

REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DELLA SPEZIA
COMUNE DELLA SPEZIA

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

(ai sensi del D.M. 17/01/2018)

*A SUPPORTO DEL PROGETTO URBANISTICO OPERATIVO PUO DI
VALORIZZAZIONE DEL COMPENDIO IMMOBILIARE "EX FUSIONE TRITOLO"*

[SUBDISTRETTO DI TRASFORMAZIONE API 3a per FUNZIONI PRODUTTIVE e TERZIARIE]

- COMUNE DELLA SPEZIA (SP) -

RICHIEDENTE: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure

Dott. Geol. Chiara Nocchi
A.P. no. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639
CHIARA NOCCHI
GEOLOGO
data iscr. 15-01-2015

Dott. Geol. Valentina Gianella
A.P. no. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617
VALENTINA GIANELLA
GEOLOGO
data iscr. 21-07-2013

SOMMARIO

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
2. PREMESSA.....	5
3. VINCOLI SOVRAORDINATI DI CARATTERE GEOLOGICO.....	6
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	6
5. INQUADRAMENTO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO.....	7
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E DEFINIZIONE DELLE UNITÀ LITOLOGICO - TECNICHE.....	8
6.1 PROVE PENETROMETRICHE.....	8
6.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	9
6.3 INDAGINE GEOFISICA.....	9
M.A.S.W.....	9
HVSr.....	12
6.4 UNITÀ LITOLOGICO - TECNICHE.....	13
7. MODELLAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO.....	14
7.1 DEFINIZIONE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA.....	14
7.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO.....	14
7.3 MICROZONA OMOGENA 1 [F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3].....	14
7.4 MICROZONA OMOGENA 2 [ULT B3.r5].....	16
7.5 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI PROGETTO.....	17
8. MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO.....	18
9. CONCLUSIONI.....	20

ALLEGATI

TAVOLA 1	CARTA COROGRAFICA	SCALA 1:5000
TAVOLA 2	CARTA GEOLOGICA	SCALA 1:5000
TAVOLA 3	CARTA IDROGEOLOGICA	SCALA 1:5000
TAVOLA 4	CARTA GEOMORFOLOGICA	SCALA 1:5000
TAVOLA 5	CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE	SCALA 1:5000
TAVOLA 5/bis	CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE	SCALA 1:5000
TAVOLA 6	CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO	SCALA 1:5000
TAVOLA 7	CARTA DELLE FASCE DI INONDABILITÀ	SCALA 1:5000
TAVOLA 8	CARTA DI ZONIZZAZIONE E DI SUSCETTIBILITÀ D'USO DEL TERRITORIO	SCALA 1:5000
TAVOLA 9	CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA	SCALA 1:2000
TAVOLA 10	CARTA DI ANALISI	SCALA 1:2000
TAVOLA 11	CARTA DI SINTESI	SCALA 1:2000
TAVOLA 11/bis	LEGENDA [CARTA DI SINTESI]	
TAVOLA 12	PLANIMETRIA AREA DI INTERVENTO	SCALA 1:2000
TAVOLA 13	SEZIONE GEOLOGICA X-X	SCALA 1:500
TAVOLA 14	SEZIONE GEOLOGICA Y-Y	SCALA 1:1000
TAVOLA 15	ALLEGATO FOTOGRAFICO 01	
TAVOLA 16	ALLEGATO FOTOGRAFICO 02	
ALL. 1	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH	
ALL. 2	SONDAGGI GEOGNOSTICI	
ALL. 3	INDAGINE GEOFISICA M.A.S.W.	
ALL. 4	INDAGINE GEOFISICA HVSR	
ALL. 5	VERIFICA DELLA SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il presente studio geologico è stato condotto nel rispetto delle leggi vigenti e della normativa tecnica di riferimento, in particolare:

IN MATERIA DI PROGETTAZIONE GEOTECNICA

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale – Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007
- Eurocodice 8 (1998) Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)
- Eurocodice 7.1 (1997) Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI
- Eurocodice 7.2 (2002) Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio – UNI
- Eurocodice 7.3 (2002) Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito – UNI

IN MATERIA DI PREVENZIONE DEL RISCHIO SISMICO

- O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 – Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone (G.U. n. 108 del 11.05.2006)
- D.G.R. 216 del 17 marzo 2017 – Aggiornamento classificazione sismica del territorio della Regione Liguria

IN MATERIA DI PIANIFICAZIONE URBANISTICA E VINCOLO IDROGEOLOGICO

- D.P.R. n.380 del 6 giugno 2001, Art. 89 (ex art. 13 della L. 64/1974) – Parere sugli strumenti urbanistici
- L.R. n. 24 dell'8 luglio 1987 (Disposizioni per lo snellimento delle procedure urbanistiche in attuazione della legge 28 febbraio 1985 n. 47 e disciplina degli strumenti urbanistici attuativi) e circolari applicative n. 2077/1988 e n. 4551/1989
- L.R. n. 36 del 4 settembre 1997 (Legge urbanistica regionale) così come modificata dalla L.R. n. 11 del 2 aprile 2015
- PUC della Spezia – art. 16 “Criteri generali di intervento per i distretti di trasformazione”
- L.R. n. 29 del 21 luglio 1983 – Costruzioni in zone sismiche - deleghe e norme urbanistiche particolari – così come modificata dalla L.R. n. 29 del 20 ottobre 2006, ed integrata dalla D.G.R. n. 471 del 22 marzo 2010 e dalla D.G.R. n. 714 del 21 giugno 2011 (Criteri e linee guida regionali per l'approfondimento degli studi geologico-geotecnici e sismici a corredo della strumentazione urbanistica comunale)
- Circolare n. 2/2010 Regione Liguria Dipartimento Ambiente - Circolare applicativa della nuova disciplina sul vincolo idrogeologico ai sensi dell'art. 35 della L.R. n. 4/1999, così come modificato dall'art. 15 della L.R. n. 63/2009

IN MATERIA DI DIFESA DEL SUOLO E PIANIFICAZIONE DI BACINO

- Deliberazione della Giunta Regionale n. 507 del 21 giugno 2019, “Adozione della nuova cartografia aggiornata del reticolo idrografico regionale ai sensi dell'art. 91 della l.r. 18/1999, alla scala 1: 10.000 (allegato 1 alla DGR 507/2019)
- Regolamento 16 marzo 2016, n. 1 “Modifiche al Regolamento regionale 14 luglio 2011, n.3 (Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua).
- Piano di Bacino “Ambito 20 – Golfo della Spezia” di rilievo regionale, relativamente all'individuazione delle zone a rischio geomorfologico, idrogeologico ed idraulico, ai sensi dell'art. 1, c. 1, del D.L. 180/1998 convertito con L. 267/1998, approvato con delibera del Consiglio Provinciale della Spezia n. 34 del 31/03/2003; ultima modifica dell'elaborato D.d.D.G. n. 182 del 27/06/2018, entrata in vigore il 18/07/2018.

2. PREMESSA

La presente relazione geologica e sismica preliminare è stata redatta su incarico del Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure, tramite lo studio di progettazione Progetec s.n.c., a supporto del Progetto Urbanistico Operativo di iniziativa privata nel distretto di trasformazione API 3, per il quale esiste “[...] l’esigenza di una progettazione urbanistica unitaria e da una coordinata messa in opera delle trasformazioni che si attuano di norma mediante uno o più PUO (Progetto Urbanistico Operativo)” (L.R. 36/1997).

Lo studio è stato redatto in conformità al D.M. 17/01/2018 e secondo le disposizioni relative alle indagini della Circolare attuativa n. 4551 del 12/12/1989, a supporto del progetto esecutivo «Progetto Urbanistico Operativo PUO di valorizzazione del compendio immobiliare “Ex Fusione Tritolo” - SUBDISTRETTO di TRASFORMAZIONE API 3a per FUNZIONI PRODUTTIVE e TERZIARIE]».

Nello specifico si è provveduto a fornire una caratterizzazione ed una modellazione geologica del sito di progetto, consistente nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, di sismicità dell’area e di risposta sismica dei terreni nonché, più in generale, riguardanti la pericolosità geologica del territorio in cui si inserisce l’intervento; tutte le informazioni raccolte hanno permesso di redigere due carte, di analisi e di sintesi, con un grado di approfondimento idoneo al progetto.

