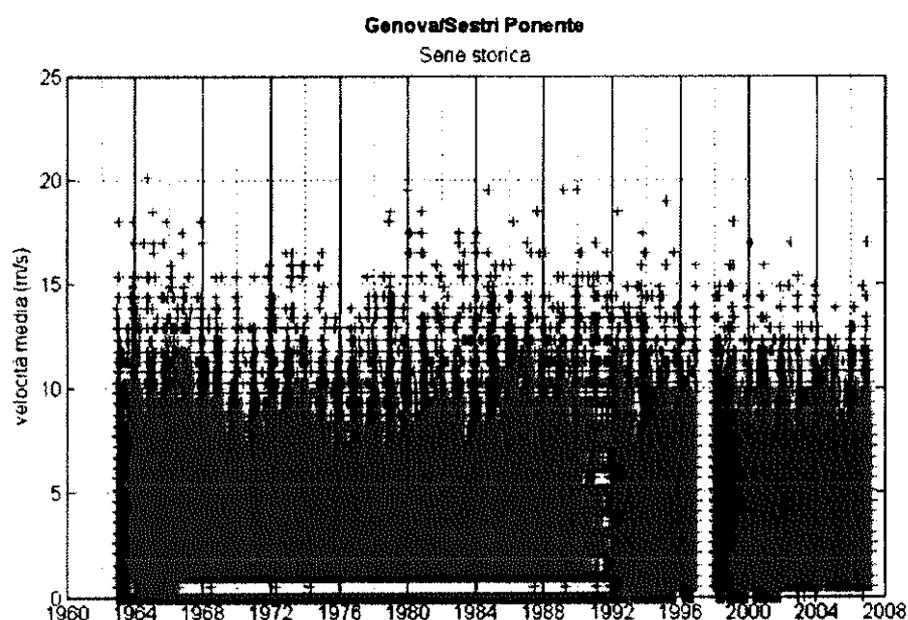


Fig. 6.1 - Serie storica delle misure di velocità media della stazione Genova/Sestri Ponente.

Il Diagramma polare di Figura 6.2, dove l'altezza dei settori indica la frequenza di un vento proveniente da un determinata direzione, mentre i diversi colori sono in relazione con l'intensità del vento, permette di distinguere la provenienza dei venti estremi, dando al contempo un'idea della provenienza dei venti più deboli e comuni (in particolare quelli entro 10 m/s)., è evidente la prevalenza dei venti provenienti da nordest in corrispondenza di fenomeni di grecale. Tali venti rappresentano sia i venti più frequenti sia quelli più intensi. Sebbene con frequenze molto minori, si possono distinguere altre

due direzioni di provenienza frequente: da sudest e secondariamente da sudovest, in corrispondenza di fenomeni di scirocco e libeccio, rispettivamente. Anche a queste direzioni sono associati venti intensi. I settori posti a nordovest presentano, invece, rare registrazioni.

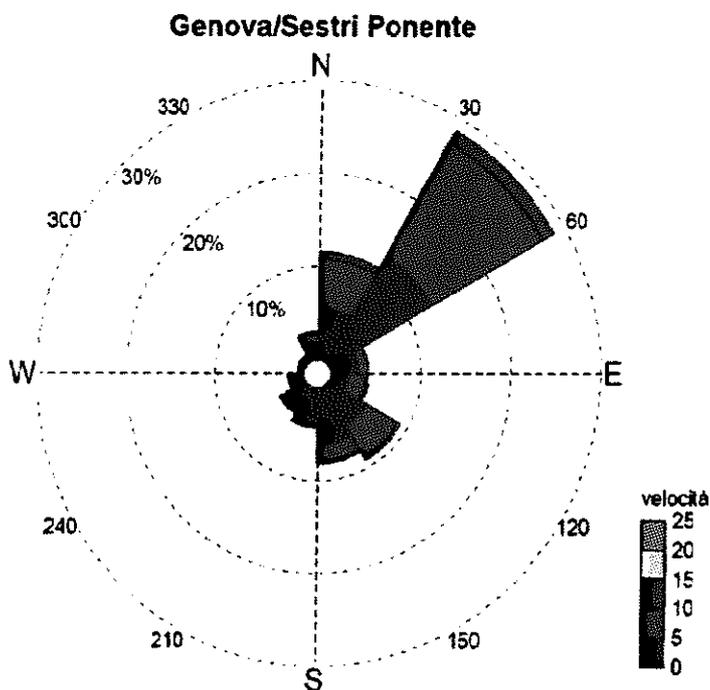


Fig. 6.2 - Distribuzione di probabilità della provenienza del vento.



## 7 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL TERRENO

Per la stima delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione, si è tenuto conto delle prove penetrometriche dinamiche (SPT), riportate sulle stratigrafie dei sondaggi (allegato 1 e 2).

Pertanto, si ritiene che con buona approssimazione, e tenendoci su valori a favore della stabilità (SPT minimi pari a 6), che i parametri geotecnici siano i seguenti:

coesione:  $c = \text{zero}$

peso specifico:  $\gamma = 1,80 \text{ T/mc}$

angolo di attrito:  $\phi = 28$

densità relativa:  $D_r = 0,5$  consistenza media

Si rimanda alla relazione geotecnica gli opportuni approfondimenti e la determinazione puntuale dei parametri geotecnici più idonei da utilizzare.

## 8 DESCRIZIONE DELLA SISMICITA' E PERICOLOSITA' SISMICA

### 8.1 Storia sismica

Per inquadrare la storia sismica del territorio oggetto di studio viene di seguito riportata (Fig. 8.1) la Carta delle massime intensità microsismiche ( $I_{max}$ ) osservate nei comuni Italiani (del 1996). La Carta è stata realizzata partendo dalla banca dati del GNDT



(raccolge la maggioranza dei dati macrosismici disponibili per terremoti relativi al periodo 1000-1980) e il "Catalogo dei Forti Terremoti in Italia" (CFTI) pubblicato a cura dell'ING/SCA.

Per il comune di Genova si ricava una  $I_{max}$  uguale a 7.

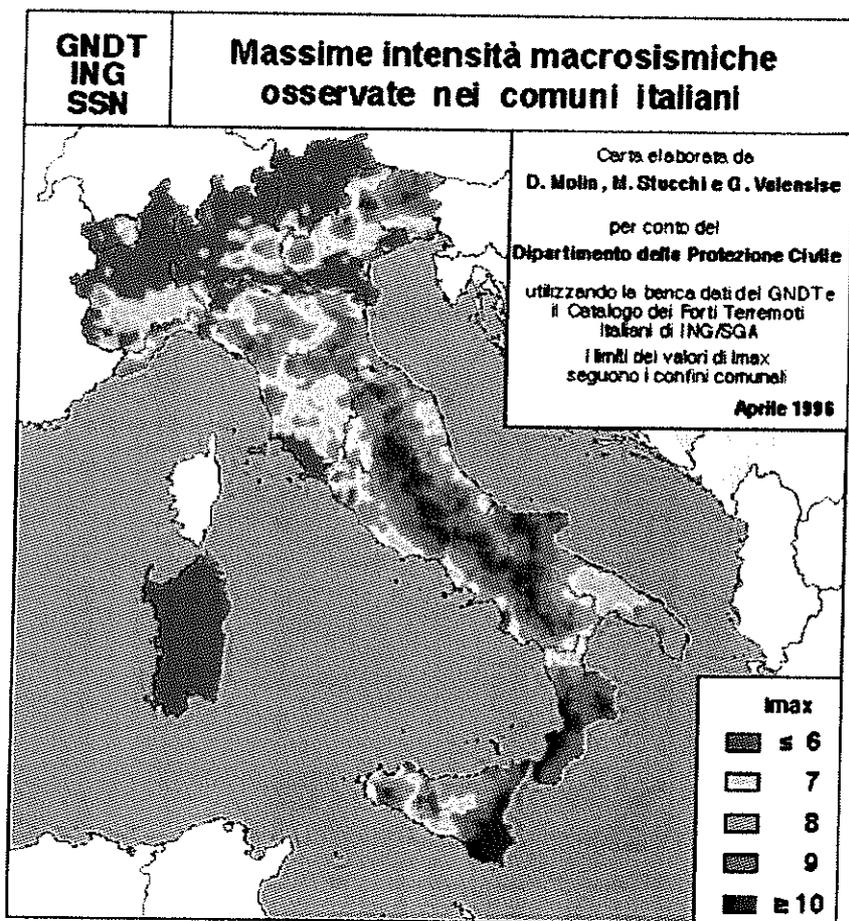


Fig. 8.1 - Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni Italiani

Fonte: [https://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/max\\_int\\_oss.html](https://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/max_int_oss.html)



## 8.2. Zonazione Sismogenetica

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha elaborato nel 2004 una zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9 (Fig. 8.2) (Meletti C. e Valensise G., 2004). Secondo questa zonazione il territorio nazionale è stato diviso in 36 zone-sorgente, alle quali vanno aggiunte 6 zone-sorgenti per le quali non è stata valutata la pericolosità sismica, individuate mediante l'osservazione delle caratteristiche della sismicità storica ed attuale e dallo studio delle geometrie delle sorgenti sismotettoniche.

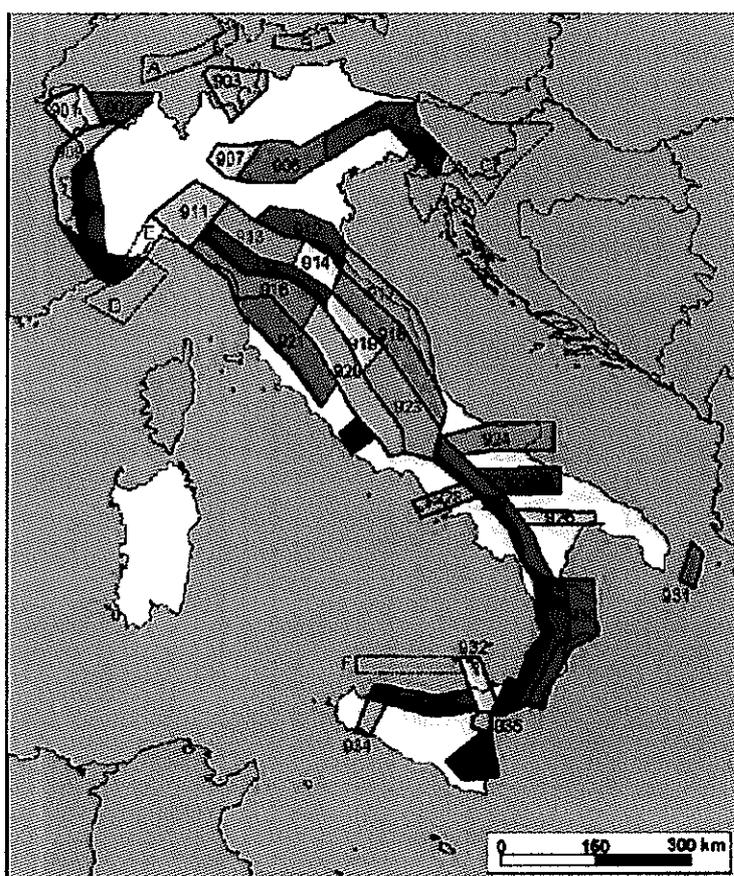


Fig. 8.2 - Zonazione Sismogenetica ZS9

Nello specifico, la zona oggetto di studio è esterna dalle predette zone-sorgenti - come meglio evidenziato nella figura seguente (Fig. 8.2.1).

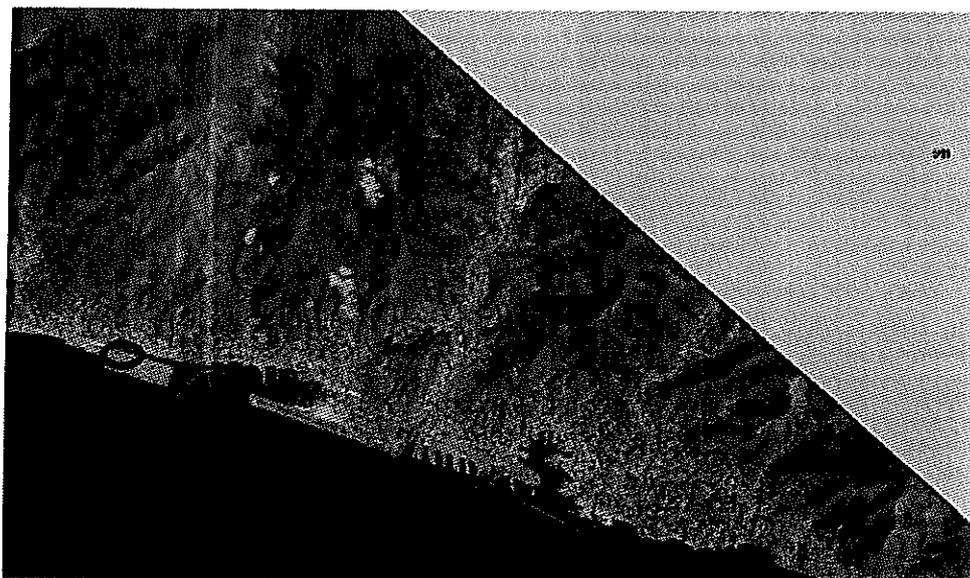


Fig. 8.2.1 - Figura elaborata da materiale proveniente dal Geoportale Nazionale:  
([http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=Zone\\_sismogenetiche\\_ZS9](http://www.pcn.minambiente.it/viewer/index.php?services=Zone_sismogenetiche_ZS9))

### 8.3 Pericolosità Sismica

Per quanto concerne la pericolosità sismica del sito in esame di seguito viene riportato un particolare della mappa interattiva della pericolosità sismica pubblicata sul sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/> del Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) (Fig. 8.3), che evidenzia la distribuzione dei valori dell'accelerazione orizzontale massima  $a(g)$  che, per il territorio comunale di Genova risultano compresi fra 0,050 e 0,100 g. Nello specifico la zona in esame presentata da valori di  $a(g)$  compresi tra 0,050-0,075 g.

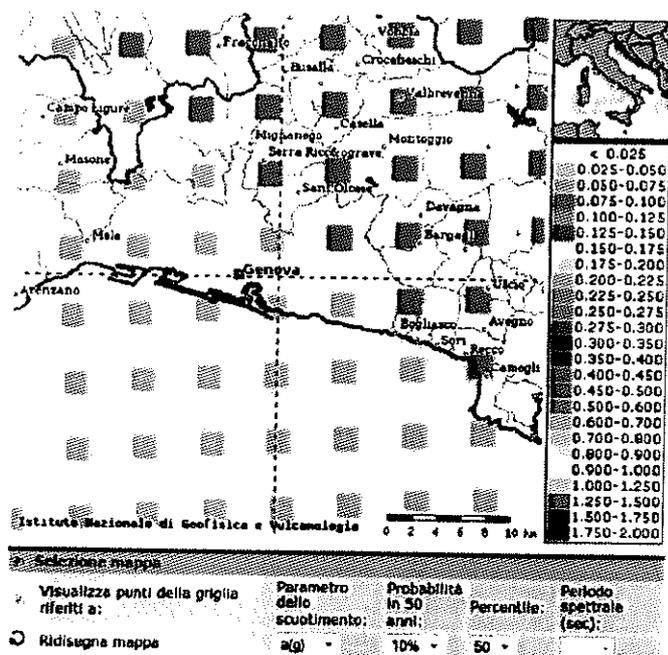


Fig. 8.3 - Mappa di pericolosità sismica

## 8.4 Normativa Sismica Regionale

La normativa sismica nazionale è stata recepita dalla Regione Liguria con il DGR n. 530/2003, che ha individuato le zone sismiche e ha stilato un elenco regionale dei comuni in zona sismica. In seguito, con il DGR n.1308/2008 (pubblicata sul Burl n. 47 del 19 novembre 2008), la Regione Liguria approva una nuova classificazione sismica regionale; successivamente modificata con DGR n. 1362/2010, DGR n. 216/2017 e, più di recente, con DGR 962/2018 (Fig. 8.4).

In conformità a tale normativa l'area oggetto d'intervento ricade in Zona sismica 3, che prevede un valore di accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, pari a  $0,150 g$  (dove  $g$  è l'accelerazione di gravità).

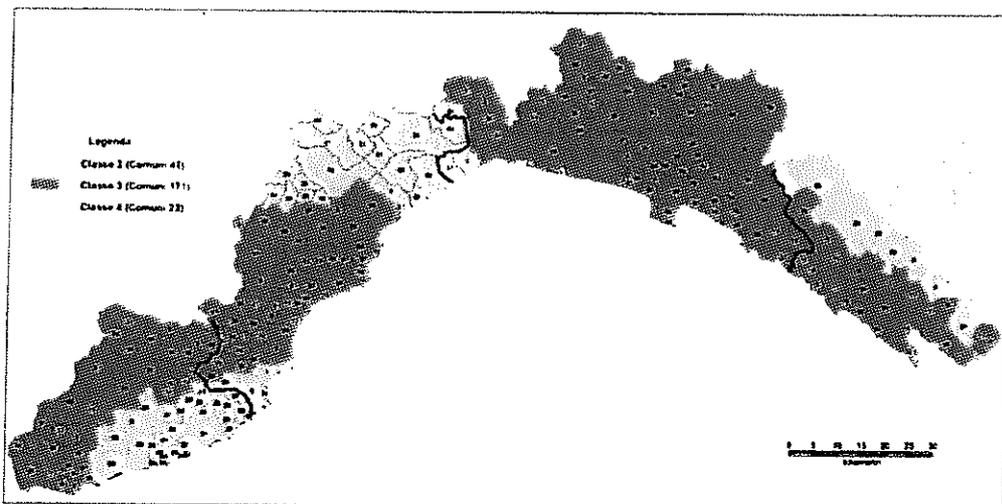


Fig. 8.4 - La carta delle Zone Sismiche - D.G.R. 962/2018

## 8.5 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si valuta l'effetto della risposta sismica locale mediante l'approccio semplificato indicato nel D.M. 14.01.08 in quanto si ha una riconducibilità delle caratteristiche del sottosuolo ad una delle categorie di sottosuolo previste dalla norma nel paragrafo 3.2.2.

Richiamando i risultati delle indagini geofisiche, come meglio descritti nell'allegato 3 (indagini geofisiche), ed in particolare la presenza di un bedrock sismico oltre i 30 metri di profondità e  $V_{s,30}$  pari a 349,3 m/s, si ritiene di attribuire al sito la Categoria di sottosuolo C la quale è così definita:

- 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  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

In merito alla categoria topografica si ritiene di indicare la categoria T1, la quale è relativa a superfici pianeggianti, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i minore o uguale a 15°.

## 9 CONCLUSIONI

A seguito delle indagini svolte e di quanto previsto dagli strumenti di pianificazione l'opera prevista a progetto si ritiene fattibile sotto il profilo geologico fatto salvo quanto di seguito esposto.

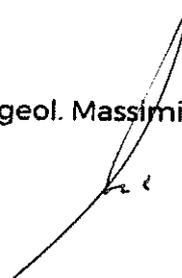
Vengono di seguito elencate le principali caratteristiche geologiche che dovranno essere attentamente considerate nella progettazione dell'opera prevista:

- Presenza di potenti riporti antropici che, benché generalmente consistenti, potrebbero presentare, per loro natura, fenomeni di disomogeneità, sia in termini composizionali che da un punto di vista delle caratteristiche meccaniche cioè anche in termini di cedimenti differenziali;
- Substrato roccioso profondo e caratterizzato dalla presenza di un notevole cappellaccio di alterazione;
- Circa i carichi trasmessi in sottosuolo dalle opere e dai terreni di riporto che andranno a costituire la nuova scarpata posta lungo il paramento nord del muro, si nota anche, oltre alla citata eterogeneità, la presenza di terreni più consistenti sovrapposti a terreni meno consistenti. Un certo grado di variabilità delle caratteristiche dei terreni deve inoltre essere considerato in quanto la ricostruzione dell'assetto stratigrafico della zona d'intervento è basata su indagini indirette, con elevata componente interpretativa, e su sondaggi pregressi eseguiti in zone prossimali rispetto a quella interessata dall'opera a progetto.
- A partire da una profondità attorno ai 4 metri da piano campagna si dovrà considerare la presenza di terreni saturi;



- Nella realizzazione della nuova scarpata, i cui terreni graveranno sulla mensola dell'opera di sostegno a progetto, si dovrà tener conto dei possibili fenomeni erosivi prodotti principalmente dalle precipitazioni atmosferiche le quali possono nel tempo asportare volumi di terreno e/o instabilizzare porzioni di terreno di riporto;
- Inoltre, dovrà essere fatta particolare attenzione a possibili interferenze negative della nuova opera a progetto e relativa nuova duna detritica con i contigui manufatti, con particolare riferimento alla stabilità della struttura in legno che sostiene l'attuale duna.

Dott. geol. Massimiliano Testa





**ALLEGATO 1: SONDAGGI GEOGNOSTICI EFFETTUATI DALLA IMPRESA  
FONDEDILE**

422 2.2  
2022/2023



## 1) PREMESSA

Su incarico dello Spettabile Consorzio Autonomo del Porto di Genova, la Scrivente ha effettuato una campagna di indagini geognostiche sull'area del nuovo porto di Genova Prà - Voltri.

La campagna d'indagini è consistita nell'esecuzione di:

- n° 6 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo sino alla profondità massima di 38 m;
- una serie di prove penetrometriche del tipo S.P.T. e di "Pocket - Penetrometer" effettuate nelle stratificazioni più significative;
- n° 8 campioni di terreno indisturbato, da sottoporre a prove di laboratorio.

L'indagine geognostica è stata finalizzata all'accertamento della natura e delle caratteristiche dei terreni costituenti i terrapieni esistenti, in vista dei lavori di costruzione delle nuove infrastrutture portuali.

In allegato alla presente, si riportano la planimetria con l'ubicazione dei sondaggi eseguiti ed i prospetti stratigrafici descrittivi della natura e delle caratteristiche dei terreni riscontrati.

## 2) SONDAGGIO S1

Il sondaggio S1 è stato condotto, a partire dall'attuale terrapieno ubicato a + 2,00 m sul l.m.m., sino alla profondità di ml - 31,00 sul l.m.m.

La schematizzazione stratigrafica dei terreni di fondazione può caratterizzarsi:

- . un riporto detritico superficiale di massi e pietrame (D = 5 - 20 cm) immerso in matrice sabbio limosa, scarsamente compatta (valori alla prova SPT pari a 5); tale riporto si estende dal p.c. sino alla profondità di - 4,20 ml;
- . un banco di massi e detriti dello spessore di ml 7,00 (sino a profondità pari a circa - 11,00 m dal l.m.m.), immersi in sabbia, intercalato da qualche livello sabbio-limoso; tale stratificazione si presenta nella generalità poco compatta, (valori medi alla prova SPT pari a 6);
- . una stratificazione di sabbie verdastri, inglobanti depositi torbosi ed alghe, passante, con l'aumento della profondità, a sabbie fine e grosse limose; tale stratificazione, poco compatta (i valori alla prova SPT portano ad un numero di colpi pari a 8), si estende da - 11,00 m a - 19,00 m dal l.m.m.; un campione di terreno indisturbato da sottoporre a prove di laboratorio è stato prelevato in tale stratificazione a quota - 16,50 m circa;

### 3) SONDAGGIO S2

Il sondaggio S2 è stato condotto, a partire dall'attuale terrapieno ubicato a circa + 1,60 m sul l.m.m., sino alla profondità di - 27,20 m sul l.m.m..

La schematizzazione stratigrafica dei terreni di fondazione può così caratterizzarsi:

- . un riporto detritico superficiale, di massi e pietrame in matrice limo argillosa, esteso sino ad una profondità di circa - 0,90 m sul l.m.m.;
- . un banco di massi duri, con limo sabbioso esteso da quota - 0,90 m sino a - 9,50 m sul l.m.m.; nelle stratificazioni più profonde (da - 6,50 m a - 1,50 m) i massi costituenti il banco sono alternati a detriti immersi in matrice sabbio - limosa poco addensata (valori alla SPT variabili da 9 a 11);
- . una stratificazione di sabbie fini limose verdastre e nerastre in profondità, estesa da quota - 9,50 m sino a quota - 14,50 m sul l.m.m.; tale stratificazione sabbiosa si presenta poco addensata, (valori alla SPT pari a 12);
- . uno strato di massi ( $D = 10 - 20$  cm), duri, estesi da - 14,50 m sino a - 17,50 m;
- . un banco di sabbie fini grigio scure, esteso fra - 17,50 m sino a

20,50 m sul l.m.m., inglobante qualche passaggio di ghiaie, mediamente addensata (valori alla SPT pari a 18); in tale stratificazione è stato prelevato un campione indisturbato;

. una stratificazione di base, rinvenuta, oltre la profondità di - 20,50 m sul l.m.m., costituita da calcemicascisti in banchi di esiguo spessore, fratturati, a volte disfatti.

#### 4) SONDAGGIO S3

Il sondaggio S3 è stato condotto, a partire dall'attuale terrapieno ubicato a quota + 2,30 m sul l.m.m., sino alla profondità di - 20,80 dal l.m.m..

La schematizzazione stratigrafica dei terreni di fondazione può così caratterizzarsi:

- un riporto detritico superficiale di massi e pietrame in matrice limo sabbiosa, esteso sino alla profondità di circa + 0,50 m sul l.m.m.;
- un banco di massi di roccia dura con limo sabbioso e detriti, esteso sino alla profondità di - 3,70 m sul l.m.m.;
- una stratificazione di limi sabbiosi inglobanti, nella parte superficiale, detriti ossidati e massi e, negli strati più profondi, ghiaie a spigoli vivi; tale stratificazione, mediamente addensata (valori alla SPT variabili da 15 a 17) si estende da - 3,70 m a - 12,70 m sul l.m.m. e presenta nella parte centrale un'intercalazione di sabbie fini mediamente addensate;
- una stratificazione di base, rinvenuta a partire da quota - 13,70 m sul l.m.m. costituita da calcescisti nerastri fratturati, passanti, con la profondità, a scisti granitici.

## 5) SONDAGGIO S4

Il sondaggio S4 è stato condotto, a partire dall'attuale terrapieno ubicato a quota + 1,80 m sul l.m.m., sino alla profondità di - 24,70 m sul l.m.m.

La schematizzazione stratigrafica dei terreni di fondazione può così caratterizzarsi:

- un riporto detritico superficiale di ciottoli in limo sabbioso esteso sino ad una profondità di circa - 0,20 m sul l.m.m.;
- un banco di massi di serpentini duri, con detriti della medesima natura, inglobante limi e, nelle stratificazioni più profonde, sabbie fini; tale banco si estende da - 0,20 m sino a quota - 11,20 m sul l.m.m.;
- una stratificazione di sabbie fini limose, mediamente addensate (valori alla SPT sino ad un massimo di 23), estese da - 11,20 m sino a - 20,20 m sul l.m.m.;
- una stratificazione di base, rinvenuta alla profondità di - 20,20 m, costituita da calcemicascisti in banchi di spessore esiguo, fratturati e con alterazioni talcose.

## 6) SONDAGGIO S5

Il sondaggio S5 è stato condotto, a partire dall'attuale terrapieno ubicato a quota + 1,80 m sul l.m.m., sino alla profondità di - 24,70 m sul l.m.m..

La schematizzazione stratigrafica dei terreni di fondazione può caratterizzarsi mediante:

- un riporto detritico superficiale, con qualche masso, in matrice sabbia limosa, esteso sino alla profondità di - 0,40 m sul l.m.m.;
- una stratificazione di limo sabbioso - argilloso, poco consistente (valori alla SPT variabili da 10 a 16), a volte molle, esteso da quota - 0,40 m sino a - 7,60 m sul l.m.m.;
- un banco detritico, in limo sabbioso e/o sabbia fine; sovrastante uno strato di massi di serpentini, esteso da - 7,60 m sino a - 13,20 m sul l.m.m.;
- una stratificazione di limi argillosi nerastri, inglobanti nella parte superficiale depositi torbosi; tale stratificazione poco consistente ed allo stato molle (valori alla SPT pari a 5 ed alla P.P. pari a 0,5 Kg/cm<sup>2</sup>) si estende da - 13,20 m a - 16,20 m sul l.m.m.; in tale stratificazione sono stati prelevati n° 2 campioni indisturbati;
- una stratificazione di sabbia limosa fine, verdastra, da scarsamente addensata a mediamente addensata (valori alla SPT variabili da 20 a 30 ed alla PP da 0,75 a 1,25 kg/cm<sup>2</sup>), rinvenuto da quota - 16,20 m sino a - 24,70 m dal l.m.m.;

## 7) SONDAGGIO S6

Il sondaggio S6 è stato condotto, a partire dall'attuale terrapieno ubicato a circa + 0,50 m sul l.m.m., sino alla profondità di ml - 27,00 sul l.m.m.

La schematizzazione stratigrafica dei terreni di fondazione può caratterizzarsi mediante:

- un riporto detritico di pietrisco in matrice sabbio-limosa, poco consistente (valori alla SPT pari a 8), rinvenuto sino a quota - 2,20 m sul l.m.m.;
- un banco di massi di serpentini riscontrato da quota - 2,20 m sino a profondità di - 5,00 m sul l.m.m.;
- una stratificazione detritica inglobante residui legnosi individuata sino a profondità di - 8,20 m sul l.m.m.;
- una stratificazione di sabbie fini limose, estesa da quota - 8,20 m sul l.m.m. sino a quota - 23,20 m, nella generalità poco addensata (valori alla SPT variabili fra 12 e 16 ed alla P.P. da 0,75 a 1,25 kg/cmq) ed inglobante qualche livello limoso; in tale stratificazione è stato prelevato un campione indisturbato;
- una stratificazione di base, rinvenuta a partire da quota - 23,20 m costituito da roccia verdastra a tratti scistosa e fratturata.

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. S1

RAPP. 1:100

NUMERO TUBO		QUOTE		MISURE	DENOMINAZIONE STRATI	PULIZI ACQUAPE		RR (Kg/cm <sup>3</sup> )
PROFONDITÀ	ALTEZZA	ABSOLUTA	RELATIVA			QUANTITÀ PROVATA	QUANTITÀ RISULTATA	
C	R	0.00						
				3.00	RIPORTO COSTITUITO DA DETRITI E MASSI Ø 5-20 CM. IN MATRICE SABBIO-LIMOSA			
				3.45	IDEM C.S. PROVA SPT 1; SPT 2-2-3			
				4.00	DETRITI, MASSI CON LIMO SABBIO-ARGILLOSO			
				4.80	DETRITI CON LIMO SABBIOSO GRIGIO			
				5.25	IDEM C.S. PROVA SPT 2; SPT 2 6-13-6			
				6.25	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO GRIGIO INGLOBANTE DETRITI E PEZZI DI MATTONI			
				12.10	MASSI Ø 20 CM. C.C., DETRITI Ø 5-0.5 CIRCA CON SABBIA E QUALCHE LIVELLO SABBIOSO LIMOSO			
				12.95	IDEM C.S. PROVA SPT 3; SPT 3-2-4			
				17.50	SABBIA VERDE INGLOBANTE DEPOSITI TORBOSI O ALGHE, SCARSAMENTE CONSISTENTE			
				17.95	IDEM C.S. PROVA SPT 4; SPT 4 2-4-4			
				18.70	SABBIA FINE LIMOSA POCO CONSISTENTE			
				19.30	IDEM C.S. CAMP. IND. PRESS. Ø 89 C1			
				21.00	SABBIA FINA E GROSSA, LIMOSA IN BASSO			
								1.5
								2.0

(SEGUE)

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. 251

RAPP. 1:100

NUMERO E QUOTA		QUOTE		DENOMINAZIONE STRATI	SILICI ACQUOSI		P.P. (kg/cm <sup>2</sup> )
ROTARY		ABSOLUTE	RELATIVE		Quota di Pavimento	Quota di Fondello	
C	R		21.00				
			21.50	0.50	TROVANTI ROCCIOSI DURI		
			21.60	0.10	ARGILLA GRIGIOVERDE		
			22.60	1.10	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO		1.0
			23.00	0.40	SABBIA GROSSA E MEDIA		1.20
			23.80	0.80	SABBIA IDEM C.S. CAMP. IND. Ø 80 C2		
			24.00	0.20	SABBIA MEDIO FINE, MEDIO ADDENSAMENTO		
			24.45	0.45	SABBIA FINA PROVA SPT 5; SPT <sub>5</sub> 5-7-11		
			25.00	0.55	SABBIA MEDIA E FINA		
			26.30	1.30	SABBIA MEDIA LEGGERMENTE LIMOSA GRIGIO-VERDE A MEDIO ADDENSAMENTO		2.00
			27.30	1.00	LIMO SABBIOSO GRIGIO-VERDEASTRO SEMIDURO		1.75
			28.00	0.70	SABBIA LIMOSA CAMP. PRESS. IND. C3		
			28.45	0.45	SABBIA POCO LIMOSA VERDE PROVA SPT 6; SPT <sub>6</sub> 8-12-15		
			30.00	1.55	SABBIA MEDIA LIMOSA VERDEASTRA BEN ADDENSATA, CON TRACCE DI OSSIDAZIONE BRUNASTRE		3.5
			32.60				3.5
			33.00	0.40	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO GRIGIO COMPATTO		> FS

> FS STRUMENTO OLTRE FONDO SCALA

**NOTE :**

- N° CASSETTE = 4
- N° CAMPIONI IND. = 3
- N° PROVE SPT = 6

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. S2

RAPP. 1:100

DIAMETRO E SQUADRA		QUOTE		SECONDE	PROFONDITÀ METRI	DENOMINAZIONE STRATI	PUNTE ACQUEDOTTI		P.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )
R	C	ABSOLUTE	RELATIVE				PROVA SPT	PROVA SPT	
			0.00			RIPORTO COSTITUITO DA DETRITI E MASSI IN MATRICE LIMOSA - SABBIOSA			
			2.50		2.50				
			3.00		3.50	MASSI Ø 20 CIRCA CON POCO LIMO SABBIOSO - ROSSASTRO			
			6.50		6.50	MASSI Ø 50-20 CM. DURI CON LIMO IN BASSO			
			8.95		0.45	DETRITI C/LIMO PROVA SPT; SPT <sub>1</sub> 4-4-B			
			9.30		0.34	MASSI, Ø 10-15 CM. DURI			
			10.50		1.20	MASSI, DETRITI C.S. CON SABBIA LIMOSA FINA POCO ADDENSATA			
			10.95		0.45	IDEM C.S. PROVA SPT <sub>2</sub> ; SPT <sub>2</sub> 4-5-A			
			14.40		3.45	SABBIA FINA LIMOSA MEDIAMENTE ADDENSATA VERDASTRA			
			14.85		0.45	SABBIA FINA LIMOSA VERDE PROVA SPT <sub>3</sub> ; SPT <sub>3</sub> 4-5-7			
			16.00		1.15	SABBIA MEDIA FINA LIMOSA NERASTRA			
			19.00		3.00	MASSI Ø 10-20 CM. DURI			
			20.00		0.80	SABBIA MEDIA FINA GRIGIA SCURA			
			20.60		0.60	IDEM C.S. CAMP. IND. Ø 89 C1			

-160

(SEGUE)

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. 152

RAPP. 1:100

DIAMETRO I SISTEMA		QUOTE		SEGGIO	DENOMINAZIONE STRATI	PALI ACQUIFERE		P.P. (Kg./cm <sup>2</sup> )
ROTARY		ASSOLUTE	RELATIVE			Quota di Ingresso, m.	Quota di Uscita, m.	
A	C	2060						
		2100	0.40		SABBIA FINA LIMOSA GRIGIA SCUERA INGLOBANTE GHIAIA POCO ARROTONDATA			
		2145	0.45		IDEM C.S. PROVA SPT <sub>4</sub> ; SPT <sub>4</sub> 6-8-10			
		2200	0.53		IDEM C.S.			
Ø 127				210	CALCESCISTI NERASTRI IN BANCHI DI 2-5 CM CIRCA, MOLTO FRATTURATI			
	Ø 100			230	CALCESCISTI NERASTRI TETTONIZZATI E DISFATTI			
		2670		210	CALCESCISTI NERASTRI IN BANCHI DI ESIGLIO SPESSORE CON VENE E NODULI CAGITICI FRATTURATI			
		2880						

**NOTE :**

- N°3 CASSE CAMPIONI
- N°4 PROVE SPT
- N°1 CAMPIONE INDIST.