Tale caratterizzazione, ottenuta con specifiche indagini in funzione del tipo di opera e della complessità del contesto geologico, è stata sviluppata tenendo in considerazione:

- le norme del PUC della Spezia, relativamente alla zonizzazione e alla suscettibilità d’uso del territorio, che classifica l’area compresa nel subdistretto API 3a (aree per funzioni produttive integrate) come “C0: aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di bassa difficoltà ed onerosità” e “C1: aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di medio-bassa difficoltà ed onerosità”(Tav. 8 in allegato);
- le indicazioni derivate dagli studi del vigente Piano di Bacino “Ambito 20 – Golfo della Spezia” di rilievo regionale, relativamente all’individuazione delle zone a rischio geomorfologico, idrogeologico ed idraulico, ai sensi dell’art. 1, c. 1, del D.L. 180/1998 convertito con L. 267/1998, approvato con delibera del Consiglio Provinciale della Spezia n. 34 del 31/03/2003; ultima modifica dell’elaborato D.d.D.G. n. 182 del 27/06/2018, entrata in vigore il 18/07/2018.

In ultimo è stata valutata la pericolosità sismica dell’area di riferimento, definita a livello nazionale dall’OPCM 3519/06 e a livello regionale dalla D.G.R.L. N° 216 del 17/03/2017 che sostituisce la D.G.R. 1362 del 19/11/2010, e che ha riclassificato il territorio regionale; il Comune della Spezia rientra in zona 3 $P_{ga}=0,15g$.

I vincoli operanti sul territorio sono:

- L. 426/98 – Sito di Interesse Nazionale;
- Cave e discariche;
- Aree sottoposte a interventi di bonifica di interesse nazionale Legge 426/98 - lotto non contaminato;
- D. Lgs 42/2004 art. 142;
- Vincolo di Rispetto Stradale - D.I. 1404/68, D.P.R. 495/92, D.P.R. 147/93;
- Vincolo Metanodotto
- Individuazione del Centro Urbano/Abitato ai fini dell’applicazione del Codice della Strada ,della L.R. 9/93 e di altre eventuali disposizioni.

La presente relazione costituisce pertanto un elemento di riferimento di base per il progettista per inquadrare i problemi del sito e per definire i successivi modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione.

3. VINCOLI SOVRAORDINATI DI CARATTERE GEOLOGICO

Riguardo ai vincoli sovraordinati di carattere geologico per l'area interessata dal progetto, oggetto della presente relazione, si evidenzia che:

- il sito d'intervento ricade al di fuori delle aree soggette a Vincolo Idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/23;
- il sito è classificato come suscettibile in relazione alla *pericolosità geomorfologica*, sulla base della cartografia di sintesi derivata dagli studi dell'Autorità di Bacino "Ambito 20 – Golfo della Spezia", in particolare della Carta della Pericolosità Geomorfologica; essendo l'area estesa per diverse centinaia di metri ed includendo in parte area di pianura ed in parte area pedecollinare, si possono riconoscere un'area *Pg0* "Suscettività al dissesto molto bassa", una *Pg1* e una *Pg2*, rispettivamente per una suscettività al dissesto bassa e media (Tav. 6);
- il sito è classificato in parte come suscettibile in relazione alla *pericolosità idraulica*, connessa al rischio di inondazione e ristagno di acqua, con riferimento alla cartografia a corredo del Piano di Bacino "Ambito 20 – Golfo della Spezia"; in particolare è presente una fascia denominata "*Fascia A*" che individua le aree periferuali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente a periodo di ritorno T=50 anni (Tav. 7);
- l'area indagata ricade in ambito territoriale a *pericolosità sismica*, classificato a rischio sismico di **classe 3** secondo l'aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Liguria regolamentato dalla D.G.R. 216/2017.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area, compresa nel perimetro del distretto di trasformazione oggetto del presente studio, è sita nella zona costiera del levante del Golfo della Spezia, che vede tratti costieri e collinari intensamente urbanizzati.

Il territorio spezzino, dal punto di vista geologico, è caratterizzato dalla presenza di due serie sedimentarie distinte, correlate ad ambienti paleogeografici diversi:

- Serie Toscana – sequenza di depositi sedimentari di un mare epicontinentale con la tendenza ad approfondirsi;
- Serie Ligure – sequenze riferite al dominio oceanico profondo (Oceano Ligure-Piemontese).

La Successione Toscana figura all'interno dell' area di studio nelle **Quarziti e Filladi (VR)** di età triassica, che caratterizzano le colline della Val di Locchi. Si collocano alla base della Serie Toscana e sono rappresentate da quarziti a grana da medio-grossolana a fine, di colore grigio e grigio-rosato, stratificate con strati di spessore massimo di 70-80 cm e geometrie piano parallele, geneticamente riferibili ad una piana costiera, prossima ad apparati deltizi, con periodici stagni e pozze d'acqua; sono comuni infatti interstrati metasiltitici/filladici varicolori con spessori di circa 30 cm. Il successivo metamorfismo regionale è responsabile della tessitura scistosa della roccia, intersecata poi da un fitto sistema di fratture.

Dal punto di vista tettonico, la piana della Spezia è una depressione allungata in direzione appenninica, bordata da due dorsali, allungate nella stessa direzione. Le dorsali rappresentano il risultato di sistemi plicativi: ad ovest una piega rovesciata coinvolge le formazioni della Falda Toscana, ad est un'anticlinale in posizione normale interessa i depositi terrigeni mesozoici.

L'area di piana è caratterizzata da sistemi di faglie dirette di età plio-pleistocenica ed è stata colmata da depositi alluvionali, marini e lagunari in eteropia laterale, costituiti da orizzonti e lenti di terreni a granulometria variabile. In particolare si rinvencono fitte stratificazioni di torbe e argille.

Nel promontorio orientale del Golfo della Spezia, costituito da una piega anticlinale, il sistema di faglie e fratture hanno determinato una fossa nota come "Piana degli Stagnoni".

Nel dettaglio, i terreni interessati dal P.U.O., si possono descrivere come una copertura sedimentaria, la cui genesi è direttamente correlabile alle ingressioni e regressioni marine, variando quindi da depositi marini a depositi continentali.

Dall'esame della Carta Geologica (Tav. 2) l'area del Subdistretto API 3a è caratterizzata infatti dalla presenza di depositi quaternari:

– **Depositi di origine prevalentemente marina (DM):** prevalentemente sabbiosi con frazioni argillose e limose subordinate a scarsi ciottoli subarrotondati. Presenti resti fossili e vegetali.

Sono presenti nell'intorno i "Depositi fluviali - DF" e nella porzione più a Nord i "Depositi Lagunari - DL".

Dal punto di vista geomorfologico le oscillazioni eustatiche del livello del mare, i movimenti di sollevamento e di abbassamento relativo delle terre emerse, l'erosione, il trasporto e il deposito ad opera delle acque superficiali, l'azione della gravità, l'attività sismica e i processi morfogenetici climatici e ambientali hanno contribuito al modellamento della linea di costa e dell'entroterra, definendo le forme attuali.

Le colline della porzione orientale del Golfo, dove affiorano le formazioni arenacee, argillitico siltose e filladico quarzitiche, mostrano forme relativamente dolci con un raccordo graduale alla piana alluvionale e marina.

Dagli elaborati del Piano di Bacino "Ambito 20 – Golfo della Spezia" l'area, dal punto di vista geomorfologico, allo stato e nelle condizioni attuali, presenta aree con suscettività al dissesto da molto bassa a media, la prima principalmente connessa con le aree di pianura, le altre relative ai primi rilievi entro una quota di 25 m s.l.m..

5. INQUADRAMENTO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale l'area di studio ricade all'interno del Bacino Idrografico del Fosso di Pagliari (Tav. 5). Allo stato attuale si evidenziano alcune differenze tra le cartografie disponibili: il tratto "B" del Fosso di Pagliari riportato nella Carta del Reticolo Idrografico del Piano di Bacino Ambito 20 (Tav.5) ha subito variazioni poiché non è più confluyente nel ramo "A", bensì sfocia nell'area della Darsena Pagliari, come riportato nella Tav. 5/bis (Carte del Reticolo Regionale); *nell'area compresa dal Subdistretto API3a risulta tombinato.*

In relazione alla pericolosità idraulica si evidenzia la presenza di una Fascia A, definita come un'area perifluviale inondabile al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente a tempi di ritorno di 50 anni.

In tale are, dove le Norme del Piano di Bacino impongono dei vincoli relativamente all'edificabilità, non risultano opere relative al PUO. Per la porzione di strada che la attraverserà dovranno essere presi in considerazione adeguati accorgimenti tecnico-costruttivi (All. 5 – Norme di attuazione approvate con la DGR 716 del 29/07/2016).

Dal punto di vista idrogeologico le formazioni precedentemente descritte sono classificabili come segue (Tav. 3):

- **Sd-si:** Substrato roccioso a medio-bassa permeabilità per fessurazione (VR - Quarziti e filladi)
- **P-p:** Depositi marini e fluviali ad elevata permeabilità per porosità (DM e DF)
- **P-ps:** Depositi lacustri con permeabilità da media ad elevata per porosità (DL)

L'idrogeologia di questa porzione di pianura appare piuttosto complessa data la presenza di un sistema multifalda, con falde artesiane e falde sospese, individuate sia in sito che da indagini condotte in terreni contigui a quello in esame. Al termine del recupero delle aste della prova penetrometrica DPSH 1, spinta alla profondità di 12,2 m, un'esigua risalita d'acqua è stata l'evidenza di un livello più superficiale, probabilmente semiconfinato, del sistema multifalda che caratterizza il sottosuolo.

Dagli studi eseguiti sino ad ora si può affermare la presenza di emergenze spontanee di acqua calda sia nella zona degli Stagnoni che di Ruffino, e di risalite con forte pressione di acque clorurate e solfatiche, con temperature di 22°C, all'interno dei sondaggi eseguiti nell'area degli Stagnoni e lungo la costa di San Bartolomeo. Da un sondaggio realizzato in un terreno limitrofo al Subdistretto API 3a, la profondità della falda in pressione si attesta nella zona a circa 15 metri da piano campagna.

Durante l'esecuzione della prova penetrometrica DPSH 2 è stata intercettata una falda freatica alla profondità di 9,5 m.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E DEFINIZIONE DELLE UNITÀ LITOLOGICO - TECNICHE

Per evidenziare l'assetto geologico strutturale, l'andamento geometrico e le caratteristiche geotecniche e sismiche del sito di progetto, oltre che un rilievo geologico preliminare, si è provveduto a condurre un'indagine geognostica così articolata:

FASE PRELIMINARE

- ◆ n. 3 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH;
- ◆ n. 2 stese sismiche tipo M.A.S.W;

FASE ESECUTIVA

- ◆ n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, denominati S1 e S2 con esecuzione di SPT in foro;
- ◆ n. 4 stazioni di misurazioni HVSR.

Dagli accertamenti geognostici suddetti è stato possibile definire un modello geologico di sintesi dell'area di intervento, con la redazione di tre elaborati cartografici di dettaglio definiti nelle Tavole "9 [Carta di Microzonazione Sismica]" - "10 [Carta di analisi]" - "11 [Carta di sintesi]".

6.1 PROVE PENTROMETRICHE

Le prove penetrometriche super pesanti vengono eseguite al fine di ricostruire l'assetto stratigrafico dei terreni e determinarne le caratteristiche geotecniche.

La prova dinamica (DPSH) consiste nel misurare il numero di colpi necessari ad infiggere nel terreno una punta conica, collegata in superficie da una batteria di aste e l'infissione avviene per battitura.

Le prove sono state eseguite con un penetrometro marca PAGANI mod. TG 63-200, i cui requisiti fondamentali sono:

- | | |
|----------------------------|----------|
| ◆ Rif. Norme | DIN 4094 |
| ◆ peso massa battente | 63,5 kg; |
| ◆ altezza di caduta libera | 0,75 m; |
| ◆ peso sistema di caduta | 0,63 kg; |

◆ diametro punta conica	51 mm;
◆ Area di base punta	20,43 cmq
◆ lunghezza delle aste	1 m;
◆ peso delle aste a metro	6,31 kg/m;
◆ profondità giunzione prima asta	0,40 m;
◆ Avanzamento punta	0,20 m;
◆ Numero colpi per punta	N (20);
◆ Coeff. Correlazione	1,47
◆ Rivestimento/fanghi	no;
◆ angolo di apertura punta	60°;

I profili stratigrafici e i parametri ottenuti dall'elaborazione dei dati di campagna, mediante il software Dynamic Probing 2018 (GeoStru), sono riportati per esteso nell'Allegato 1.

6.2 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Al fine di approfondire le conoscenze del sottosuolo della porzione di pianura compresa all'interno dell'area di progetto, sono stati eseguiti n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, denominati in seguito S1 e S2, spinti alla profondità di 20 metri da piano campagna.

Le perforazioni sono state eseguite con una sonda "Comacchio MC 900"; il diametro di perforazione è di mm 101, mentre il diametro di rivestimento di mm 127.

Sono state effettuate n. 10 prove SPT in foro, oltre alle misurazioni con Pocket Penetrometer e Vane Test sulle carote estratte.

Le stratigrafie ricostruite nei due punti di indagine sono confrontabili, e dai dati raccolti è stata redatta una modellazione di sottosuolo che rappresenta l'intera "AREA A" (vedi Tav. 11).

Si rimanda alla Tavola 10 "Carta di Analisi" per l'ubicazione dei punti di sondaggio; per la documentazione fotografica e le stratigrafie si faccia riferimento a quanto riportato nell'Allegato 2.

6.3 INDAGINE GEOFISICA

M.A.S.W.

Le caratteristiche tecniche dello strumento utilizzato, con il quale è possibile eseguire prospezioni sismiche con metodologie di indagine attiva (rifrazione e M.A.S.W.) oltre che passiva (Re.Mi.), sono le seguenti:

SISMOGRAFO M.A.E. SYSMATRACK

- Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
- Range dinamico: 144 dB (teorico)
- Distorsione massima: +/-0.0010%
- Banda passante: 2Hz-30KHz
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz
- Diafonia: -120dB a 20 Hz
- Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV

- Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura
- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V
- Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo: 20Mohm
- Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB
- Filtro anti-alias: -3dB, 80% della frequenza di Nyquist, -80dB
- Tempo pre-trigger: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500ms
- Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms in registrazione continua
- Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
- Interfacce disponibili: USB
- Canali: configurazioni da 12, 24
- Modalità di acquisizione: con trigger esterno su tutti i canali e a tempo su max 12 canali.
- Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione
- Filtri digitali: selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura
- Test geofoni: verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto
- Visualizzazione in tempo reale dei segnali provenienti dai geofoni
- Archiviazione dati: nelle memorie di massa del PC di controllo
- Trigger: positivo, negativo (opzionale a chiusura di contatto) con soglia regolabile da software
- Formato dei dati: SEG-2 standard (32-bit long integer) o ASCII

Per l'esecuzione della prova, oltre al sismografo sopra descritto, la strumentazione necessaria è:

- n. 2 stendimenti da 12 geofoni (4,5 Hz) ciascuno;
- n. 1 geofono starter;
- mazza di battuta 8 kg con piastra di battuta (diam. 200 mm);
- notebook per acquisizione dati.

L'indagine sismica di tipo M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è stata condotta al fine di determinare la categoria sismica di terreno secondo quanto indicato nella normativa sismica (OPCM 3519/06 e s.m.i.) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

[Con la metodologia M.A.S.W. si individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo (Fig. 1).

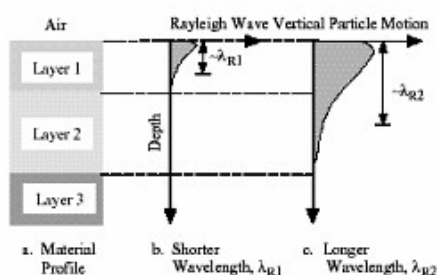


Fig. 1 – Profondità investigata dalle onde di Rayleigh sulla base della lunghezza d'onda, della V_s e della frequenza.

Il metodo MASW consiste in tre fasi: 1- calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale; 2- calcolo della velocità di fase apparente numerica; 3- individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs. Modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson ν), il peso di volume γ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una **sovrapposizione ottimale** tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Per definire il modello di suolo, e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali, generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson ν , la densità di massa γ e si variano lo spessore h e la velocità Vs degli strati. Dopo aver determinato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs è possibile procedere al calcolo della velocità equivalente nei primi 30m di profondità Vs30 e quindi individuare la categoria sismica del suolo.]

L'elaborazione è stata eseguita attraverso il software EasyMASW 2018 (GeoStru), che permette di determinare la curva di dispersione sperimentale tramite la doppia trasformata discreta di Fourier, applicata alle variabili tempo e spazio; dopo aver completato l'analisi spettrale si passa alla fase di inversione, nella quale vengono elaborati una serie di modelli del terreno ed una rispettiva curva di dispersione, che viene confrontata con quella sperimentale. Al termine delle operazioni il sistema propone il modello con minor fattore di disadattamento, ossia quello che genera una curva di dispersione più simile a quella sperimentale, associata alle caratteristiche stratigrafiche inserite nel modello sintetico. Risulta quindi di primaria importanza avere a disposizione altre informazioni complementari sulla natura e sul comportamento geotecnico del suolo, prima di poter procedere alla classificazione sismica.