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. S3

RAPP. 1:100

MATERIE E QUANTITÀ		COSTI		MISURE	DENOMINAZIONE STRATI	VALORI ACQUISITI		PP (kg/cm <sup>2</sup> )
R	C	ABSOLUTI	RELATIVI			...	...	
			0.00					
		1.80		1.80	RIPORTO DI DETRITI, MASSI Ø 20 CM. E LIMO SABBIOSO IN BASSO			
Ø 168	Ø 126			4.20	MASSI Ø 10-20-30 CM. DI ROCCIA DURA CON POCO LIMO SABBIOSO LIMOSO DETRITICO			-2.30
		6.00		1.80	LIMO SABBIOSO MARRONE CON DETRITI OSSIDATI E MASSI Ø 20 CM. CIRCA			
		7.80		0.60	SABBIA FINA LIMOSA GRIGIO SCURA			
		8.40		0.45	IDEM C.S. PROV. SPT 1; SPT <sub>1</sub> 5-7-10			
		8.85		1.75	SABBIA FINA LIMOSA GRIGIO SCURA DA POCO A MEDIAMENTE ADDENSATA			
		10.60		3.40	LIMO SABBIOSO GRIGIO VERDE INGLOBANTE GHIAIA A SPICOLI VIVI Ø 2-3 CM.			
Ø 127	Ø 100			0.45	IDEM C.S. PROV. SPT 2; SPT <sub>2</sub> 5-6-9			
		14.00		0.55	SABBIA GROSSOLANA GRIGIO SCURA			
		14.45		5.00	CALCESISTI NERASTRI CON VENE FELDSPATICHE BIANCASTRE DURE FRATTURATI E ALTERATI			
		18.00		2.00	CALCESISTI COME SOPRA			
		19.45						
		20.00						
					(segue)			

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. 7. S<sub>3</sub>

RAPP. 1:100

MAREGGI E SERRAVALLE		QUOTE		ALTEZZA	PROFONDITÀ	DENOMINAZIONE STRATI	PALLE ACQUISITE		P.P. (Kg./cm <sup>3</sup> )
		ABSOLUTE	RELATIVE -m- 2000				Numero di PALLE. N°	Quantità di PALLE. Kg.	
R	C								
p 127	p 100		21.00		1.00	CALCESCIISTI NERASTRI CON INTERCALATA UNA LENTE DI FELSPATOIDE DURO			
			21.85		0.85	CALCESCIISTI NERASTRI A TRATTI CON VENATURE, POCO FRATTURATI			
			23.10		1.25	CALCESCIISTI NERASTRI C.S. PASSANTI A SCIISTI GRANITICI, DUTUOSI AL TATTO			

**NOTE:**  
 N°3 CASSETTE CAMPIONI  
 N°2 SPT

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. 54

RAPP. 1:100

DIAMETRO ESTERNO		QUOTE		POTENZA MATERIA	DENOMINAZIONE STRATI	VALORI ACQUISITI		P.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )
R	C	ABSOLUTE	RELATIVE			Quota di Percorso	Quota di Materiale	
			000		RIPORTO, CIOTTOLI, DETRITI CON LIMO SABBIOSO			
		200		200				1.74
				800	MASSI Ø 20 CM. CIRCA DI SERPENTINITI MOLTO DURI CON DETRITI DELLA STESSA NATURA E POCO LIMO			
		1100		800				
				800	MASSI COME SOPRA CON SABBIA			
		1300		800				
				150	SABBIA FINA LIMOSA			
		1450		150				
		1495		045	IDEM C.S. PROV. SPT <sub>1</sub> ; SPT <sub>1</sub> 7-10-13			
		1520		075	SABBIA LIMOSA			
		1600		080	CAMP. IND. PRESS. Ø 80 C <sub>1</sub>			
		1700		100	SABBIA FINA LIMOSA DA POCO A MEDIAMENTE ADDENSATA			1.00
				300	SABBIA FINA LIMOSA MEDIAMENTE ADDENSATA GRIGIO VERDASTRA			2.5
		2000						
					(SEGUE)			

Ø 168

Ø 100

Ø 127

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. 154

RAPP. 1:100

MATERIALE SONDAGGIO ROTARY		QUOTE		DESCRIZIONE	DENOMINAZIONE STRATI	VALORI ACQUISITI		P.P. (Kg./cm. <sup>2</sup> )
		ABSOLUTA	RELATIVA			Porosità di Liquore, %	Porosità di Vapore, %	
R	C	20.00						
Ø 127	Ø 100		20.00		2.00	SABBIA FINA LIMOSA MEDIAMENTE ADDENSATA		PP. 2.5
			24.30		2.50	SERPENTINOSCIISTI CON ALTERAZIONI TALCOSE E FRATTURATI		
			26.50		2.00	SERPENTINOSCIISTI VERDE SCURO O NERASTRO PARZIALMENTE FRATTURATI		
<p>NOTE: N° 4 CASSE CAMPIONI N° 1 CAMP. IND.</p>								

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. 55

RAPP. 1:100

ALTEZZA E PROFONDITÀ	QUOTA		SEZIONE	DENOMINAZIONE STRATI	VALORI ASSIEME		P.P. (Kg./cm <sup>3</sup> )
	ABSOLUTA	RELATIVA			Quota di Provenienza	Quota di Rilevamento	
		0.00					
Ø 168			270	RIPORTO SABBIOSO LIMOSO DETRITICO CON QUALCHE MASSO Ø 20 CM.			1.80
			220				
Ø 100			080	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO GIALLASTRO CON INCLUSA GHIAIA			P.P. 0.5
			300				
Ø 127			095	IDEM C.S. PROVA SPT 1 ; SPT <sub>1</sub> : 5-6-10			P.P. 1.00
			395				
Ø 100			205	LIMO SABBIOSO ARGILLOSO GIALLASTRO CON DETRITI INCLUSI			P.P. 1.25
			600				
Ø 127			045	IDEM C.S. PROVA SPT 2 ; SPT <sub>2</sub> : 6-9-2			P.P. 1.15
			645				
Ø 127			2.65	LIMO ARGILLOSO GIALLASTRO CON INCLUSI PICCOLI DETRITI, MOLTO MOLLE			P.P. 1.15
			900				
Ø 127			045	IDEM C.S. PROVA SPT 3 ; SPT <sub>3</sub> : 4-3-7			P.P. 1.15
			945				
Ø 127			2.00	DETRITI E CIOTTOLI CON LIMO SABBIOSO			P.P. 1.15
			1145				
Ø 127			045	IDEM C.S. PROVA SPT 4 ; SPT <sub>4</sub> : 14-9-24			P.P. 1.15
			1190				
Ø 127			1.10	MASSI DETRITI E SABBIA MEDIA FINA			P.P. 1.15
			1300				
Ø 127			2.00	MASSI Ø 20-30 CM. DI SERPENTINI VERDASTRE			P.P. 1.15
			1300				
Ø 127			050	LIMO ARGILLOSO NERO CON TORBA - CAMPIONE C1			P.P. 1.15
			1550				
Ø 127			050	LIMO ARGILLOSO NERO CON TORBA MOLLE			P.P. 1.15
			1600				
Ø 127			045	LIMO SABBIOSO PROVA SPT 5 ; SPT <sub>5</sub> : 2-2-3			P.P. 1.15
			1645				
Ø 127			1.55	LIMO SABBIOSO MOLLE			P.P. 1.15
			1800				
Ø 127			070	LIMO SABBIOSO NERO - CAMPIONE C2			P.P. 1.15
			1870				
Ø 127			045	SABBIA FINA PROVA SPT 6 ; SPT <sub>6</sub> : 6-8-12			P.P. 1.15
			1915				
Ø 127			045	SABBIA LIMOSA FINA GRIGIO VERDE SCARSAMENTE ADDENSATA			P.P. 1.15
			2000				

(SEGUE)

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. 755

RAPP. 1:100

MATERIE E CATEGORIA	PROFONDITÀ		DESCRIZIONE	DENOMINAZIONE STRATI	PROVE ACQUISITE		P.P. (KG/LM <sup>3</sup> )
	ABSOLUTA	RELATIVA			Numero di Puntate	Numero di Molle	
Ø 127 Ø 100	20.00						
	22.55		225	LIMO SABBIOSO GRIGIO SCURO CON TORBA			P.P. 1.00 P.P. 0.75 P.P. 0.75
	23.00		043	LIMO CON SABBIA FINE SPT 7; SPT 7: 3-7-14			
	25.00		200	SABBIA MEDIA GRIGIASTRA CON RESTI DI CONCHIGLIE			
	25.45		045	SABBIA FINA FINE SPT B; SPT B: 10-13-18			
26.50		105	SABBIA FINA VERDASTRA IN QUALCHE TRATTO LIMOSA				
<p><b>NOTE:</b>            CASSE CAMPIONI N°3            CAMPIONI INDIST. N°2            PROVE SPT N°8</p>							

# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. S6

RAPP. 1:100

BARRIERE E SOTTERRANEA		QUOTE		SEGNALI	DENOMINAZIONE STRATI	VALORI ACQUISITI		P.P. (kg./cm <sup>2</sup> )
R	C	ABSOLUTE	RELATIVE			Quota di Ingresso, m.	Quota di Uscita, m.	
			0.00		RIPORTO SABBIOSO LIMOSO, PIETRISCO			0.80
		2.55		2.55				
		3.00		0.45	IDEM C.S. PROVA SPT 1; SPT 1: 1-3-6			
				2.80	MASSI DI SERPENTINITE Ø 20 ÷ 30 CM.			
		3.80		0.80				
		6.25		2.45	SABBIA PROVA SPT 2; SPT 2: 5-5-7			
				8.75	DETRITI E PEZZI DI LEGNO			
		9.00						
		9.45		0.45	SABBIA, GHIAINO, PROVA SPT 3; SPT 3: 3-5-7			PP. 1.00
				2.80	SABBIA FINA LIMOSA VERDE			PP. 0.75
		12.25						PP. 0.75
				8.45	SABBIA MEDIO FINE POCO LIMOSA SCARSAMENTE ADDENSATA, VERDASTRA			PP. 0.75
		14.70						PP. 1.00
		15.00		0.30	LIMO SABBIOSO NERASTRO			
		15.70		0.70	IDEM C.S. COMP. IND. PRESS. C1			
		16.20		0.50	IDEM C.S. PROVA SPT 4; SPT 4: 6-8-12			
				5.45	SABBIA FINA LEGGERMENTE LIMOSA VERDASTRA MAGGIORMENTE ADDENSATA VERSO IL BASSO			PP. 1.00
		19.30						PP. 2.00
				0.81	SABBIA FINA LIMOSA VERDE SCURA SCARSAMENTE ADDENSATA			PP. 1.75
		21.20						PP. 0.75
								PP. 1.25
								PP. 1.00

(SEGUE)

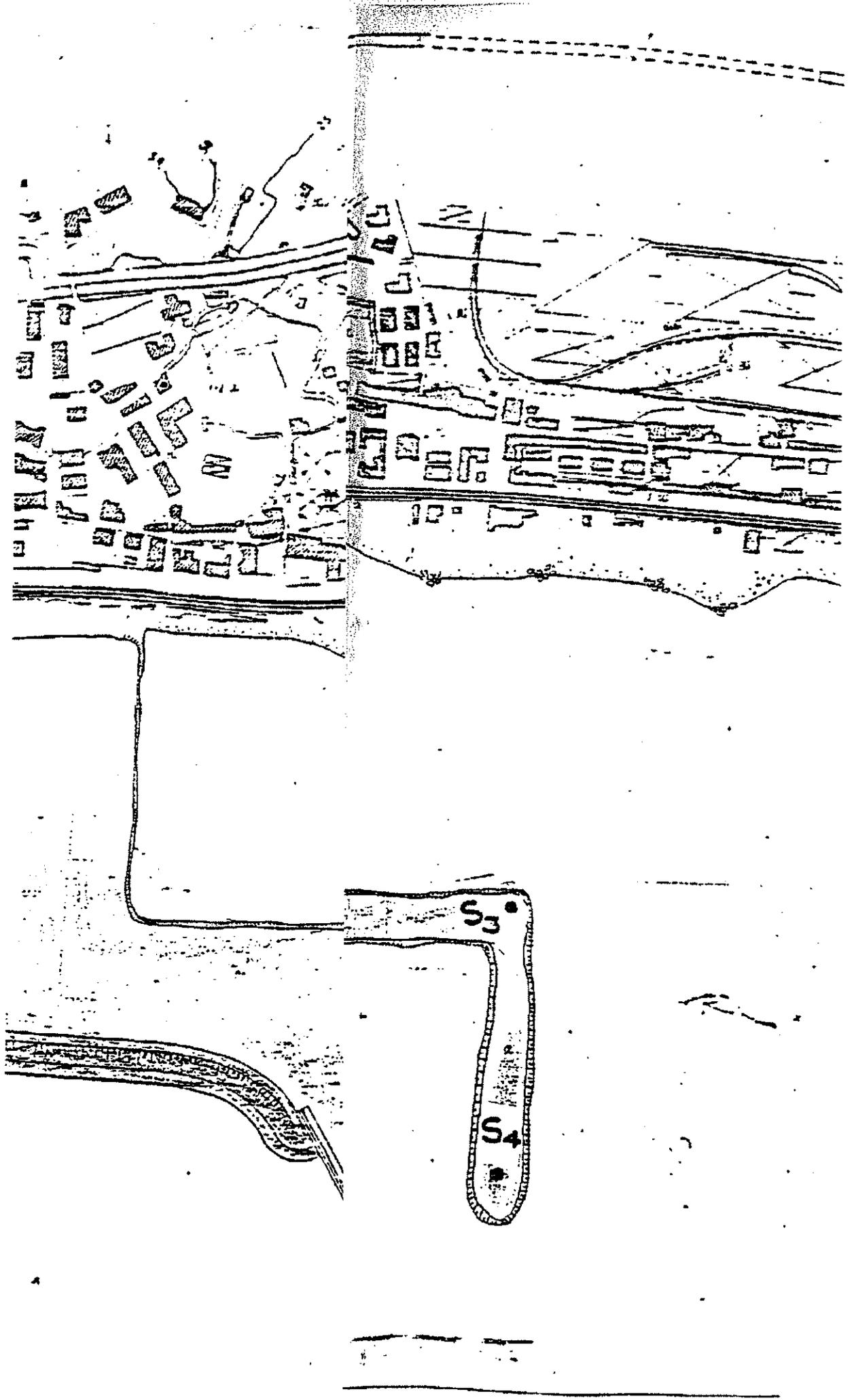
# PROSPETTO STRATIGRAFICO: SONDAGGIO N. 756

RAPP. 1:100

MATERIALE E DESCRIZIONE		QUOTE		SPELORI		DENOMINAZIONE STRATI	SALDI ACQUIFERE		P.P. (Kg/cm <sup>2</sup> )
R	C	ABSOLUTE	RELATIVE				Quota di Pozzo n.	Quota di Pozzo n.	
			21.20						
						SABBIA GROSSOLANA CON PICCOLE CONCHIGLIE E SABBIA FINA LIMOSA VERDASTRA			P.P. 1.00
			23.40						P.P. 1.05
			23.83		0.43	IDEM C.S. PROVA SPT <sub>3</sub> ; SPT <sub>3</sub> : 5-6-10			
			24.00		0.17	SABBIA MEDIA VERDASTRA			
					1.50	ROCCIA VERDASTRA CON LENTI BIANCASTRE COMPATTE			
			25.30						
					2.30	ROCCIA VERDASTRA A TRATTI COMPATTA A TRATTI SCIISTOSA E FRATTURATA			
			27.60						
<p>NOTE :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>N°3 CASSE CAMPIONI</li> <li>N°1 CAMPIONE INDISTURBATO</li> <li>N°5 PROVE PENETROMETRICHE</li> </ul>									

0/27

0/100







# STRATIGRAFIA - S 1

SCALA 1 : 83 Pagina 2/2

Riferimento: ITALFERR	Sondaggio: S 1
Località: VOLTRI (GE)	Quota: 5,130
Impresa esecutrice: EUROGEO SRL	Data: 15.01.2016
Coordinate: 194029,258 501104,089	Redattore: F. CONTE
Perforazione: carotaggio continuo	

S m	R V	A m	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	Caratteristiche meccaniche			Pa	ROD % 0 - 100
					σ <sub>c</sub>	S.P.T	N		
21				Roccia metamorfica (probabili calcescisti) caratterizzati da famiglie di fratture con inclinazioni di circa 35-45°. A tratti la roccia si presenta tettonizzata (con fratture riempite di materiale limoso-sabbioso cementato) e piegata.					
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									

UTILIZZO CAROTIERE DOPPIO T6 E CORONA DIAMANTE DA 15,00 A 30,00 M  
 INSTALLATO TUBAZIONE CIECA DIAMETRO 3 POLLICI A FONDO FORO  
 POZZETTO PROTEZIONE CARRABILE 30 x 30

COMMITTENTE: ITALFERR SPA

CANTIERE: GENOVA - VOLTRI PORTO

SONDAGGIO: S1

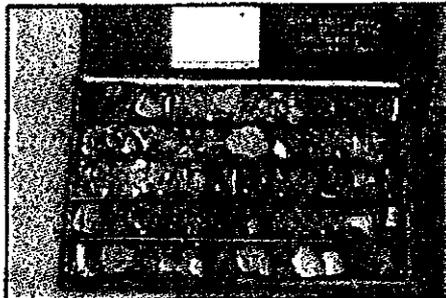
DAL 15/01/16 AL 16/01/16

PERFORAZIONE: C.C. 152/131mm (fino a 14,00m) - T6 (fino a 30m) - rivestimento fino 15,00m