Nel sito di progetto sono state eseguite n. 2 stese sismiche tipo MASW, denominate M1 [24 geofoni, interdistanza 1,5 m] e M2 [12 geofoni – interdistanza 1 m], la cui ubicazione è indicata in Tav. 10. Lo spettro ottenuto in questo modo è risultato omogeneo e ha permesso il riconoscimento dei modi di propagazione delle onde superficiali nel terreno. Nella fase del picking è stato possibile perfezionare la curva di dispersione relativa al modo fondamentale e ai modi superiori individuati; a seguito della fase di inversione è stato ricostruito il modello di velocità del terreno.

Con i dati di velocità delle onde S relativi a ciascun sismostrato individuato, si può determinare il parametro $V_{S,eq}$ utile per la definizione delle categorie di sottosuolo, in riferimento al D.M. 17/01/2018, mediante la formula:

$$V_{S,eq} = H / \sum (h_i / V_{s,i}) \quad \text{con } i=1 \rightarrow N$$

dove:

h_i spessore dell' i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

STESA M1 – AREA “A”

Il modello di velocità di sottosuolo è:

Layer	Profondità [m]	Vs [m/sec]
1	1,94	132,5
2	6,54	186
3	oo	490

Il parametro Vs,eq è risultato pari a 343,84 m/s [H=30,00m].

Facendo riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/01/2018 il terreno in oggetto ricade nella **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C** – *depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, 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.*

STESA M2 – AREA “B”

Il modello di velocità di sottosuolo è:

Layer	Profondità [m]	Vs [m/sec]
1	1,94	167,6
2	6,32	396,1
3	∞	920,7

Il parametro Vs,eq è risultato pari a 299,92 m/s [H=8,26]

Facendo riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, la velocità equivalente calcolata sarebbe riconducibile ad un sottosuolo di tipo C ovvero *“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”*; la definizione sopra riportata prevede tuttavia che la profondità del substrato sia > di 30 m mentre, nel caso in esame, il substrato è posto a 8,26 m dal p.c.

Per tali motivi il sottosuolo dell'area investigata è classificabile come appartenente alla **CATEGORIA E**, *“terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m”*.

I report completi ottenuti dall'elaborazione dei dati di campagna sono riportati per esteso nell'Allegato 2.

HVSR

Allo scopo di approfondire le conoscenze del sottosuolo dell'area interessata dal progetto si è scelto di eseguire delle indagini HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) poiché, da una parte l'elevato stato di abbandono dell'area non avrebbe permesso l'esecuzione di stese sismiche a rifrazione/riflessione di adeguata lunghezza, dall'altra la presenza del nastro trasportatore dell'Enel avrebbe dato problemi di disturbo del segnale sismico.

Il metodo H/V o HVSR mira all'individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze e si basa sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e della componente verticale del rumore sismico ambientale.

In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio in corrispondenze del passaggio fra litologie caratterizzate da velocità delle onde sismiche molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono con le frequenze di risonanza.

Esiste poi una proporzionalità (non lineare) fra l'ampiezza dei massimi della funzione H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica.

La frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest'ultimo:

$$f_0 = V_s / 4H$$

dove:

f_0 = frequenza di risonanza;

V_s = velocità delle onde S della copertura;

H = spessore della copertura ovvero profondità bedrock.

Si rimanda all'Allegato 4 per maggiori approfondimenti sulle stazioni di misura HVSR.

6.4 UNITÀ LITOLOGICO - TECNICHE

Dall'interpolazione di tutti i dati di sottosuolo raccolti mediante le diverse indagini eseguite, la cui ubicazione è indicata nella Tav. 10, è stato possibile suddividere il Subdistretto API 3a in due Unità Litologico - Tecniche, denominate secondo le legende proposte nel Programma Vel della Regione Toscana (*"Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali – Regione Toscana – VOL.2*). Le due unità riconosciute, e cartografate nella Tavola 10 [Carta di Analisi], sono:

➔ **"ULT F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3"**

➔ **"ULT B3.r5"**

"ULT F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3"

L'unità litologico-tecnica "E" identifica materiali granulari non cementati o poco cementati e comprende i terreni con stato di addensamento da addensato a sciolto. Il numero identifica la granulometria (1- ciottoli e blocchi; 2- ghiaie; 3- sabbie). Per la valutazione dello stato di addensamento è stato utilizzato il parametro N(Spt) ricavato dalle indagini in sito.

Il suffisso "t3" identifica la tessitura, in particolare la presenza di frazione interstiziale coesiva, ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale del terreno.

L'unità litologico-tecnica "F" identifica materiali con consistenza limitata o nulla e comprende i terreni coesivi a bassa consistenza. Il numero identifica la granulometria (1- limi; 2- argille). Anche in questo caso per la valutazione dello stato di consistenza è stato utilizzato il parametro N(Spt) ricavato dalle indagini in sito.

Il suffisso "t4" indica la tessitura in particolare la presenza di materiale torboso.

*In conclusione la presente unità litologico-tecnica **ULT F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3** è costituita da alternanze di limi da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di materiale torboso, e ghiaie con elementi lapidei compresi tra 2 e 60 mm, da addensate a moderatamente addensate, con frazione interstiziale coesiva, ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale del terreno.*

"ULT B3.r5"

L'unità litologico-tecnica "B" identifica materiali lapidei stratificati o alternanze di diversi litotipi. Il

numero “3” identifica rocce costituite da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pelitici con prevalenza dei primi sui secondi.

La resistenza a compressione uniassiale della roccia è stata valutata sulla base di dati bibliografici, poiché gli affioramenti presenti in sito mostrano una fitta coltre di alterazione o sono quasi completamente ricoperti dalla vegetazione. Le Quarziti e Filladi (VR) si classificano come “roccia debole - suffisso r5”.

In conclusione la presente unità litologica tecnica **“ULT B3.r5” è costituita da rocce stratificate caratterizzate da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pelitici. Classificazione dell'ammasso: roccia debole.**

7. MODELLAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO

7.1 DEFINIZIONE DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

Con i dati raccolti è stato possibile redigere una carta di microzonazione sismica, secondo l'elaborato “Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica” nella quale sono state individuate due zone denominate “Microzona omogenea 1” e “Microzona omogenea 2”. Con quanto al momento disponibile, si è ritenuto opportuno classificare le due microzone come “Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali”; mediante gli appositi abachi sono stati assegnati i due fattori FA e FV:

	MICROZONA OMOGENA 1	MICROZONA OMOGENA 2
Profilo di velocità	Lineare pendenza intermedia	Lineare pendenza intermedia
V sh (m/sec)	350	600
Tipo di Terreno	sabbia	sabbia
Spessore delle coperture (m)	30	10
FA	1,60	1,08
FV	1,79	1,01

7.2 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO

In considerazione della D.G.R. n. 216 del 17/03/2017 della Regione Liguria, riguardante la classificazione sismica del territorio regionale, il Comune della Spezia, in cui ricade l'area di progetto, rientra nell'elenco di classe 3, come definito negli allegati del predetto documento.

Le azioni sismiche di progetto vengono definite a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione e sono in funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Poiché alle due microzone individuate sono state attribuite categorie di sottosuolo differenti, vengono presentati i parametri sismici per entrambe le aree.

7.3 MICROZONA OMOGENA 1 [F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3]

PARAMETRI SISMICI DI BASE RIFERITI AL PROGETTO

Nel caso specifico, considerando la vita nominale V_n della costruzione, la Classe d'uso ed il relativo

coefficiente C_u , si ottiene il periodo di riferimento dell'opera $V_r = V_n * C_u$ in funzione del quale viene valutata l'azione sismica da adottare nelle verifiche di progetto:

Vita nominale V_n	50 anni
Classe d'uso	II
Coefficiente C_u	1
Vita di riferimento V_r	50 anni

Dalle coordinate geografiche del sito [datum ED50: $\varphi = 44,104545^\circ$ $\lambda = 9,861604^\circ$] si ottengono i seguenti parametri sismici di base, su riferimento rigido orizzontale, associati ai diversi periodi di ritorno T_R , per prefissate probabilità di eccedenza P_{V_r} nel periodo di riferimento V_r , riguardante ciascuno stato limite SL:

STATO LIMITE	P_{V_r}	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
Operatività – (SLO)	81%	30	0,040	2,534	0,223
Danno – (SLD)	63%	50	0,050	2,519	0,244
Salvaguardia della Vita– (SLV)	10%	475	0,122	2,404	0,291
Prevenz. dal collasso – (SLC)	5%	975	0,157	2,379	0,298

dove: a_g – accelerazione orizzontale massima del terreno in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria “A” quale definita al § 3.2.2 del D.M. 17/01/2018); F_0 – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c^* - periodo d’inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI E RISPOSTA SISMICA LOCALE

“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 ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .”

Per quel che concerne invece la classificazione del suolo finalizzata alla stima **dell'amplificazione sismica locale basata sulle caratteristiche litologiche e stratigrafiche dell'area**, i terreni d'imposta sotto la fondazione dell'opera rientrano cautelativamente nella categoria di sottosuolo “C” (indicata nella tabella 3.2.II del D.M. 17/01/18) *“depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, 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.”*

Dai parametri relativi al tipo di costruzione sopra enunciati, si ottiene il **coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s** evidenziato nella tabella che segue.

Riguardo invece agli effetti d'**amplificazione sismica dovuta alle condizioni topografiche locali**, l'area d'intervento è classificabile nella categoria **T1** (indicata nella tabella 3.2.III del D.M. 17/01/18) ovvero – *“Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$ ”*. Dai parametri relativi al tipo di costruzione sopra enunciati, si ottiene il **coefficiente di amplificazione topografica S_t** (Tab. 3.2.V) anch'esso indicato nella sottostante tabella.

*Dai dati suddetti è pertanto possibile calcolare l'accelerazione massima attesa in sito A_{max} tenendo conto dell'amplificazione sismica locale, per i diversi stati limite, attraverso la relazione: $A_{max} = a_g(g) * g * S_t * S_c$ - dove $a_g(g)$ assume i valori indicati nel precedente capitolo per i diversi stati limite.*

STATO LIMITE	COEFFICIENTI						
	Ss (-)	Cc (-)	St (-)	Kh (-)	Kv (-)	Amax (m/s ²)	β (-)
Operatività (SLO)	1,500	1,720	1,000	0,012	0,006	0,587	0,200
Danno (SLD)	1,500	1,670	1,000	0,015	0,007	0,733	0,200
Salv. Vita (SLV)	1,500	1,580	1,000	0,044	0,022	1,795	0,240
Collasso (SLC)	1,480	1,570	1,000	0,056	0,028	2,283	0,240

Da quanto sopra, le opere di nuova realizzazione dovranno essere progettate attenendosi a tali disposizioni tecnico-costruttive, nonché i calcoli e le verifiche relativi alla costruzione andranno condotti allo stato limite ultimo adottando i valori dei parametri sopra riportati, in adeguamento alle vigente normativa in materia di prevenzione del rischio sismico.

7.4 MICROZONA OMOGENA 2 [ULT B3.r5]

PARAMETRI SISMICI DI BASE RIFERITI AL PROGETTO

Nel caso specifico, considerando la vita nominale V_n della costruzione, la Classe d'uso ed il relativo coefficiente C_u , si ottiene il periodo di riferimento dell'opera $V_r = V_n * C_u$ in funzione del quale viene valutata l'azione sismica da adottare nelle verifiche di progetto:

Vita nominale V_n	50 anni
Classe d'uso	II
Coefficiente C_u	1
Vita di riferimento V_r	50 anni

Dalle coordinate geografiche del sito [datum ED50: $\varphi = 44,105709^\circ$ $\lambda = 9,862362^\circ$] si ottengono i seguenti parametri sismici di base, su riferimento rigido orizzontale, associati ai diversi periodi di ritorno T_R , per prefissate probabilità di eccedenza P_{V_r} nel periodo di riferimento V_r , riguardante ciascuno stato limite SL:

STATO LIMITE	P_{V_r}	T_R (anni)	a_g (g)	F_0 (-)	T_c^* (s)
Operatività – (SLO)	81%	30	0,040	2,534	0,223
Danno – (SLD)	63%	50	0,050	2,519	0,244
Salvaguardia della Vita– (SLV)	10%	475	0,122	2,404	0,291
Prevenz. dal collasso – (SLC)	5%	975	0,158	2,379	0,298

dove: a_g – accelerazione orizzontale massima del terreno in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria “A” quale definita al § 3.2.2 del D.M. 17/01/2018); F_0 – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_c^* - periodo d'inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI E RISPOSTA SISMICA LOCALE

“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 ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .”

Per quel che concerne invece la classificazione del suolo finalizzata alla stima **dell’amplificazione sismica locale basata sulle caratteristiche litologiche e stratigrafiche dell’area**, i terreni d’imposta sotto la fondazione dell’opera rientrano cautelativamente nella categoria di sottosuolo “E” (indicata nella tabella 3.2.II del D.M. 17/01/18) “*terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m*”.

Dai parametri relativi al tipo di costruzione sopra enunciati, si ottiene il **coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s** evidenziato nella tabella che segue.

Riguardo invece agli effetti d’amplificazione sismica dovuta alle **condizioni topografiche locali**, l’area d’intervento è classificabile nella categoria **T1** (indicata nella tabella 3.2.III del D.M. 17/01/18) ovvero – “*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i < 15^\circ$* ”. Dai parametri relativi al tipo di costruzione sopra enunciati, si ottiene il **coefficiente di amplificazione topografica S_t** (Tab. 3.2.V) anch’esso indicato nella sottostante tabella.

Dai dati suddetti è pertanto possibile calcolare l’accelerazione massima attesa in sito A_{max} tenendo conto dell’amplificazione sismica locale, per i diversi stati limite, attraverso la relazione: $A_{max}=a_g(g)*g*S_t*S_c$ - dove $a_g(g)$ assume i valori indicati nel precedente capitolo per i diversi stati limite.

STATO LIMITE	COEFFICIENTI						
	S_s (-)	C_c (-)	S_t (-)	K_h (-)	K_v (-)	A_{max} (m/s^2)	β (-)
Operatività (SLO)	1,600	2,1	1,000	0,013	0,006	0,627	0,200
Danno (SLD)	1,600	2,020	1,000	0,016	0,008	0,783	0,200
Salv. Vita (SLV)	1,600	1,880	1,000	0,047	0,023	1,918	0,240
Collasso (SLC)	1,590	1,870	1,000	0,060	0,030	2,457	0,240

Da quanto sopra, le opere di nuova realizzazione dovranno essere progettate attenendosi a tali disposizioni tecnico-costruttive, nonché i calcoli e le verifiche relativi alla costruzione andranno condotti allo stato limite ultimo adottando i valori dei parametri sopra riportati, in adeguamento alle vigente normativa in materia di prevenzione del rischio sismico.

7.5 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI PROGETTO

La valutazione del potenziale di liquefazione è stata eseguita limitatamente all’AREA A (Tav. 11), caratterizzata da alternanze di terreni granulari sabbiosi e limo-sabbiosi.

Sebbene al momento delle indagini la falda sia stata rilevata a profondità comprese tra 9 e 12 metri da piano campagna, si è ipotizzato che, in periodi di piena del Fosso di Pagliari, correlabili ad un maggior apporto idrico per aumentata piovosità, il livello piezometrico possa risalire, raggiungendo una soggiacenza media di 5 metri. La verifica è stata condotta nelle condizioni ipotizzate.

Il fenomeno di liquefazione si verifica prevalentemente in terreni sabbiosi/limo-sabbiosi e saturi ed influisce negativamente sulle condizioni di stabilità dei pendii e dei manufatti. Secondo quanto previsto dal paragrafo 7.11.3.4.2 del DM 17/01/2018 la verifica a liquefazione può essere omessa solo nel caso in cui si

manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- I. **accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g**: dall'analisi della carta delle zone sismogenetiche, per tutto il territorio della provincia della Spezia, risultano accelerazioni massime al suolo maggiori di 0,1g, fino ad un massimo di 0,175g in corrispondenza dell'Appennino Ligure.
- II. **profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali**: si è ipotizzata una falda acquifera alla profondità di 5 m, come su indicato.
- III. **depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{cIN} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{cIN} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa**: le prove penetrometriche eseguite in sito hanno permesso di stimare un valore di $(N_1)_{60}$ inferiore a 30.
- IV. **distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in figura 2, nel fuso di sinistra nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel fuso di destra nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$** : la distribuzione granulometrica del sottosuolo può rientrare nei fusi di figura 2.

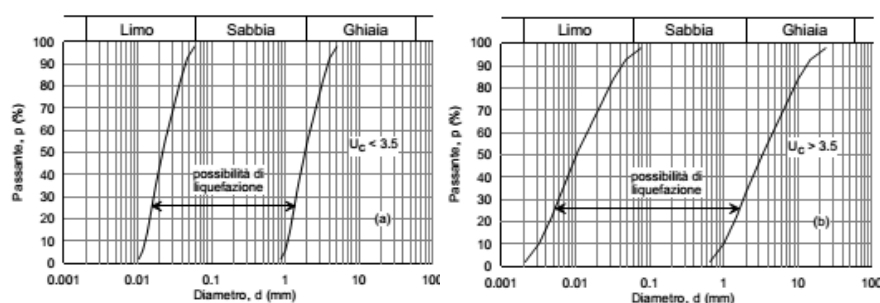


Fig. 2 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Per quanto fin qui esposto si è reso necessario eseguire la verifica a liquefazione; sono state utilizzate le relazioni proposte da Seed e Idriss (1982), da Tokimatsu & Yoshimi (1983) e da Iwasaki et al. (1984).