**STRATIGRAFIA GEOMECCANICA SONDAGGIO S1**

MANOVRA	TIPO	INCLINAZIONE	SCABREZZA	ALTERAZIONE	GRADO FESSURAZIONE	RIEMPIMENTO	ROD
15,00-16,50m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	2	1	OX - LIMO	83%
16,50-18,00m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	3	1	OX - LIMO	69%
18,00-19,50m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	2	2	OX	71%
19,50-21,00m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	2	2	OX	68%
21,00-22,50m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	2	2	OX	94%
22,50-24,00m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	2	1	OX	75%
24,00-25,50m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	2	1	OX	91%
25,50-27,00m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	3-4	1-2	OX - LIMO	63%
27,00-28,50m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	2	1	OX	85%
28,50-30,00m	FR	30-35° / 40-45°	4-6 / 14-16	3-4	1	OX - LIMO	84%

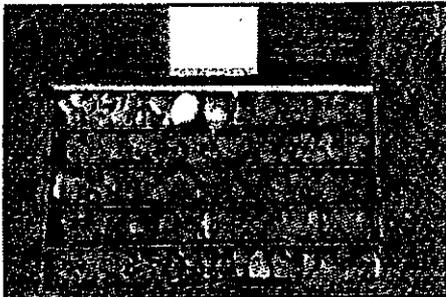
Committente: ITALFERR SPA	Sondaggio: S1
Riferimento: GENOVA VOLTRI PORTO	Data: DAL 15 AL 16.01.16
Fotografie - Pagina 1/1	Pagina 1



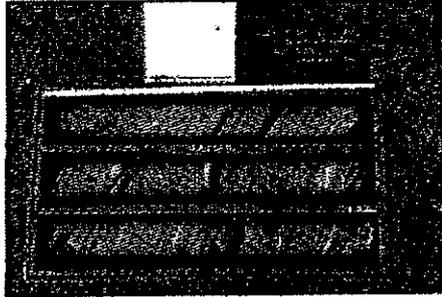
Sond. S1 cassa 1 da 0,00 a 5,00m



Sond. S1 cassa 2 da 5,00 a 10,00m



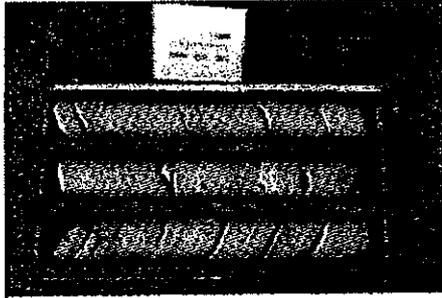
Sond. S1 cassa 3 da 10,00 a 15,00m



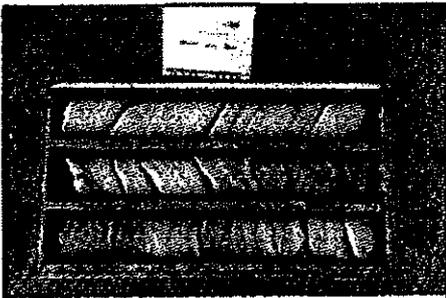
Sond. S1 cassa 4 da 15,00 a 18,00m



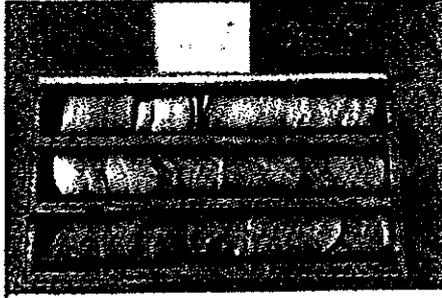
Sond. S1 cassa 5 da 18,00 a 21,00m



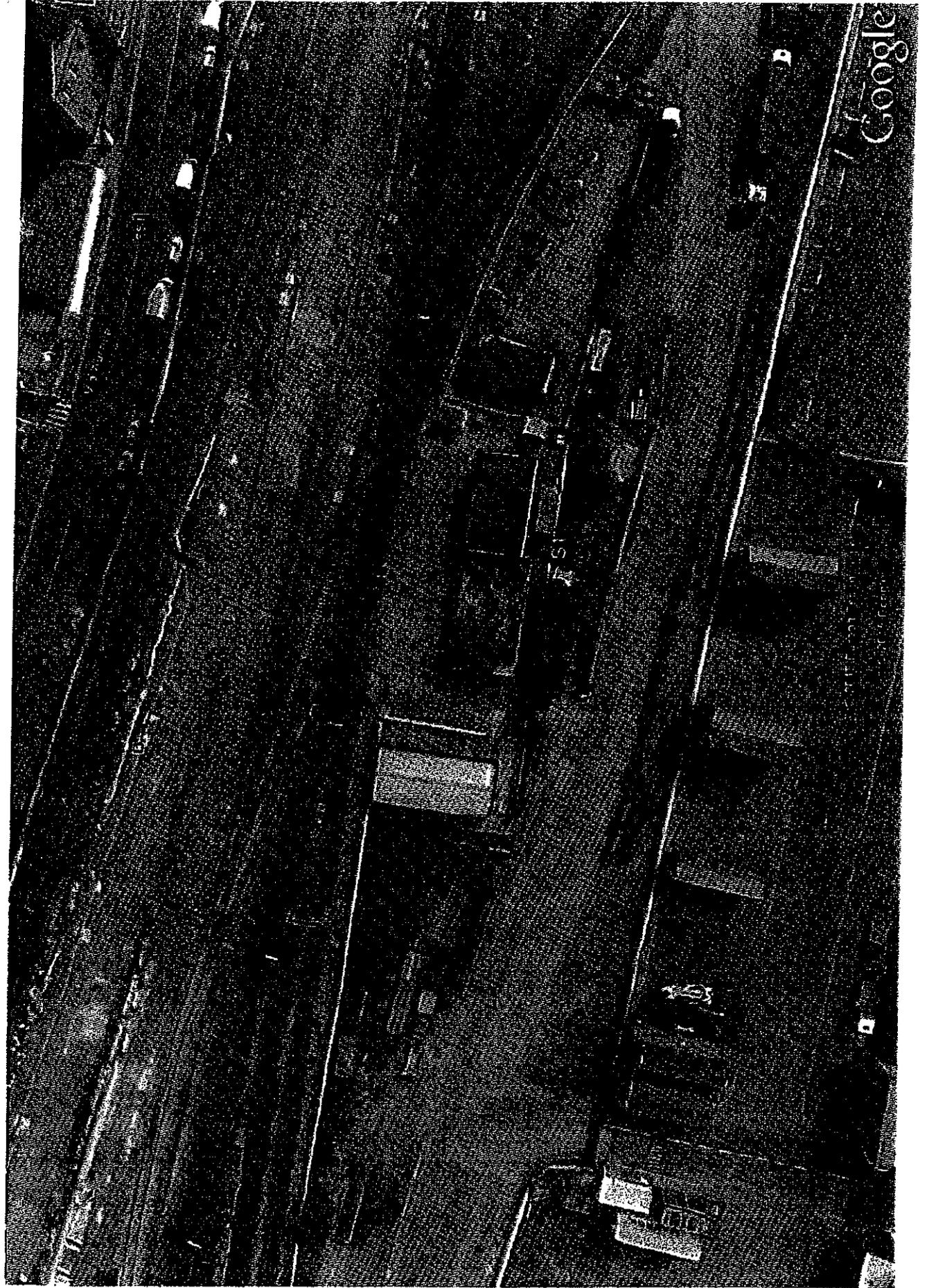
Sond. S1 cassa 6 da 21,00 a 24,00m



Sond. S1 cassa 7 da 24,00 a 27,00m



Sond. S1 cassa 8 da 27,00 a 30,00m



**ALLEGATO 3: INDAGINI GEOFISICHE**



**Dott. Geol. Alessandro Monti**  
Via Angelo Scala 2 / 13 • 16010 • Sant'Olcese (GE)  
Tel 392 988 76 34 • [alessandro.monti@almageo.it](mailto:alessandro.monti@almageo.it)

**Comune di Genova**  
Città Metropolitana di Genova

## **Indagini geofisiche**

Indagini a corredo della realizzazione di opera di  
contenimento presso il terminal containers  
dell'area portuale di Pra'-Voltri in Genova  
(sponda del canale di calma di Pra')

• • •

Committente: Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale  
Palazzo San Giorgio, Via della Mercanzia 2, 16124 Genova



Autorità di Sistema Portuale  
del Mar Ligure Occidentale



Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

## **SOMMARIO**

**1.0 PREMESSA**

**2.0 SONDAGGI GEOGNOSTICI PREGRESSI**

**3.0 INDAGINI MEDIANTE TROMOGRAFO DIGITALE (METODO HVSR)**

**4.0 INDAGINI MASW**

**5.0 CONCLUSIONI**

## **ALLEGATI**

TAV. 1: Elaborati grafici indagini HVSR

TAV. 2: Elaborati grafici indagini MASW

TAV. 3: Documentazione fotografica

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

### 1.0 Premessa

La presente relazione è redatta su incarico dell'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale (decreto n.228 del 20.02.2019, prot.n.0004652/P del 21.02.2019, CIG Z89272FB4E) e riguarda l'esecuzione di n.5 indagini geofisiche Hvsr mediante tomografo digitale e di n°4 prospezioni sismiche di tipo Masw effettuate presso il terminal containers posto in prossimità della fascia di rispetto di Genova-Pra nel Comune di Genova (GE). In particolare le indagini sono state eseguite lungo il lato Nord del molo, come visibile nella seguente Fig.2 ed in documentazione fotografica. Di seguito si espone l'attività svolta ed i risultati conseguiti.

### 2.0 Sondaggi geognostici pregressi

L'Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale ha fornito allo scrivente alcune stratigrafie relative a n.6 sondaggi geognostici pregressi eseguiti nell'ambito dei lavori di realizzazione del nuovo porto di Pra-Voltri. Nella planimetria che segue è visibile l'ubicazione dei sondaggi, nella parte alta dello stralcio cartografico si osserva la costa e la foce del Rio San Pietro (confrontare i luoghi con la successiva figura n.2 dove è riportata l'ubicazione delle indagini effettuate).

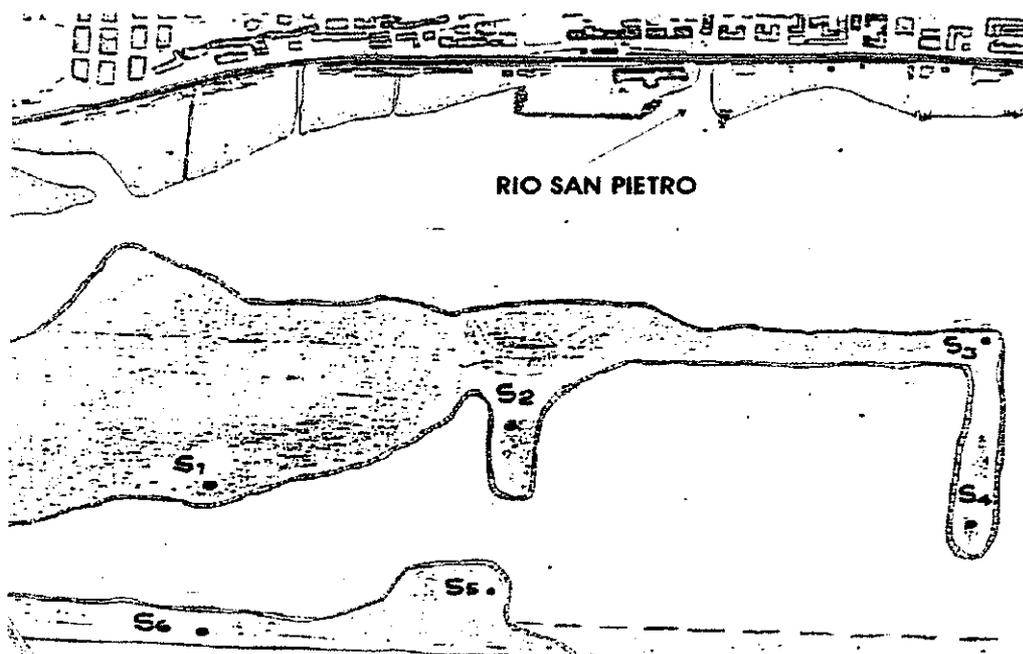


Fig.1 – ubicazione sondaggi geognostici pregressi eseguiti durante la realizzazione del porto di Pra-Voltri

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

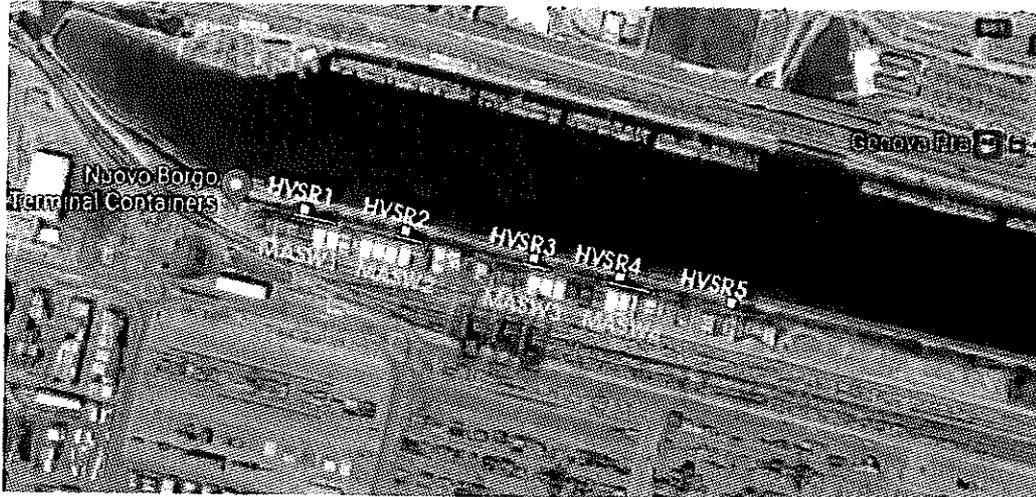


Fig.2 – ubicazione indagini geofisiche mediante tromografo (HVS) e prospezioni MASW

I sondaggi geognostici di maggiore riferimento risultano quelli posti più a Nord, ovvero i sondaggi S1, S2 e S3. Questi restituirono la presenza di riporti detritici superficiali passanti a massi e successivamente a depositi generalmente sabbiosi prima di intercettare il substrato roccioso attorno ai 24 metri nel sondaggio S2 e a 17 metri nell'S3 (il sondaggio S1 non intercettò il substrato roccioso). Le variazioni della profondità del substrato roccioso furono evidenziate anche dai sondaggi più lontani dalla costa in quanto il substrato fu riscontrato rispettivamente a 24 e 26 metri di profondità nel sondaggio S4 e nell'S6, mentre nell'S5 non fu intercettato (le suddette profondità sono misurate rispetto al piano campagna attuale in quanto l'esecuzione dei sondaggi avvenne a partire da una quota inferiore di 2 metri). Considerando ad esempio il sondaggio S6 si nota come questi intercettò il substrato roccioso mentre nel sondaggio S1 ciò non avvenne nonostante la minore distanza dalla costa. Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici furono eseguite prove SPT (standard penetration test) in foro di sondaggio e nella tabella che segue sono riportati i relativi risultati. I dati delle prove SPT sono stati elencati in funzione della profondità indicando a quale sondaggio appartengono. In tal modo si è ottenuta una ipotetica univoca stratigrafia con relativi valori del numero di colpi  $N_{spt}$  e lo stato di addensamento considerando i terreni in sito come sostanzialmente incoerenti.

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

Sondaggio	Litologia	Profondità	NSPT	Stato di addensamento
S1	riporto sabbioso	4,55 – 5	8,00	sciolto
S1	riporti di detriti in matrice sabbioso-limosa	5,00 – 5,45	5,00	sciolto
S5	limo sabbioso argilloso	5,5 – 5,95	16,00	compatto
S1	detriti con limo sabbioso	6,80 – 7,25	19,00	compatto
S5	sabbia	7,8 – 8,25	12,00	compatto
S5	limo sabbioso argilloso	8 – 8,45	11,00	compatto
S1	sabbia fina limosa	10,4 – 10,85	17,00	compatto
S1	detriti con limo	10,5 – 10,95	10,00	sciolto/compatto
S5	limo argilloso con piccoli detriti	11 – 11,45	10,00	sciolto/compatto
S1	sabbia e ghiaio	11 – 11,45	12,00	compatto
S5	detriti con sabbia limosa	12,5 – 12,95	9,00	sciolto
S5	detriti e ciottoli con limo sabbioso	13,45 – 13,9	33,00	denso
S1	detriti con sabbia	14,5 – 14,95	6,00	sciolto
S1	limo sabbioso con ghiaia	16, - 16,45	15,00	compatto
S2	sabbia fina limosa	16,4 – 16,85	12,00	compatto
S4	sabbia fina limosa	16,5 – 16,95	23,00	compatto
S1	limo sabbioso	17,75 – 18,2	20,00	compatto
S5	limo sabbioso	18 – 18,45	5,00	sciolto
S1	sabbia con depositi torbosi	19,5 – 19,95	8,00	sciolto
S5	limo sabbioso	20,7 – 21,15	20,00	compatto
S2	sabbia fina limosa con ghiaia	23 – 23,45	18,00	compatto
S5	limo con sabbia	24,55 – 25	21,00	compatto
S5	sabbia grossolana	25,4 – 25,85	16,00	compatto
S1	sabbia fine	26 -26,45	18,00	compatto
S5	sabbia fina	27 – 27,45	31,00	denso
S1	sabbia poco limosa	30 – 30,45	27,00	compatto

Fig.3 – risultati prove SPT in corrispondenza dei sondaggi geognostici pregressi

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

I dati della soprastante tabella partono da una profondità di 4,55 metri (le originarie profondità sono state corrette in quanto l'esecuzione dei sondaggi avvenne, come suddetto, ad una quota attorno ai 2 metri inferiore rispetto all'attuale piano campagna) e non si hanno quindi indicazioni sugli attuali terreni posti a modesta profondità a partire da piano campagna in corrispondenza dei quali non è stato possibile infiggere i geofoni per le indagini Masw, sia a causa della compattezza del terreno che per la presenza di significativo scheletro lapideo. I valori del numero di colpi indicarono quindi un'alternanza di materiali a differente stato di addensamento con maggiore presenza di terreni sciolti nella zona intermedia. La suddetta colonna stratigrafica è, come suddetto, frutto dell'unione dei risultati di prove avvenute nei vari fori di sondaggio e, sebbene si possano verosimilmente presumere variazioni da punto a punto (a maggior ragione considerando la presenza dei riporti), può ritenersi indicativa del contesto generale.

### **3.0 Indagini mediante tromografo digitale (metodo HVSR)**

Le misure di microtremore ambientale sono state effettuate per mezzo di tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento (Tromino®, Micromed SpA) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz per un tempo di 20 minuti.

Lo strumento utilizzato si basa sulla metodologia sismica passiva con misura del rumore sismico mediante un'indagine a stazione singola dei rapporti spettrali (HVSR, Metodo di Nakamura). Il metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum) e permette sia la definizione delle caratteristiche della funzione di amplificazione in termini di frequenze fondamentali di risonanza sia la valutazione della stratigrafia in termini di profondità delle principali superfici di discontinuità. Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza. Per l'interpretazione software è stato utilizzato il programma *GRILLA* realizzato appositamente per le elaborazioni dei dati acquisiti con il tromografo utilizzato.

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale in campo libero è stata ricavata la curva H/V, adottando una larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s ed effettuando un lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale.

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

La valutazione delle misure è stata condotta mediante il software *Grilla* sulla base delle indicazioni fornite dal progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations) che ha stabilito le linee guida per una corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale.

Risultati delle misure:

Le misure effettuate hanno restituito risultati omogenei sia in termini di contrasti di rigidità, e relative frequenze di riferimento, sia nell'andamento delle curve sperimentali.

Come visibile negli elaborati grafici in allegato, le misure T1-T2-T3-T4-T5 hanno restituito la presenza di un significativo contrasto di rigidità posto rispettivamente attorno alle seguenti frequenze: 4,94 Hz, 4,06 Hz, 3,88 Hz, 3,75 Hz e 3,63 Hz. Con riferimento al grafico relativo agli spettri delle singole componenti (Fig.4 nei rispettivi allegati), è possibile attribuire ai picchi posti in corrispondenza delle suddette frequenze un'origine stratigrafica in quanto è presente un minimo sulla componente verticale ed un massimo sulle altre componenti.

Circa le curve sperimentali si nota come tutti i grafici relativi agli spettri delle singole componenti (Fig.4 nei rispettivi allegati) mostrino una componente verticale che presenta un massimo rispetto alle altre componenti in genere a partire da una frequenza attorno ai 30 Hz fino a 9 – 10 Hz (nella misura T1 i valori di frequenza sono leggermente superiori). Tale aspetto è connesso alla presenza di terreni meno consistenti sottoposti a terreni più competenti. Nel merito si nota come le misure T1 – T2 – T4 mostrino attorno ai 15-20 Hz una discesa della curva della componente verticale (più visibile nelle misure T2 e T4) la quale indica un possibile locale miglioramento dei terreni per poi ripresentarsi una successiva diminuzione di competenza fino al contrasto di rigidità che domina le curve sperimentali. Si nota come ad alte frequenze la curva della componente verticale (Fig.4 nei rispettivi allegati) non inizi presentando un massimo ma bensì sia sottoposta alle altre curve e che la curva sperimentale (Fig.1 nei rispettivi allegati) presenti un modesto picco (più accentuato nelle misure T2 e T5) attorno ai 40 Hz. Tali aspetti escludono quindi il posizionamento dello strumento su superfici rigide che avrebbero prodotto un massimo della componente verticale già in corrispondenza della massima frequenza e indicano come inizialmente il terreno presenti anche un miglioramento indicato dal modesto contrasto di rigidità attorno ai 40 Hz per poi solo in seguito presentare caratteristiche inferiori rispetto agli orizzonti soprastanti.

La presenza di terreni meno competenti sottoposti ad altri più competenti trova riscontro nei

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

sondaggi geognostici pregressi che, come visto, sono contraddistinti da un'alternanza di terreni con differente stato di addensamento e con maggiore presenza di materiali sciolti indicativamente fra i 10 ed i 20 metri da piano campagna.

Come suddetto le curve sperimentali delle varie misure risultano quindi particolarmente confrontabili e ciò vale anche per il forte contrasto di rigidità che determina il passaggio al substrato roccioso. Tale contrasto è evidenziato dai picchi posti a frequenze comprese fra 4,94 e 3,63 Hz i quali risultano sempre di ampiezza molto elevata. A frequenze più basse non sono presenti ulteriori picchi e le curve sperimentali scendono fino ad assestarsi attorno ad un rapporto H/V pari a 1 (nel merito, quale modesta differenza, si nota come nelle misure T3 e T5 tale fenomeno avvenga meno repentinamente rispetto a quanto si osserva nelle altre misure).

#### **4.0 Indagini MASW**

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta nella fattispecie in corrispondenza di un allineamento di geofoni posti alla quota del piano campagna. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh le quali viaggiano con una velocità dipendente dalla rigidità dei terreni o degli ammassi rocciosi interessati dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980). Onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi ed interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è il 'metodo attivo' dove le onde superficiali sono state generate mediante l'uso di mazza da 10 kg è successivamente ricevute, come suddetto, da uno stendimento lineare di sensori (geofoni).

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente in un intervallo di frequenze indicativamente compreso tra 5Hz e 70Hz, da cui informazioni sulla parte più superficiale del suolo compresa entro i 30 metri, ciò in funzione della rigidità del suolo.

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

A seguito dell'importazione delle tracce acquisite sul sito all'interno del software di elaborazione (utilizzato il software EasyMasw della Geostru Software), il metodo è stato sviluppato come segue:

- analisi spettrale finalizzata alla definizione della curva di dispersione sperimentale;
- visualizzazione della curva di dispersione teorica sullo spettro velocità-frequenze mediante curva di tendenza derivata dalla regressione polinomiale su cui vengono successivamente individuati i punti da utilizzare per la successiva procedura di inversione. Con la regressione polinomiale è possibile scegliere il polinomio di regressione ed i punti relativi ai massimi elaborati nell'analisi spettrale che saranno utilizzati per il calcolo;
- operazione di picking sullo spettro di velocità;
- operazione di inversione con modifica dei parametri di riferimento degli strati che costituiscono il modello del suolo fino al raggiungimento di una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo definito. Nell'ambito di tale operazione sono attribuiti degli intervalli di ricerca per quanto riguarda gli spessori degli strati (spessore minimo, iniziale e massimo) e per le velocità Vs (velocità minima, velocità assegnata di primo tentativo e velocità massima);
- individuazione dei profili di velocità delle onde di taglio Vs compatibili con l'andamento della curva di dispersione fra i quali viene evidenziato quello relativo alla minima percentuale di errore e/o al minimo fattore di disadattamento della soluzione trovata. La generazione dei modelli è formulata in modo da minimizzare il valore di una funzione obiettivo che valuta l'efficienza della soluzione.

La strumentazione utilizzata è un Sismografo Dolang DBS280B a 24 bit con 12 geofoni verticali da 4,5 Hz, energizzazione mediante mazza da 10 kg. Parametri di acquisizione: n° di campioni per canale 2048, intervallo di campionamento 1,024 ms, frequenza di campionamento 977 Hz, tempo di acquisizione 2,1 sec. Geometria dello stendimento con distanza intergeofonica di 3 metri (stese Masw1 e Masw4) e di 2 metri (stese Masw2 e Masw3), primo offset (prima energizzazione) posto a 3 volte la distanza intergeofonica (Manuale EasyMasw) e seconda energizzazione posta secondo il modo 'alternato' con sorgente ulteriormente allontanata di una lunghezza pari a metà della distanza intergeofonica (con i geofoni che restano immobili) (Manuale WinMasw 2018, Modellazione del sottosuolo con la geofisica applicata alle onde di superficie, Cetraro F., 2014), tipo di posizionamento che permette anche un'eventuale somma di dataset.

<p>Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019</p>	<p>Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE</p>	<p>rev. 0</p>	
---	--	-------------------	--

**Elaborazione ed interpretazione delle misure:**

L'elaborazione dei dati acquisiti ha permesso di definire i profili di Vs che per comodità espositiva si riportano di seguito (i profili sono visibili anche in allegato Tav.2 assieme ai grafici delle indagini Masw).

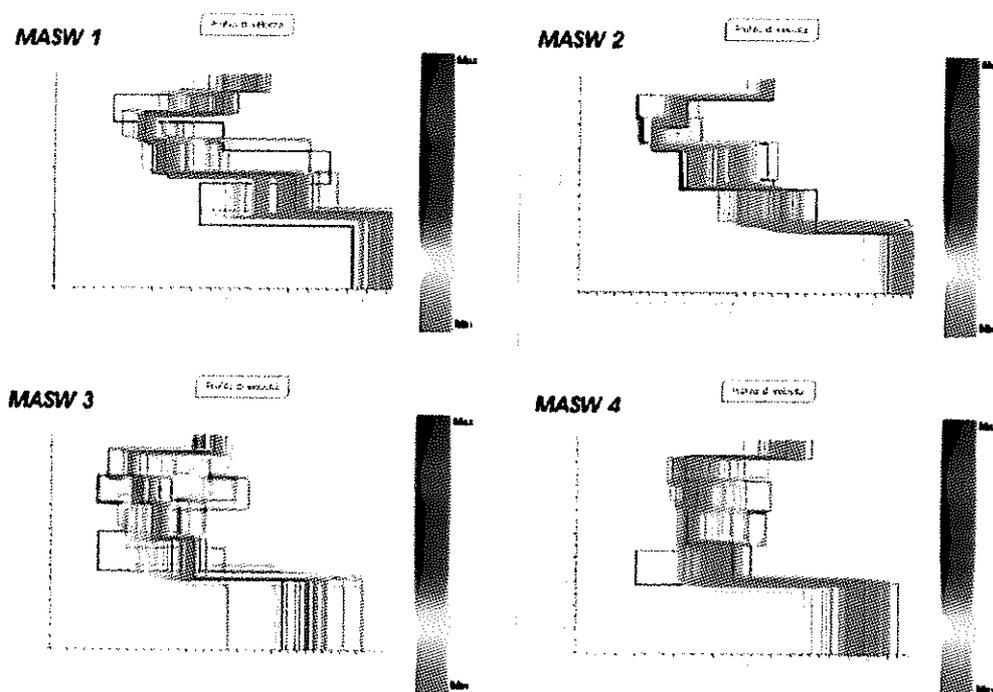


Fig.4 – profili di Vs derivati dalle indagini Masw

Di seguito sono riportati i dati relativi agli spessori degli strati individuati nei diversi profili:

masw1 Strato n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.85	3.85	513.9
2	8.45	4.59	428.4
3	14.43	5.99	232.2
4	21.26	6.83	280.8
5	29.10	7.83	616.3
6	∞	∞	859.4

Fig.5 – dati profilo indagine masw 1

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

masw2 Strato n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	4.50	4.50	550.0
2	10.32	5.82	305.6
3	15.32	5.00	222.5
4	23.32	8.00	289.3
5	32.32	9.00	677.1
6	∞	∞	958.7

Fig.6 – dati profilo indagine masw 2

masw3 Strato n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.76	3.76	477.2
2	8.67	4.90	236.2
3	14.49	5.82	268.6
4	21.85	7.36	320.7
5	30.44	8.59	420.6
6	∞	∞	757.2

Fig.7 – dati profilo indagine masw 3

masw4 Strato n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.78	3.78	536.4
2	8.68	4.90	279.6
3	14.40	5.72	309.8
4	21.95	7.55	284.6
5	29.84	7.89	402.4
6	∞	∞	739.4

Fig.8 – dati profilo indagine masw 4

Le indagini Masw, oltre a definire i suddetti profili di Vs, confermano e integrano quanto desunto dai sondaggi geognostici pregressi e dalle misure HVSR. In particolare si nota quanto segue:

-le indagini HVSR hanno mostrato come la presenza di terreni meno competenti rispetto a quelli sovrastanti si abbia a partire da una frequenza fra i 30 ed i 35 Hz. A tali frequenze corrisponde uno spessore del primo orizzonte compreso fra 3,71 e 4,33 metri considerando una velocità media derivata dalla indagini MASW pari a circa 520 m/s (la formula che lega la frequenza alla velocità Vs ed allo spessore è:  $f = Vs / 4H$ ). Le indagini MASW restituiscono uno spessore del primo orizzonte variabile fra 3,76 e 4,50 metri a cui fa seguito una diminuzione di

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

velocità, spessore che è quindi ampiamente confrontabile con quanto desumibile dall'indagine HVSR;

-i sondaggi geognostici evidenziano la presenza significativa di massi, ciottoli e pietrame fino anche a 10-12 metri di profondità. Fino a tale quota, soprattutto nei sondaggi dall'S1 all'S4, le prove SPT in foro di sondaggio hanno interessato la matrice sabbiosa in cui si trovano i suddetti elementi lapidei grossolani. La componente sabbiosa aumenta con la profondità mentre viceversa i massi, i ciottoli ed il pietrame diminuiscono fino a scomparire. I risultati delle indagini MASW relativi al primo orizzonte ( $V_s$  media di circa 520 m/s) si ritengono in linea con la presenza di orizzonti superficiali prevalentemente ghiaiosi come ad esempio è visibile nella seguente tabella dove ghiaie e suoli con percentuale in ghiaia >20% risultano avere  $V_s$  compresa fra 375 e 700 m/s (e  $V_s$  media di 540 m/s);

Tabella 1. Velocità caratteristiche delle onde S nei vari tipi di suolo [cfr. Borcherdt, 1994]

TIPO DI SUOLO	$V_s$ min [m/s]	$V_s$ media [m/s]	$V_s$ max [m/s]
<b>ROCCE MOLTO DURE</b> (es. rocce metamorfiche molto poco fratturate)	1400	1620	-
<b>ROCCE DURE</b> (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
<b>SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE</b> (es. rocce sedimentarie ignee, tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
<b>ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI</b> (es. sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
<b>TERRENI TENERI</b> (es. terreni di riempimento sotto laida, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

Fig.9 – tabella valori indicativi di  $V_s$  (tratta da Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., 2007. Effetti di sito e  $V_s30$ : una risposta alla normativa antisismica, Il Geologo dell'Emilia Romagna, Rivista dell'Ordine dei Geologi Emilia-Romagna, ANNO VII/2007 – N.25)

-in riferimento ai terreni meno consistenti le indagini MASW hanno restituito spessori compresi fra 12,82 metri (MASW 1, più in linea con i risultati dei sondaggi) e 18 – 18,8 metri per le altre indagini. Sebbene tale differenza, si nota tuttavia come le indagini MASW restituiscano velocità superiori a 360 m/s (limite inferiore per le rocce tenere o dei terreni molto addensati o molto consistenti indicato dalle Norme Tecniche sulle Costruzioni) a partire da profondità comprese

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

fra 21,26 e 23,32 metri da piano campagna. Tale aspetto è in linea con quanto desunto dai sondaggi geognostici che individuano la presenza continuativa di terreni almeno compatti a partire dai 20 metri di profondità (da prove SPT). Si nota inoltre come il substrato roccioso, laddove evidenziato, sia stato intercettato rispettivamente a 24 – 17 – 24 – 26 metri (rispetto all'attuale piano campagna) nei sondaggi S2 – S3 – S4 – S5. Si nota come l'ammasso roccioso sia rappresentato da calcescisti (in un sondaggio vi è un riferimento a serpentinoscisti) fratturati e alterati, fino anche ad essere indicati come 'disfatti', ai quali si ritiene possano essere attribuiti i quinti orizzonti (con tetto fra 21,26 e 23,32 metri) aventi Vs compresa fra 402 e 677 m/s e che si ritengono riconducibili al cappellaccio di alterazione del substrato. La profondità media del tetto del substrato roccioso avente migliori caratteristiche meccaniche (sesto orizzonte) desunta dalle indagini MASW risulta invece pari a 30,4 metri. Tale orizzonte risulta avere valori di Vs compresi fra 739 e 958 m/s, perciò non sempre rigorosamente identificabile con il bedrock sismico.

In merito a quanto sopra esposto si ritiene quindi che i risultati delle indagini svolte, rapportate anche con i sondaggi geognostici pregressi, siano confrontabili.

Sulla base dei profili di Vs, ovvero delle precedenti tabelle da Fig.5 a Fig.8, è possibile ottenere la seguente tabella relativa ai valori medi di profondità, spessore e velocità delle onde S dei vari strati:

Strato n.	Profondità media (m)	Spessore medio (m)	Vs media (m/s)
1	3,97	3,97	519,38
2	9,03	5,05	312,45
3	14,66	5,63	258,28
4	22,10	7,44	293,85
5	30,43	8,33	529,10
6	∞	∞	828,68

Fig.10 – valori medi dei dati desunti dalle indagini MASW per i diversi strati

"La presenza di una inversione di velocità nel profilo delle Vs di una successione litostratigrafia si intende realizzata quando un terreno rigido sovrasta stratigraficamente un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto Vs rig/Vs sof > 2, con la Vs dello strato più rigido maggiore di 500 m/s" (Gruppo di lavoro MS, 2008. Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd). Sulla base di quanto sopra

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

la diminuzione media di velocità riscontrata in particolare fra il primo ed il secondo orizzonte (519 / 312 = 1,66) non è tecnicamente riconducibile ad una inversione di velocità così come definita dai richiamati indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, benché indichi comunque una diminuzione delle proprietà dei terreni.

## 5.0 CONCLUSIONI

Ai fini della definizione dell'azione sismica l'effetto della risposta sismica locale deve essere valutato secondo quanto indicato nel DM 17.01.2018 paragrafo 3.2.2 il quale indica quanto segue: "Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. 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,  $V_s$ ".

Secondo il DM 17.01.2018 la classificazione del sottosuolo si effettua quindi in base alle condizioni stratigrafiche, alle proprietà dei terreni ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s) mentre, a titolo di confronto, la precedente normativa DM 14.01.2008 prevedeva il calcolo della  $V_{s,30}$ .

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \quad V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Formula  $V_{s,30}$  nel DM 2008

Formula  $V_{s,eq}$  nel DM 2018

Nelle suddette espressioni  $h_i$  è lo spessore dell' $i$ -esimo strato;  $V_{s,i}$  è la velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;  $N$  è il numero di strati;  $H$  (al numeratore) è la profondità del substrato definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s (definizione di  $H$  nel DM 17.01.2018).