Per il calcolo del fattore di sicurezza (FS) si è tenuto conto di un'accelerazione sismica orizzontale massima (A/g) pari a 0,15 m/s², di una magnitudo massima attesa pari a 6,5 e del livello di falda a -5 m al di sotto del piano campagna.

Dalla verifica a liquefazione è emerso che i terreni che caratterizzano il sottosuolo sono *non liquefacibili*. Il **rischio di liquefazione è risultato MOLTO BASSO** ed il Fattore di sicurezza è in ogni caso maggiore di 1,3.

Si rimanda all'Allegato 5 per la verifica completa.

8. MODELLAZIONE GEOLOGICO-TECNICA DEL SOTTOSUOLO

In definitiva, come derivato dalle indagini geognostiche eseguite, ai fini di una modellazione geologica del sito, i terreni presenti nell'area di progetto sono suddivisibili nelle due ULT definite nei paragrafi precedenti, per le quali sono state proposte due caratterizzazioni geotecniche medie riportate nelle tabelle seguenti:

“ULT F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3”

Il modello geologico di sottosuolo relativo all'unità litologica ULT F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3, che comprende tutta l'area di nuova edificazione, è il seguente:

- Da 0 m a 2,5 m: Elementi litoidi eterogenei e frammenti di laterizio, eterometrici, in matrice limoso-sabbiosa, con resti vegetali e resti antropici (**Terreno di riporto**);
- Da 2,5 m a 5 m: Ghiaia eterometrica da poco a moderatamente addensata, in matrice limo-sabbiosa talvolta abbondante;
- Da 5 m a 9 m: Materiale torboso in matrice limo-sabbiosa, frammisto a limo sabbioso-argilloso talvolta ghiaioso, di colore nero; nella porzione più profonda tende ad una argilla organica con limo e resti vegetali;
- Da 9 m a 20 m: Alternanze di ghiaie con clasti prevalenti, con $5\text{ cm} < D_{\text{max}} < 10\text{ cm}$, di natura quarzatica e sub-angolosi e ghiaie matrice sostenute, con diametro dei clasti compreso tra 1 e 2 cm, in cui la matrice è eterogenea (da sabbiosa ad argillosa); alle ghiaie si intercalano livelli limo-argillosi con ghiaie che raggiungono spessori massimi di un metro.

Prof. (m)	N _{spt} n.	Dr %	γ_{nat} T/mc	γ_{sat} T/mc	ϕ_m (°)	ϕ_k (°)
2,5	-	-	1,70	1,93	-	-
5	6 – 10	56,8	1,79	1,91	33,1	24,96
9	4	36	1,75	1,87	22,8	19,05
20	10 – 48	57,8 – 82	2,04 – 2,13	2,04 – 2,13	34,97 – 37,6	31,9 – 36,84

Prof. (m)	E_{y_m} kg/cmq	E_{y_k} kg/cmq	E_{d_m} kg/cmq	E_{d_k} kg/cmq	Go kg/cmq	v	Q c kg/cmq
2,5	-	-	-	-	-	-	-
5	118,7	89,41	73,7	55,5	442	0,34	32
9	66,3	55,39	52,2	43,58	291,6	0,35	8
20	187,3 – 417,3	150,3 – 342,82	131,22 – 238,7	105,3 – 199,42	893,1 – 1277,7	0,30 – 0,27	105 – 180

ULT “B3.r5”

Il modello geologico di sottosuolo relativo all'unità litologica ULT “B3.r5”, che comprende una porzione inclusa all'interno del Subdistretto API3/a caratterizzata da deboli rilievi con quote comprese tra 25 e 50 m s.l.m., è il seguente:

- Da 0 m a 1,0 m: Depositi eluvio-colluviali moderatamente addensati;
- Da 1,0 m a 2,20 m: Depositi eluvio-colluviali addensati.

Prof. (m)	N _{spt} n.	Dr %	γ_{nat} T/mc	γ_{sat} T/mc	ϕ_m (°)	ϕ_k (°)	E_{y_m} kg/cmq	E_{y_k} kg/cmq	c_{u_m} Kg/cmq	E_{d_m} kg/cmq	E_{d_k} kg/cmq	Go kg/cmq	v	Q c kg/cmq
1	13	85,1	1,78	1,94	30,7	-	238,7	-	-	178,92	-	599,1	0,33	26
2,2	43	100	2,01	2,12	39,3	-	592,7	-	-	504,12	-	1244,4	0,27	86

Dove:

- Prof. Profondità media dello strato in m
- N_{spt} Numero di colpi medio della prova SPT correlata
- Dr Densità relativa espressa in percentuale
- γ_{nat} Peso di volume naturale del terreno espresso in T/mc
- γ_{sat} Peso di volume saturo espresso in T/mc
- $\phi_m(^{\circ})$ Angolo di resistenza al taglio di picco medio efficace dello strato espresso in gradi
- $\phi_k(^{\circ})$ Angolo di resistenza al taglio di picco caratteristico dello strato espresso in gradi
- E_{y_m} Modulo di deformazione medio (di Young) espresso in kg/cmq
- E_{y_k} Modulo di deformazione caratteristico (di Young) espresso in kg/cmq
- E_{d_m} Modulo edometrico medio dello strato espresso in kg/cmq
- E_{d_k} Modulo edometrico caratteristico dello strato espresso in kg/cmq
- G_o Modulo dinamico di taglio per basse deformazioni espresso in kg/cm
- ν Coefficiente di Poisson

La suddetta caratterizzazione geotecnica dell'area di progetto consente una valutazione dello stato tensionale dei terreni di fondazione, sebbene rappresenti una valutazione preliminare, da approfondire con adeguate indagini dirette in fase esecutiva.

Si ricorda che i parametri sopra mostrati sono da considerarsi solo indicativi per la progettazione, dovendo sempre essere confutati direttamente in sito in fase esecutiva e di scavo, sotto responsabilità del progettista e del direttore dei lavori incaricati, rappresentano inoltre valori medi del dato geotecnico in termini statistici, dal quale il progettista dovrà partire per ricavare i parametri *caratteristici* e successivamente quelli di *progetto*, opportunamente giustificati, da riportare in apposita e separata *relazione geotecnica* come previsto dalle NTC del D.M. 17/01/2018.

9. CONCLUSIONI

La presente relazione geologica e sismica è stata redatta su incarico del Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure, tramite lo studio di progettazione Progetec s.n.c., a supporto del «Progetto Urbanistico Operativo P.U.O. di valorizzazione del compendio immobiliare “Ex Fusione Tritolo” - SUBDISTRETTO di TRASFORMAZIONE API 3a per FUNZIONI PRODUTTIVE e TERZIARIE]»

Lo studio è stato redatto in conformità al D.M. 17/01/2018 e secondo le disposizioni relative alle indagini della Circolare attuativa n. 4551 del 12/12/1989.

Le indagini geognostiche eseguite nell'area di studio hanno permesso il riconoscimento di due microzone omogenee in prospettiva sismica e di due unità litologico-tecniche (Tavola 9 e Tavola 10).

Dalla sovrapposizione delle suddette cartografie con le pericolosità definite negli elaborati dei Piani di Bacino e del PUC della Spezia è stato possibile redigere la “Carta di Sintesi” riportata in Tav. 11 nella quale vengono delineate due AREE a comportamento omogeneo le cui caratteristiche sono le seguenti:

➤ AREA “A”

- zona a molto bassa suscettività al dissesto, in cui l'uso del territorio è condizionato in senso geologico da elementi eliminabili con interventi di medio-bassa difficoltà ed onerosità;
- area pianeggiante costituita da alternanze di limi da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di materiale torboso, e ghiaie con elementi lapidei compresi tra 2 e 60 mm, da addensate a moderatamente addensate, con frazione interstiziale coesiva, ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale del terreno, con spessori compresi tra 20 e 50 metri, interessati da falda acquifera posta a ca. 5,0 m dal p.c. (ULT F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3);
- circolazione idrica profonda, con falde artesiane e sospese, con locali contrasti di permeabilità;
- portanza dei terreni superficiali bassa, con possibili fenomeni geotecnici legati a disomogeneità laterali e alla presenza di un livello torboso che caratterizza tutta la porzione costiera dell'area denominata “Stagnoni” il cui comportamento geotecnico potrebbe non essere prevedibile;
- presenza di una fascia di rispetto del reticolo idrografico (Fascia “a”);
- presenza di una fascia a suscettività al dissesto media - Pg2 (Fascia “b”)
- classificazione del suolo di fondazione secondo le NTC 2018: categoria C.