Le indagini effettuate hanno restituito, come precedentemente visto, una profondità del bedrock sismico (ovvero del substrato rigido con  $V_s > 800$  m/s) compresa fra 29,10 e 32,32 metri da p.c., da cui un valore medio di 30,43 metri. Con il nuovo DM 17.01.2018 si ha una  $V_{s,eq}$  compresa fra 323,8 e 359,1 m/s considerando le singole indagini e pari a 349,3 m/s

Comune di Genova – Terminal containers c/o porto Pra-Voltri Data prove: 21.02.2019	Oggetto : INDAGINI GEOFISICHE	rev. 0	
---	-------------------------------------	-----------	--

considerando la condizione media di cui nella precedente Fig.10. In riferimento a quest'ultima condizione si nota come in questo caso il calcolo della  $V_{s,eq}$  a partire da piano campagna coincida con quello della  $V_{s,30}$  della precedente normativa DM 14.01.2008 in quanto il valore di H (spessore al numeratore nella formula precedentemente vista) assume un valore di 30 metri. Alla luce di quanto sopra le sole categorie che possono essere di riferimento su base stratigrafica sono la B, la C e la D, sia considerando la norma del 2018 che quella precedente del 2008.

Si nota che il considerare un'eventuale presenza del bedrock sismico entro i 30 metri di profondità, dati gli spessori desunti dalle Indagini, determini una scelta fra le sole categorie B ed E nel caso di DM 2018, mentre secondo il DM 2008 la categoria E sarebbe inapplicabile in quanto il bedrock sismico era previsto entro i 20 metri di profondità.

Considerando i risultati relativi alla condizione media rilevata, con bedrock sismico oltre i 30 metri di profondità e  $V_{s,eq} = V_{s,30}$  pari a 349,3 m/s, si ritiene di attribuire al sito la Categoria di sottosuolo C la quale è così definita nell'ambito dei DM sopra richiamati:

- DM 2008: 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  $V_{s,30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s;
- DM 2018: 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.

Sant'Olcese, 25 Febbraio 2019

Dott. Geol. Alessandro Monti



**TAV. 1**

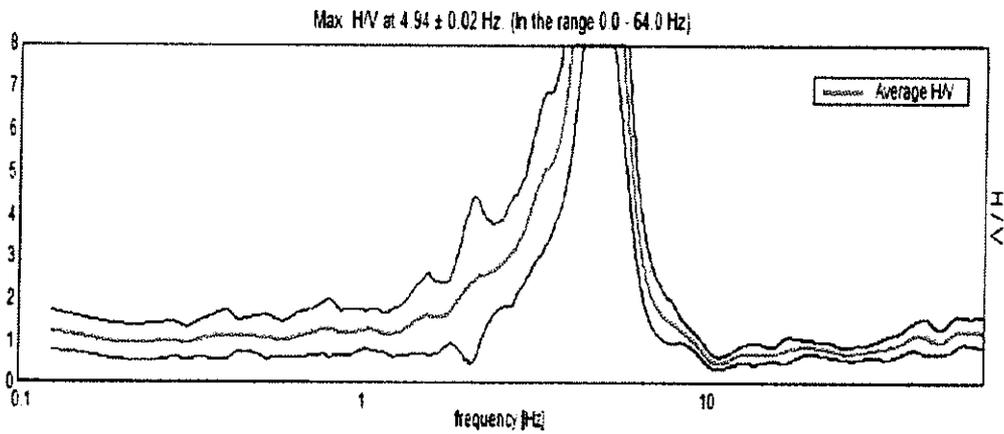
**ELABORATI GRAFICI INDAGINI  
SISMICHE PASSIVE A STAZIONE SINGOLA  
MEDIANTE TROMOGRAFO DIGITALE**

**MOLO TERMINAL CONTAINERS PRESSO FASCIA DI RISPETTO DI GENOVA-PRA  
MISURA T1**

Instrument: TRZ-0103/01-10  
Start recording: 21/02/19 12:05:13 End recording: 21/02/19 12:25:14  
Smoothing type: Triangular window  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 63% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

**FIG.1 HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



**FIG.2 H/V TIME HISTORY**

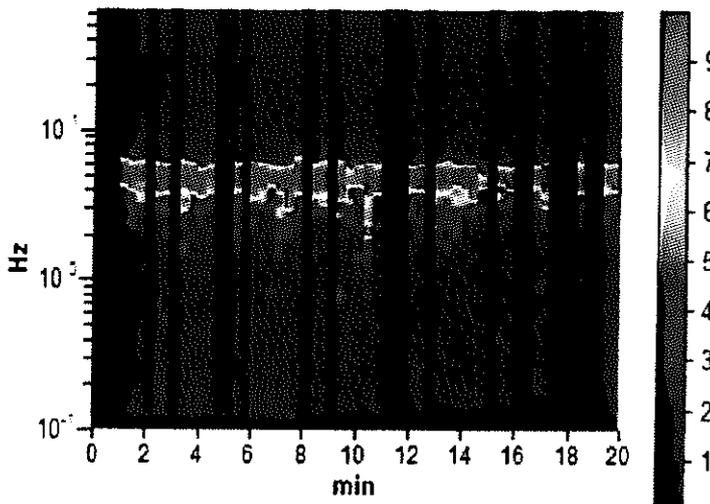


FIG.3 DIRECTIONAL H/V

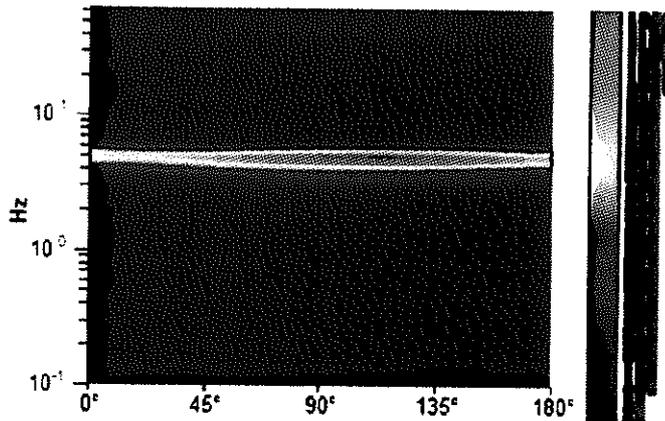


FIG.4 SINGLE COMPONENT SPECTRA

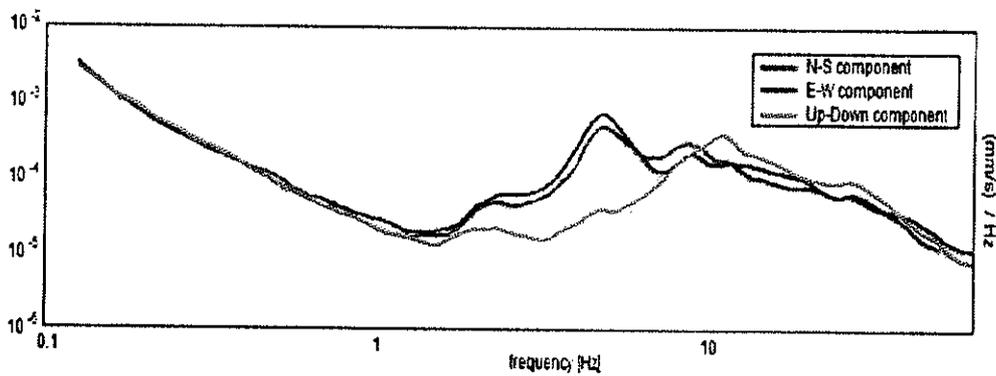


Tabella n°2  
LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a  $4.94 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

*Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]*

$f_0 > 10 / L_w$ :	$4.94 > 0.50$	[ OK ]
$nc(f_0) > 200$ :	$3752.5 > 200$	[ OK ]
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$		
$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 60 out of 238 times	[ NO ]

*Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 6 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]*

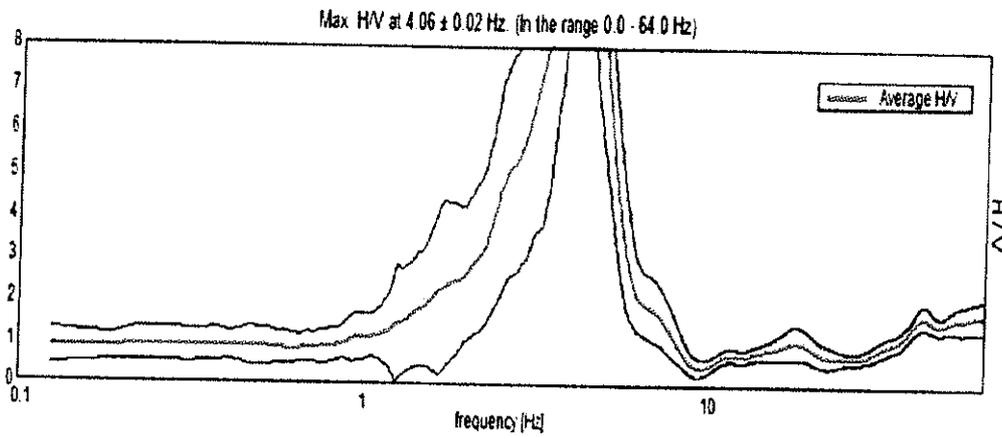
Exists f- in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$ :	3.938 Hz	[ OK ]
Exists f+ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$ :	5.688 Hz	[ OK ]
$A_0 > 2$ :	$15.55 > 2$	[ OK ]
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$ :	$ 0.00176  < 0.05$	[ OK ]
$sf < e(f_0)$ :	$0.0087 < 0.24688$	[ OK ]
$sA(f_0) < q(f_0)$ :	$2.4729 < 1.58$	[ NO ]

**MOLO TERMINAL CONTAINERS PRESSO FASCIA DI RISPETTO DI GENOVA-PRA  
MISURA T2**

Instrument: TRZ-0103/01-10  
Start recording: 21/02/19 13:03:09 End recording: 21/02/19 13:23:10  
Smoothing type: Triangular window  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 82% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

**FIG.1 HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



**FIG.2 H/V TIME HISTORY**

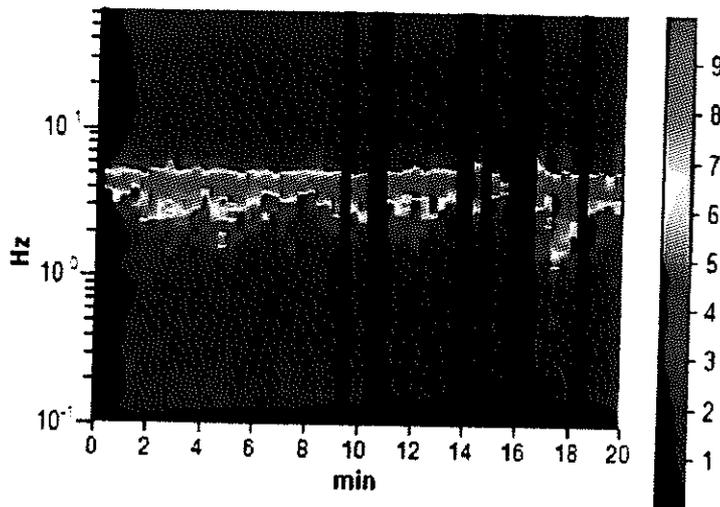


FIG.3 DIRECTIONAL H/V

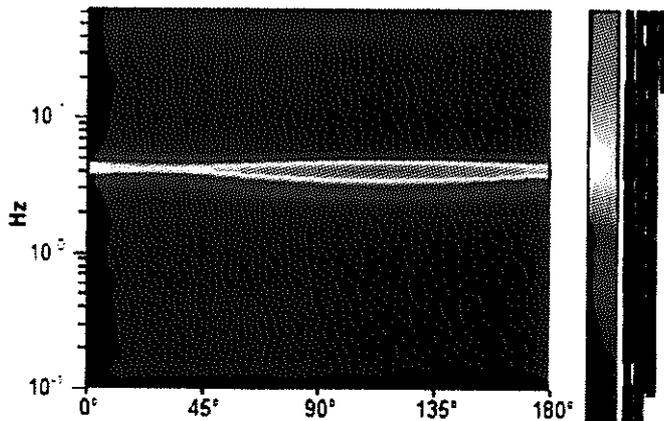
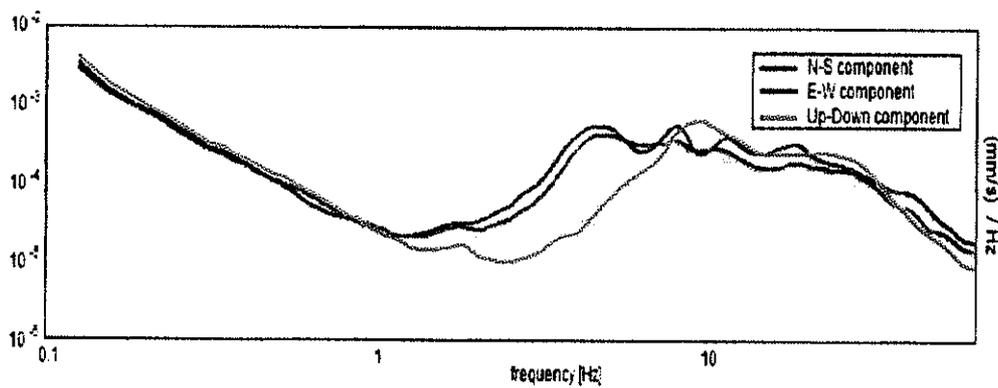


FIG.4 SINGLE COMPONENT SPECTRA



**Tabella n°2  
LINEE GUIDA SESAME (2005)**

**Picco H/V a  $4.06 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

*Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]*

$f_0 > 10 / L_w$ :	$4.06 > 0.50$	[ OK ]
$nc(f_0) > 200$ :	$3981.3 > 200$	[ OK ]
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$		
$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 91 out of 196 times	[ NO ]

*Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]*

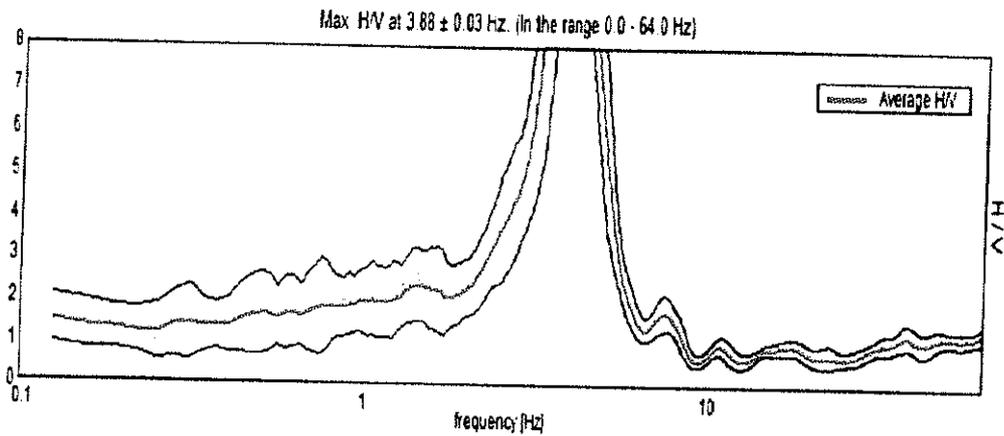
Exists f- in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$ :	3.25 Hz	[ OK ]
Exists f+ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$ :	5.0 Hz	[ OK ]
$A_0 > 2$ :	$15.35 > 2$	[ OK ]
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$ :	$ 0.00281  < 0.05$	[ OK ]
$sf < e(f_0)$ :	$0.01143 < 0.20313$	[ OK ]
$sA(f_0) < q(f_0)$ :	$2.3645 < 1.58$	[ NO ]

**MOLO TERMINAL CONTAINERS PRESSO FASCIA DI RISPETTO DI GENOVA-PRA  
MISURA T3**

Instrument: TRZ-0103/01-10  
Start recording: 21/02/19 14:34:07 End recording: 21/02/19 14:54:08  
Smoothing type: Triangular window  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 53% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

**FIG.1 HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



**FIG.2 H/V TIME HISTORY**

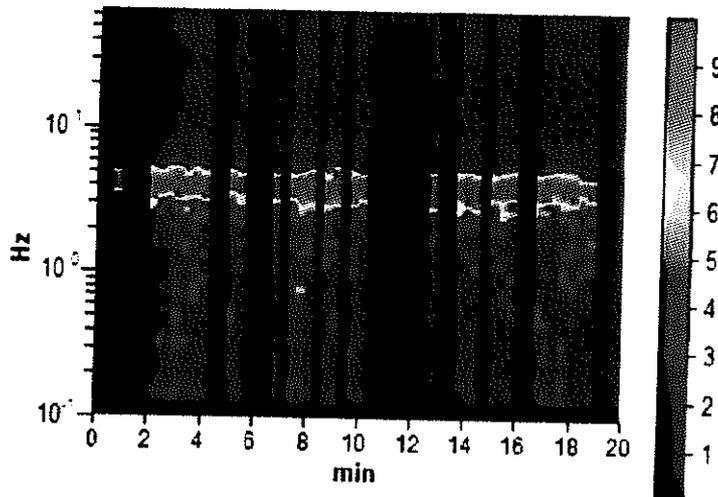


FIG.3 DIRECTIONAL H/V

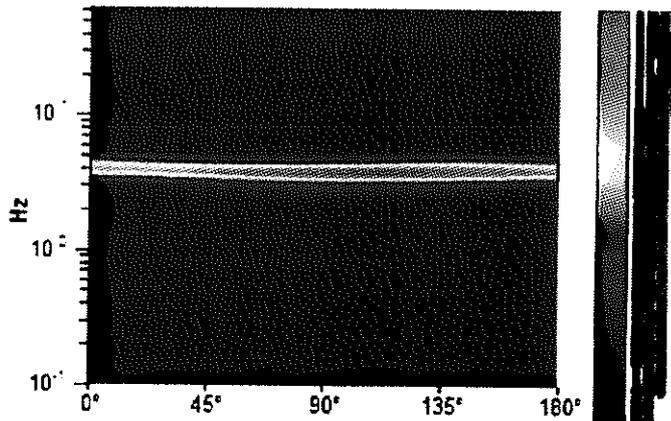
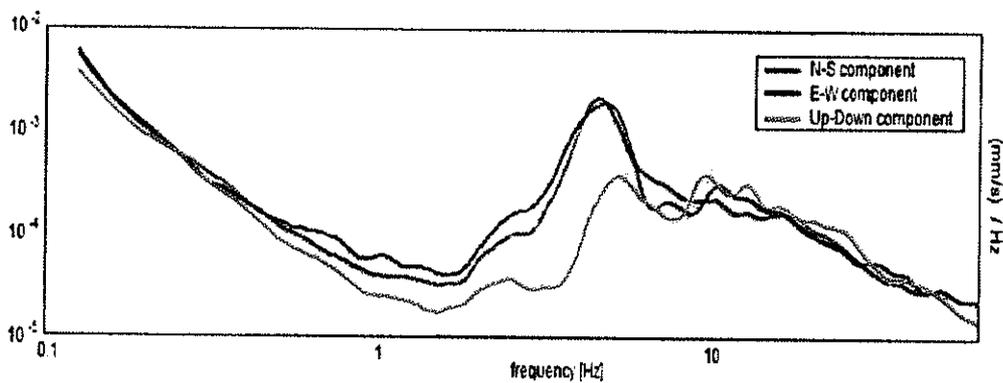


FIG.4 SINGLE COMPONENT SPECTRA



**Tabella n°2  
LINEE GUIDA SESAME (2005)**

**Picco H/V a  $3.88 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]**

$f_0 > 10 / L_w$ :	$3.88 > 0.50$	[ OK ]
$nc(f_0) > 200$ :	$2480.0 > 200$	[ OK ]
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$		
$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 47 out of 187 times	[ NO ]

**Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]**

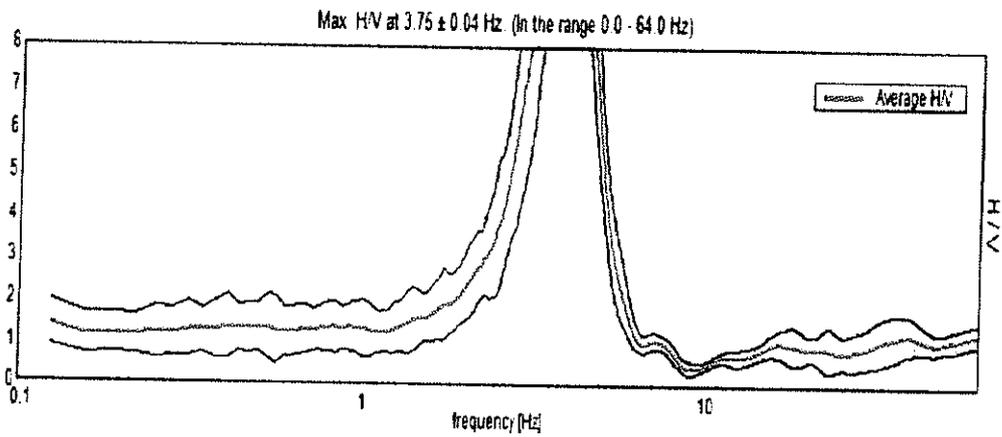
Exists $f_-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$ :	3.219 Hz	[ OK ]
Exists $f_+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$ :	4.594 Hz	[ OK ]
$A_0 > 2$ :	$17.57 > 2$	[ OK ]
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$ :	$ 0.00408  < 0.05$	[ OK ]
$sf < e(f_0)$ :	$0.01581 < 0.19375$	[ OK ]
$sA(f_0) < q(f_0)$ :	$1.882 < 1.58$	[ NO ]

**MOLO TERMINAL CONTAINERS PRESSO FASCIA DI RISPETTO DI GENOVA-PRA  
MISURA T4**

Instrument: TRZ-0103/01-10  
Start recording: 21/02/19 15:14:05 End recording: 21/02/19 15:34:06  
Smoothing type: Triangular window  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 65% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

**FIG.1 HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



**FIG.2 H/V TIME HISTORY**

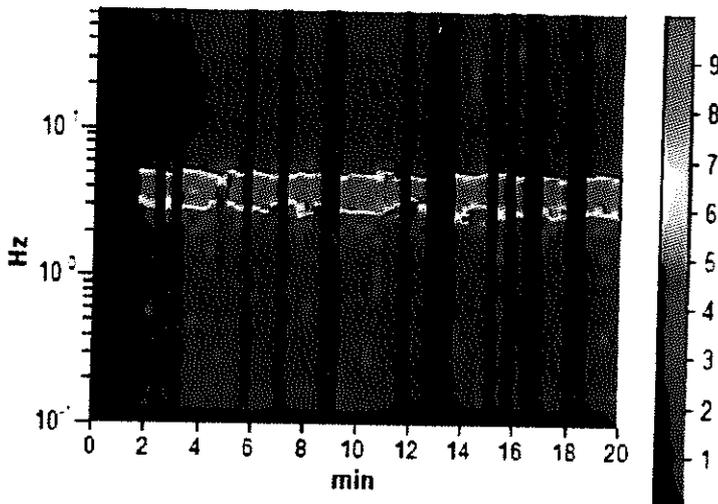


FIG.3 DIRECTIONAL H/V

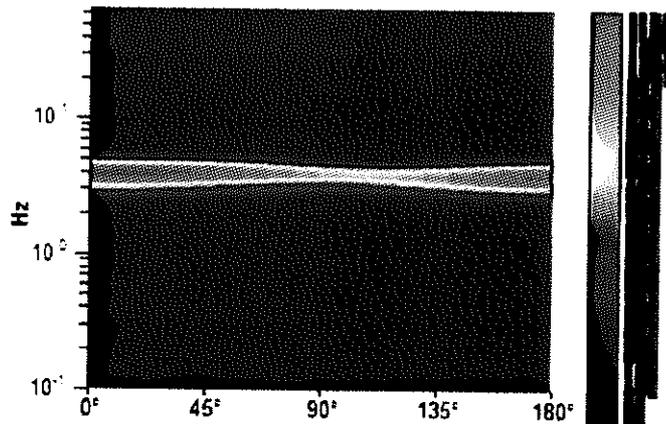


FIG.4 SINGLE COMPONENT SPECTRA

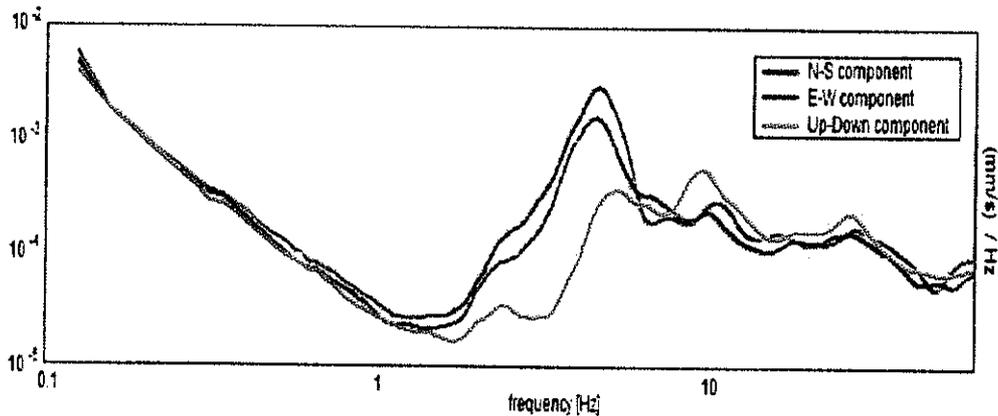


Tabella n°2  
LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a  $3.75 \pm 0.04$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

*Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]*

$f_0 > 10 / L_w$ :	$3.75 > 0.50$	[ OK ]
$nc(f_0) > 200$ :	$2925.0 > 200$	[ OK ]
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$		
$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 56 out of 181 times	[ NO ]

*Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]*

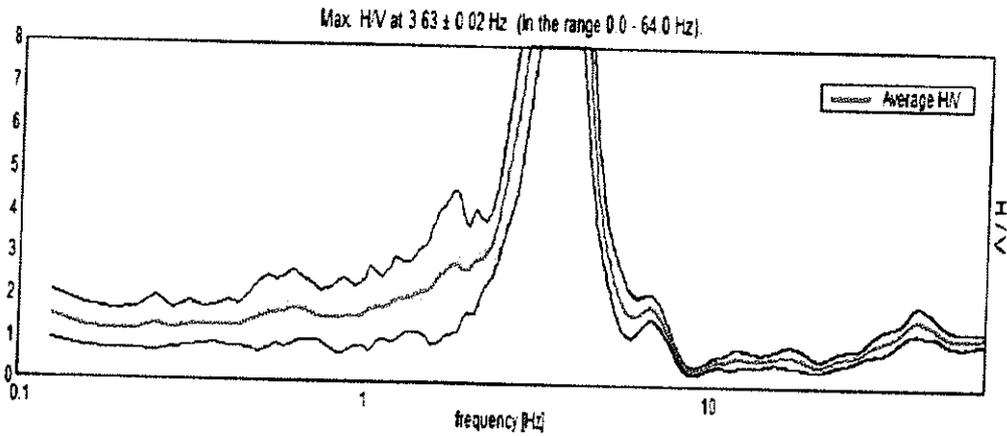
Exists f- in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$ :	2.969 Hz	[ OK ]
Exists f+ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$ :	4.719 Hz	[ OK ]
$A_0 > 2$ :	$15.47 > 2$	[ OK ]
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$ :	$ 0.00469  < 0.05$	[ OK ]
$sf < e(f_0)$ :	$0.01759 < 0.1875$	[ OK ]
$sA(f_0) < q(f_0)$ :	$2.3996 < 1.58$	[ NO ]

**MOLO TERMINAL CONTAINERS PRESSO FASCIA DI RISPETTO DI GENOVA-PRA  
MISURA T5**

Instrument: TRZ-0103/01-10  
Start recording: 21/02/19 15:42:01 End recording: 21/02/19 16:02:02  
Smoothing type: Triangular window  
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)  
Sampling rate: 128 Hz  
Window size: 20 s  
Smoothing type: Triangular window  
Smoothing: 10%

**FIG.1 HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**



**FIG.2 H/V TIME HISTORY**

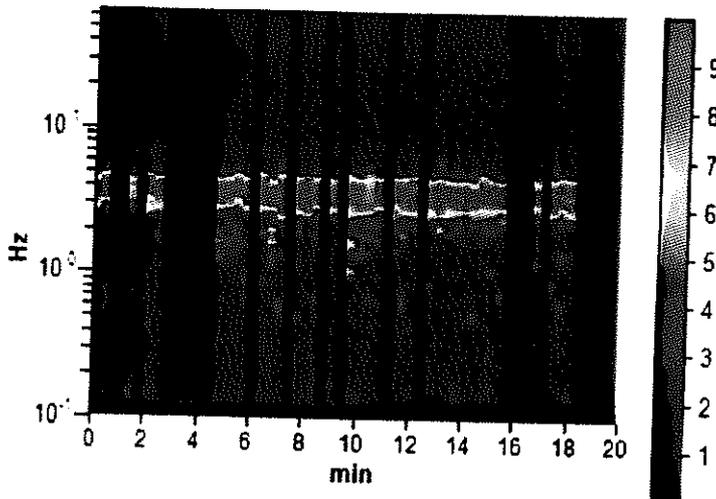
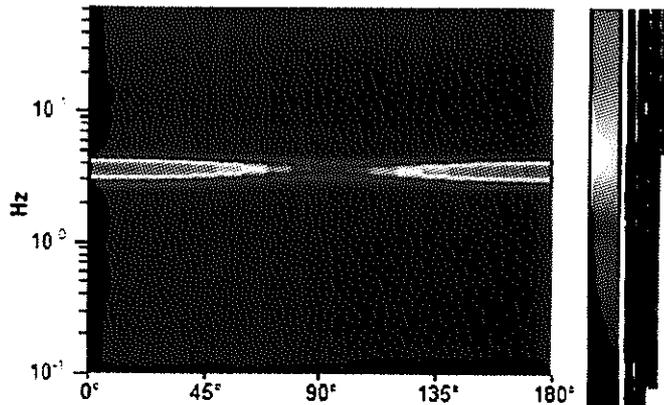


FIG.3 DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA

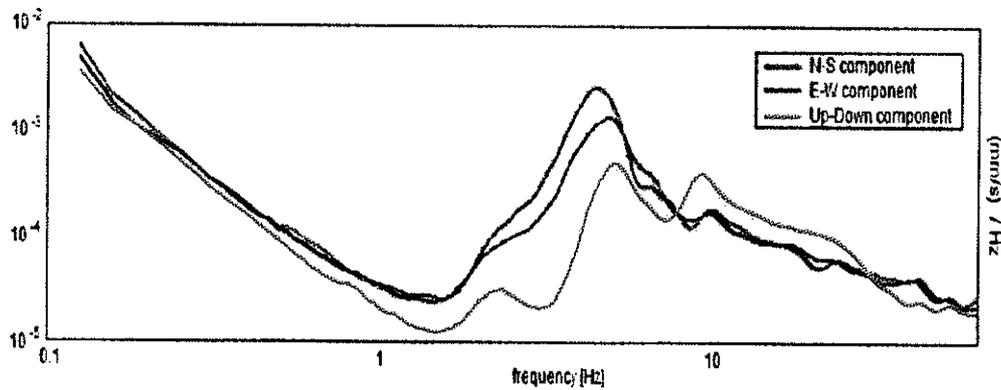


Tabella n°2  
LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a  $3.63 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

*Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]*

$f_0 > 10 / L_w$ :	$3.63 > 0.50$	[ OK ]
$nc(f_0) > 200$ :	$2610.0 > 200$	[ OK ]
$sA(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$		
$sA(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 46 out of 175 times	[ NO ]

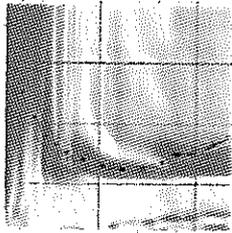
*Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]*

Exists f- in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f_-) < A_0 / 2$ :	2.875 Hz	[ OK ]
Exists f+ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f_+) < A_0 / 2$ :	4.313 Hz	[ OK ]
$A_0 > 2$ :	$16.40 > 2$	[ OK ]
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm sA(f)] = f_0 \pm 5\%$ :	$ 0.00275  < 0.05$	[ OK ]
$sf < e(f_0)$ :	$0.00997 < 0.18125$	[ OK ]
$sA(f_0) < q(f_0)$ :	$2.0163 < 1.58$	[ NO ]

**TAV. 2**  
**ELABORATI GRAFICI**  
**INDAGINI MASW**

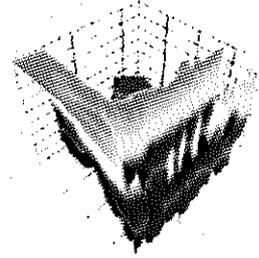
# MASW 1

Spettro velocità fase - Frequenze

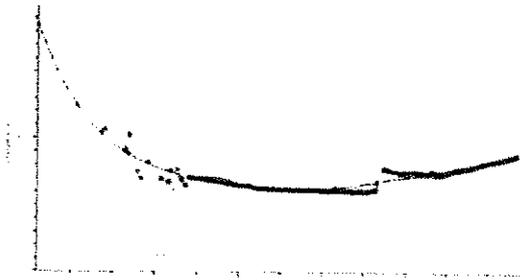


Spettro velocità fase - Frequenze

Spettro velocità fase - Frequenze



Curva di dispersione

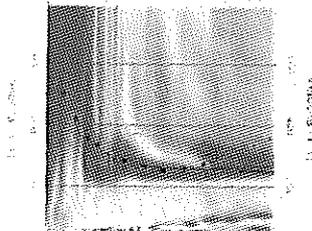


Curva di dispersione

n	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	41.8	207.4	0
2	35.5	255.3	0
3	31.0	278.2	0
4	26.2	260.0	0
5	20.9	281.3	0
6	16.9	302.6	0
7	11.8	351.6	0
8	8.6	416.0	0
9	14.2	328.6	0
10	5.6	498.6	0
11	46.3	158.9	1
12	54.2	130.9	1
13	48.4	100.2	1
14	45.4	288.4	1

Inversione

Frequenze

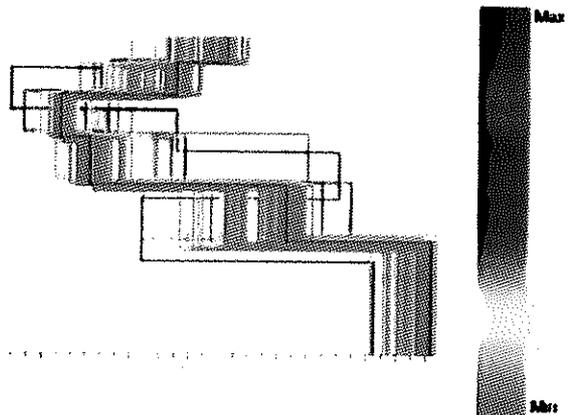


Strato n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.85	3.85	513.9
2	8.45	4.59	428.4
3	14.43	5.99	232.2
4	21.26	6.83	280.8
5	29.10	7.83	616.3
6	∞	∞	859.4

Percentuale di errore 1.491 %

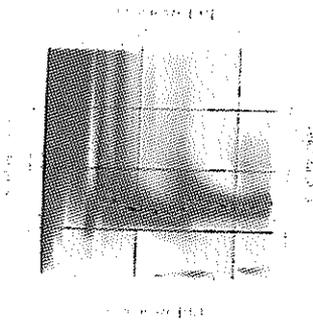
Fattore di disadattamento della soluzione 0.114