➤ AREA “B”

- zona a media suscettività al dissesto, in cui l'uso del territorio è condizionato in senso geologico da elementi eliminabili con interventi di bassa difficoltà ed onerosità;
- area di versante costituita in prevalenza da depositi eluvio-colluviali posti su un substrato roccioso stratificato, caratterizzato da alternanze di livelli lapidei e pelitici (ULT B3.r5);
- circolazione idrica profonda favorita dalla fitta fratturazione della porzione di substrato quarzifica in contrasto con la scarsa permeabilità dei livelli filladici;
- ammasso roccioso fortemente fratturato ed alterato, nel complesso valutabile come mediamente scadente;
- presenza di una fascia a suscettività al dissesto media - Pg2 (Fascia “b”)
- classificazione del suolo di fondazione secondo le NTC 2018: categoria E;

Relativamente alla pericolosità geomorfologica, il Subdistretto API 3a presenta aree con differenti gradi

di suscettività al dissesto, da molto basso (**Pg0**) a medio (**Pg2**).

Allo stato e nelle condizioni attuali non si evidenziano nell'area in esame particolari problematiche legate alla stabilità dei versanti.

L'idrogeologia di questa porzione di pianura appare piuttosto complessa data la presenza di un sistema multifalda, con falde artesiane e falde sospese, individuate sia in sito che da indagini condotte in terreni contigui a quello in esame. *Nell'area di studio, al termine del recupero delle aste della prova penetrometrica DPSH 1, spinta alla profondità di 12,2 m, un'esigua risalita d'acqua è stata l'evidenza di un livello più superficiale, probabilmente semiconfinato, del sistema multifalda che caratterizza il sottosuolo.*

Da un sondaggio realizzato in un terreno limitrofo al Subdistretto API 3a, la profondità della falda in pressione si attesta nella zona a circa 15 metri da piano campagna.

Tale aspetto andrà opportunamente valutato sia in fase progettuale che in fase realizzativa.

Durante l'esecuzione della prova penetrometrica DPSH 2 è stata intercettata una falda freatica alla profondità di 9,5 m.

Relativamente all'idrografia superficiale l'area di studio ricade all'interno del Bacino Idrografico del Fosso di Pagliari (Tav. 5). Allo stato attuale si evidenziano alcune differenze tra le cartografie disponibili: il tratto "B" del Fosso di Pagliari riportato nella Carta del Reticolo Idrografico del Piano di Bacino Ambito 20 (Tav.5) ha subito variazioni poiché non è più confluyente nel ramo "A", bensì sfocia nell'area della Darsena Pagliari, come riportato nella Tav. 5/bis (Carte del Reticolo Regionale); *nell'area compresa nel Subdistretto API3a risulta tombinato.*

Si sottolinea la presenza di un'area caratterizzata da pericolosità idraulica, in particolare inondabile per eventi di piena con $Tr=50$ anni (**Fascia A**). Sarà necessario predisporre adeguate opere di regimazione idrica, con una rete di raccolta delle acque meteoriche al fine di garantirne l'allontanamento.

Si raccomanda di verificare in sito le previsioni geologiche esposte nella presente relazione, in particolare, qualora venissero predisposte attività di scavo, dovrà essere valutata dal tecnico progettista la necessità di opere provvisorie di contenimento dei fronti.

Da un punto di vista sismico, tutte le strutture di progetto dovranno essere conformi ai requisiti tecnico-costruttivi previsti dalla normativa vigente per tali zone, con particolare riferimento al O.P.C.M. n. 3519/2006 e alla D.G.R. n. 216 del 17/03/2017 che classificano il Comune della Spezia in classe 3.

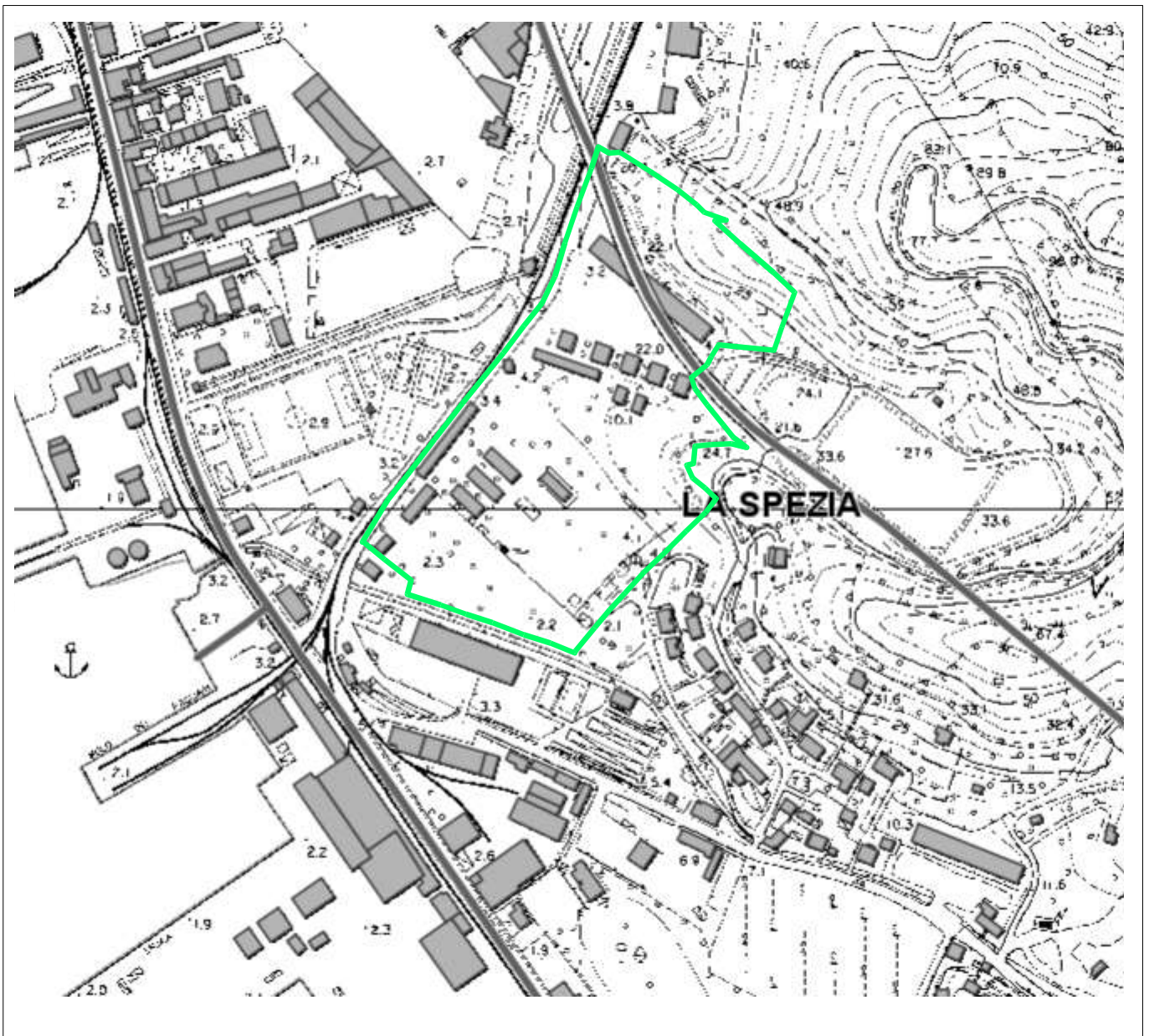
La Spezia, 04/08/2020



Dott. Geol. Chiara Nocchi
A.P. no. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]
CHIARA NOCCHI
GEOLOGO
data iscr. 15-01-2015

Dott. Geol. Valentina Gianella
Albo dei Geologi della Liguria 617]
VALENTINA GIANNELLA
GEOLOGO
data iscr. 21-07-2013