Profilo di velocità

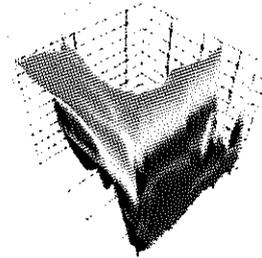


# MASW 2

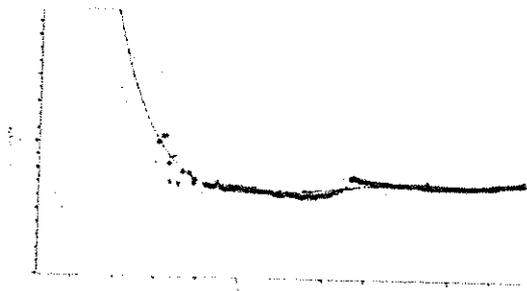
Spettro Velocità di Fase - Frequenza



Spettro Velocità di Fase - Frequenza



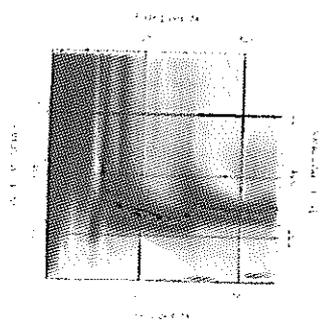
Curva di dispersione



## Curva di dispersione

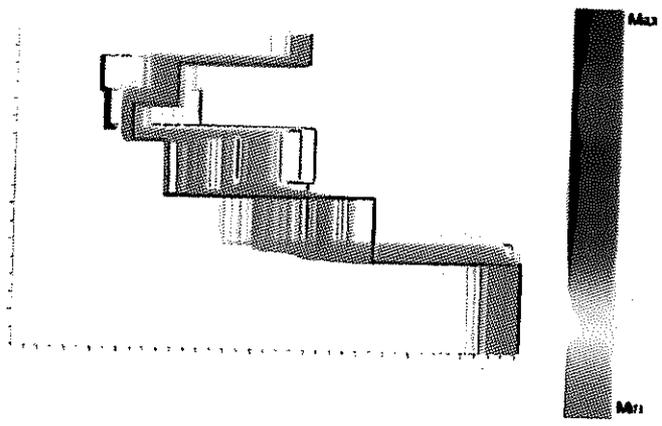
Id	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	15.2	404.2	0
2	16.5	340.4	0
3	19.7	295.1	0
4	24.3	264.8	0
5	29.8	240.0	0
6	58.9	207.9	1
7	55.6	276.6	1
8	47.3	255.1	1
9	38.6	307.3	1
10	37.1	269.5	0

Inversione



Strato n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	4.50	4.50	550.0
2	10.32	5.82	305.6
3	15.32	5.00	222.5
4	23.32	8.00	289.3
5	32.32	9.00	677.1
6	∞	∞	958.7

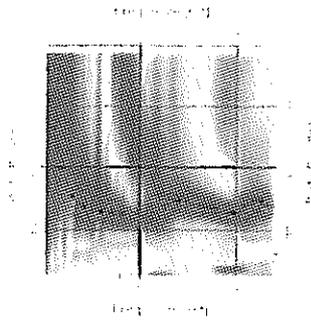
Profilo di velocità



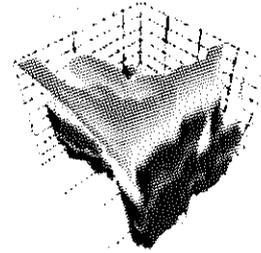
Percentuale di errore: 0.973 %  
 Fattore di disadattamento della soluzione (0.08)

# MASW 3

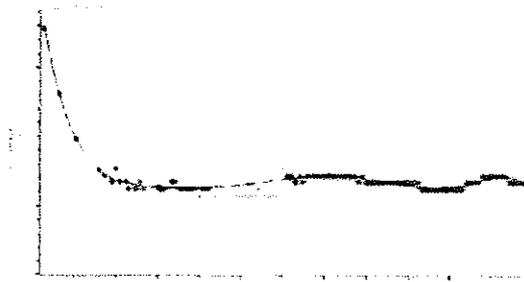
Spettro velocità di fase - Profondità



Spettro velocità di fase - Profondità



Curva di dispersione

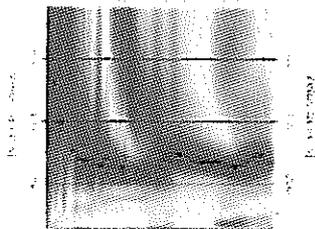


## Curva di dispersione

n	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	56.4	289.3	0
2	49.4	252.9	0
3	35.9	291.6	0
4	21.1	250.6	0
5	15.2	257.4	0
6	11.2	271.1	0
7	5.0	305.3	0
8	5.2	394.1	0
9	3.3	524.0	0
10	1.4	715.8	0

Inversità

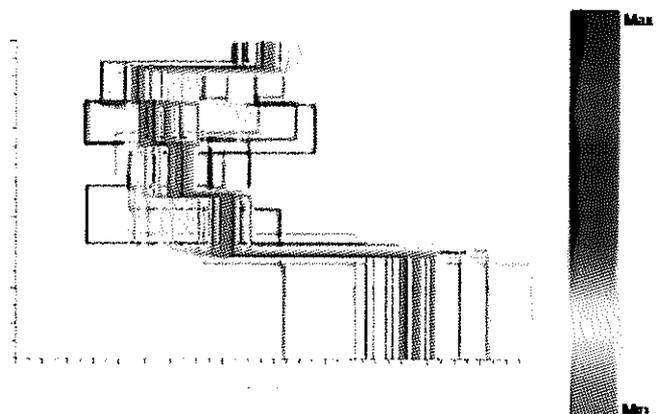
Frequenza



Frequenza

Strato n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.76	3.76	477.2
2	8.67	4.90	236.2
3	14.49	5.82	268.6
4	21.85	7.36	320.7
5	30.44	8.59	420.6
6	∞	∞	757.2

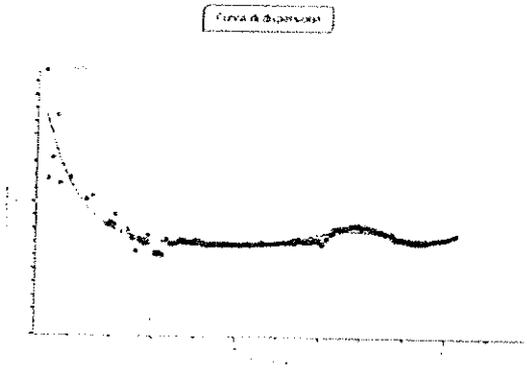
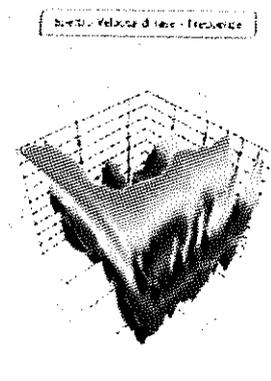
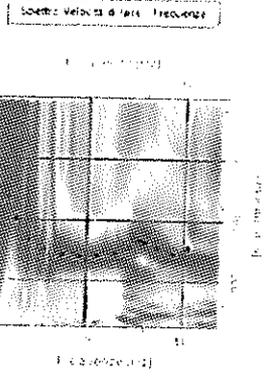
Profilo di velocità



Percentuale di errore 0.855 %

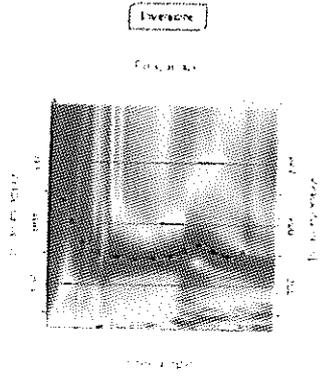
Fattore di disadattamento della soluzione 0.087

# MASW 4



## Curva di dispersione

n	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	54.2	309.7	0
2	47.5	299.1	0
3	43.7	312.0	0
4	40.0	320.2	0
5	36.8	312.0	0
6	32.5	294.1	0
7	28.1	286.0	0
8	23.4	281.5	0
9	18.9	283.4	0
10	14.3	302.0	0
11	10.4	333.3	0
12	6.9	396.6	0
13	3.0	472.0	0



Strato n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/sec]
1	3.78	3.78	536.4
2	8.68	4.90	279.6
3	14.40	5.72	309.8
4	21.95	7.55	284.6
5	29.84	7.89	402.4
6	∞	∞	739.4

Percentuale di errore: 0.671 %  
 Fattore di disadattamento della soluzione: 0.078

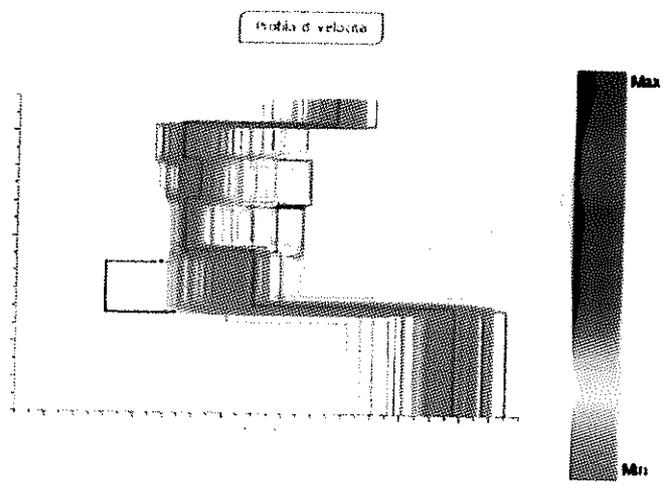




Foto n.1 - indagine MASW 1



Foto n.2 - indagine HVSR T1  
mediante tomografo digitale  
(cerchiato)



Foto n.3 - indagine MASW 2

<b>DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA</b>		<b>TAV. 3</b>
Area portuale di Pra'-Voltri - Comune di Genova (GE)		
Rif. A03docfoto_portopravoltri		

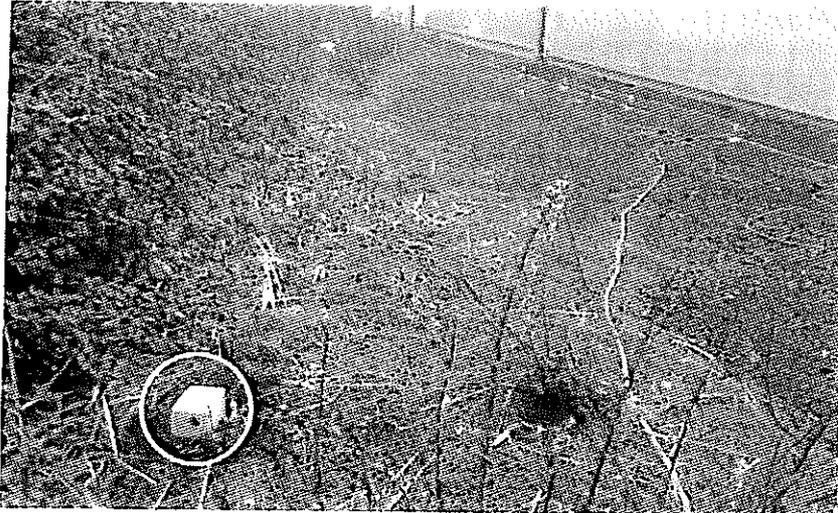


Foto n.4 - indagine HVSR T2  
mediante tromografo digitale  
(cerchiato)



Foto n.5 - indagine MASW 3



Foto n.6 - indagine HVSR T3  
mediante tromografo digitale  
(cerchiato)



Foto n.7 - Indagine MASW 4



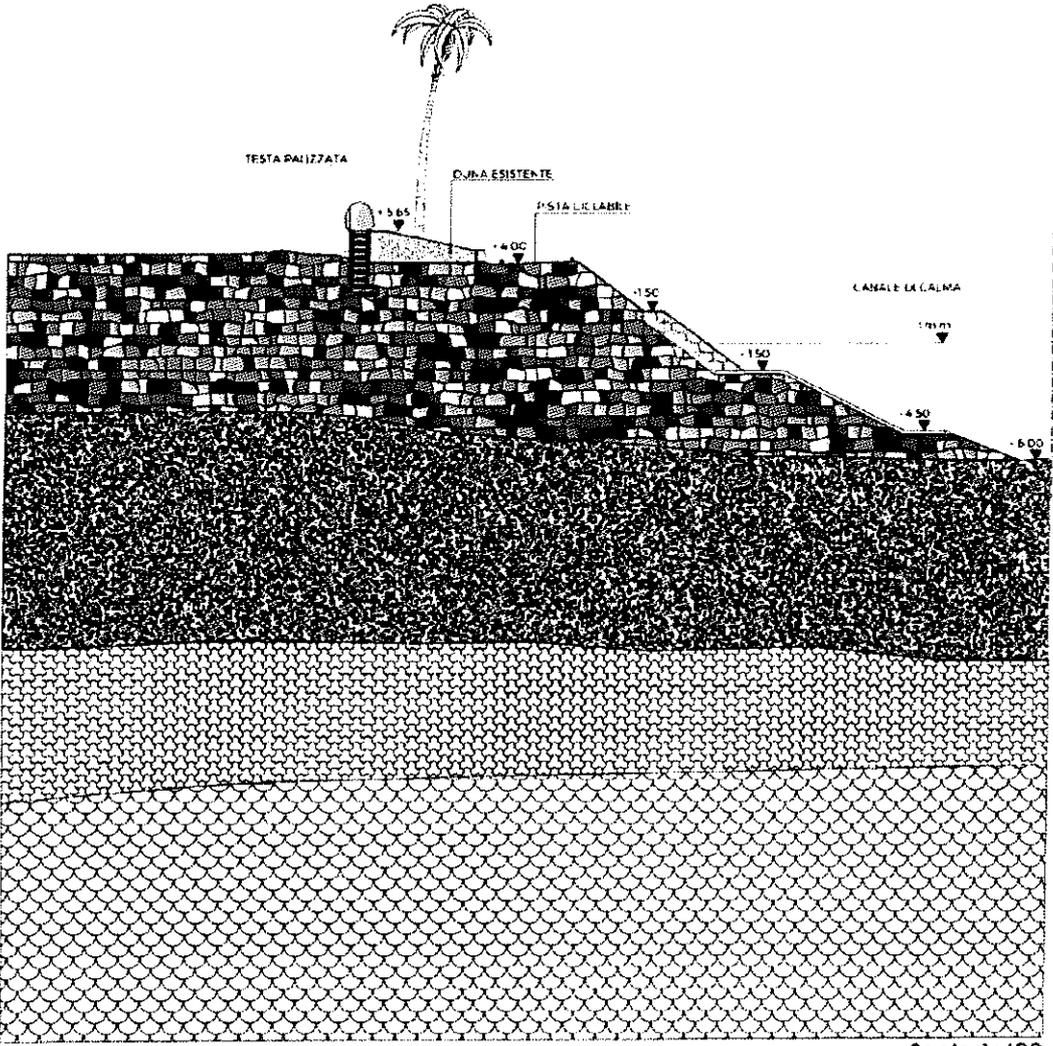
Foto n.8 - indagine HVSR T4  
mediante tromografo digitale  
(cerchiato)



Foto n.9 - indagine HVSR T5  
mediante tromografo digitale  
(cerchiato)

**ALLEGATO 4: SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA**

# SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA



Scala 1:400



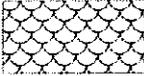
Riporti



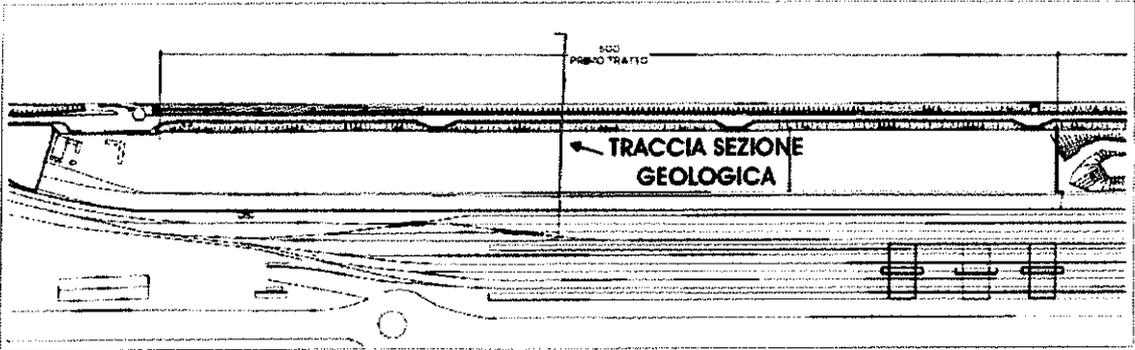
Substrato roccioso alterato e fratturato



Depositi alluvionali e marini



Substrato roccioso



## PROGETTO ESECUTIVO N°2935

### REALIZZAZIONE DELLE OPERE A VERDE IN CORRISPONDENZA DELLA SPONDA DEL CANALE DI CALMA DI PRA'

#### RELAZIONE GEOLOGICA

	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO:	
Rev. 1	GENNAIO 2019	Seconda emissione		
Rev. 0	OTTOBRE 2018	Prima emissione		
<u>Progettisti interni:</u>		<u>Progettisti esterni:</u>		
Arch. Mariantonietta Tatti Geom. Giuseppe Di Luca		Dott. Geol. Massimiliano Testa		
PROGETTISTA RESPONSABILE		VERIFICATO	VALIDATO Il Responsabile Unico del Procedimento:	VISTO Il Direttore Tecnico
<b>Dott. Arch. Mariantonietta TATTI</b>		<b>Dott. Ing. Erica TORRE</b>	<b>Dott. Geol. Giuseppe Canepa</b>	<b>Dott. Ing. Flavio DESTEFANIS</b>

## PROGETTO ESECUTIVO N°2935

### REALIZZAZIONE DELLE OPERE A VERDE IN CORRISPONDENZA DELLA SPONDA DEL CANALE DI CALMA DI PRA'

#### RELAZIONE GEOLOGICA

"CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO" AI SENSI DELL'ART. 6.2.1. del D.M. 14. 01.08 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"

	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO:	
Rev. 1	GENNAIO 2019	Seconda emissione		
Rev. 0	OTTOBRE 2018	Prima emissione		
<u>Progettisti interni:</u>		<u>Progettisti esterni:</u>		
Arch. Mariantonietta Tatti Geom. Giuseppe Di Luca		Dott. Geol. Massimiliano Testa		
PROGETTISTA RESPONSABILE	VERIFICATO	VALIDATO Il Responsabile Unico del Procedimento:	VISTO Il Direttore Tecnico	
<b>Dott. Arch. Mariantonietta TATTI</b>	<b>Dott. Ing. Erica TORRE</b>	<b>Dott. Geol. Giuseppe Canepa</b>	<b>Dott. Ing. Flavio DESTEFANIS</b>	