ALLEGATI



LEGENDA



Subdistretto API3/a: Ex Fusione Tritolo

Tav. 1

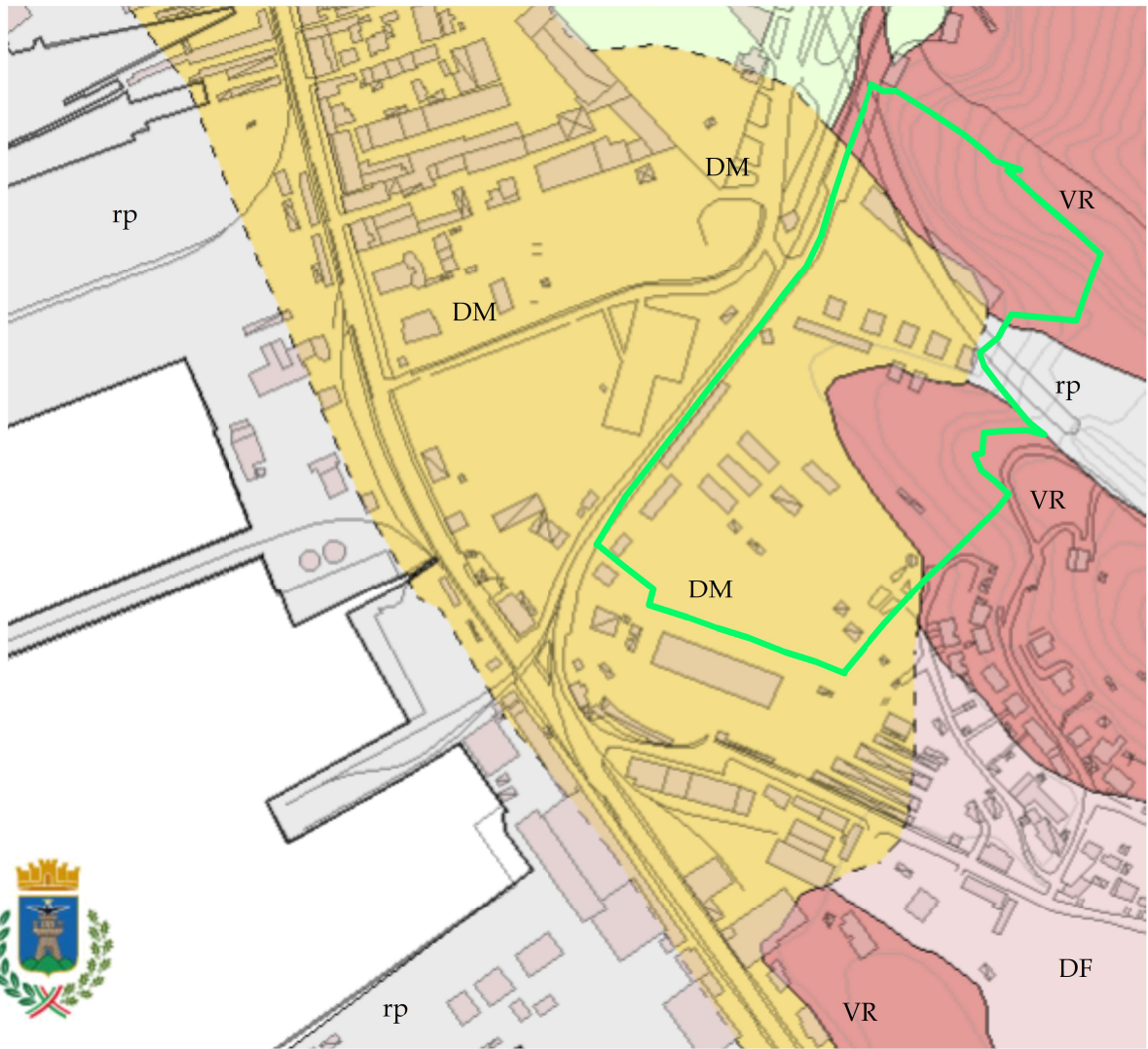
**CARTA COROGRAFICA
SCALA 1:5000**

Relazione Geologica e Sismica a supporto
del Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a



DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



LEGENDA

rp

rp - Materiale di riporto

DEPOSITI QUATERNARI

DM

DM - Depositi di origine prevalentemente marina: prevalentemente sabbiosi con frazioni argillose e limose subordinate a scarsi ciottoli subarrotondati. Presenti resti fossili e vegetali. QUATERNARIO

DF

DF - Depositi di origine prevalentemente fluviale: depositi a granulometria variabile da ghiaia ad argilla. QUATERNARIO

DL

DL - Depositi di origine prevalentemente lacustre: depositi limo-sabbiosi argillosi con frequenti livelli torbosi. Presenti resti fossili e vegetali. QUATERNARIO

UNITÀ DI MASSA

VR

VR - Gruppo del Verrucano: porzione mediana della sequenza continentale del trias medio con quarziti prevalenti su filladi e anageniti. TRIAS



Subdistretto API3/a

COMUNE DELLA SPEZIA
Piano Urbanistico
Comunale (2003)

Tav. 2

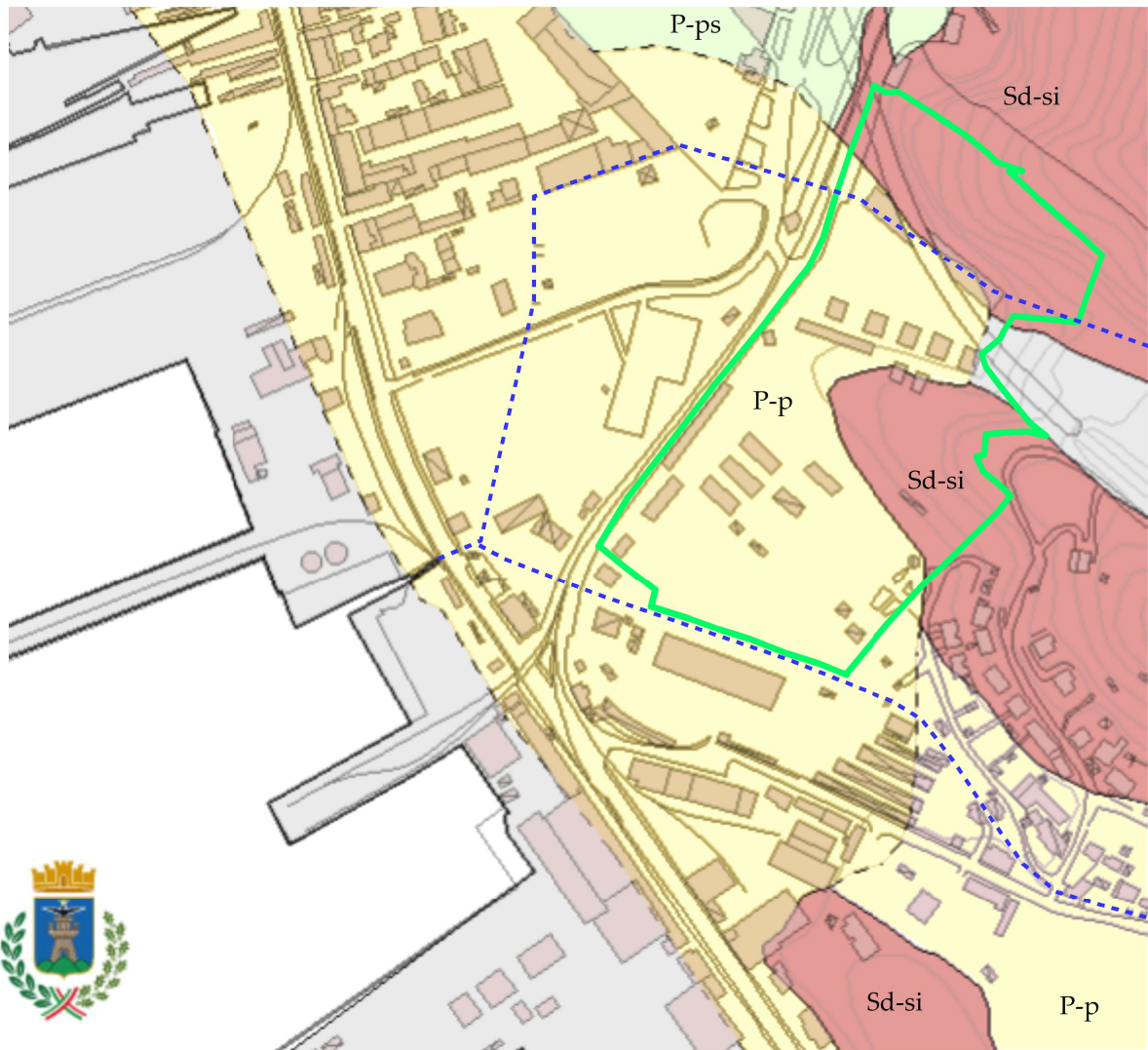
CARTA GEOLOGICA SCALA 1:5000

Relazione Geologica e Sismica a supporto
del Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a

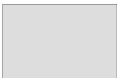

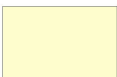
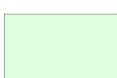




DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



LEGENDA

-  Materiale di riporto
-  Sd-si: Substrato roccioso a medio-bassa permeabilità per fessurazione (VR - Quarziti e filladi)
-  P-p: Depositi marini e fluviali ad elevata permeabilità per porosità (DM e DF)
-  P-ps: Depositi lacustri con permeabilità da media ad elevata per porosità (DL)
-  Reticolo idrografico superficiale
-  Subdistretto API3/a

COMUNE DELLA SPEZIA
Piano Urbanistico
Comunale (2003)

Tav. 3

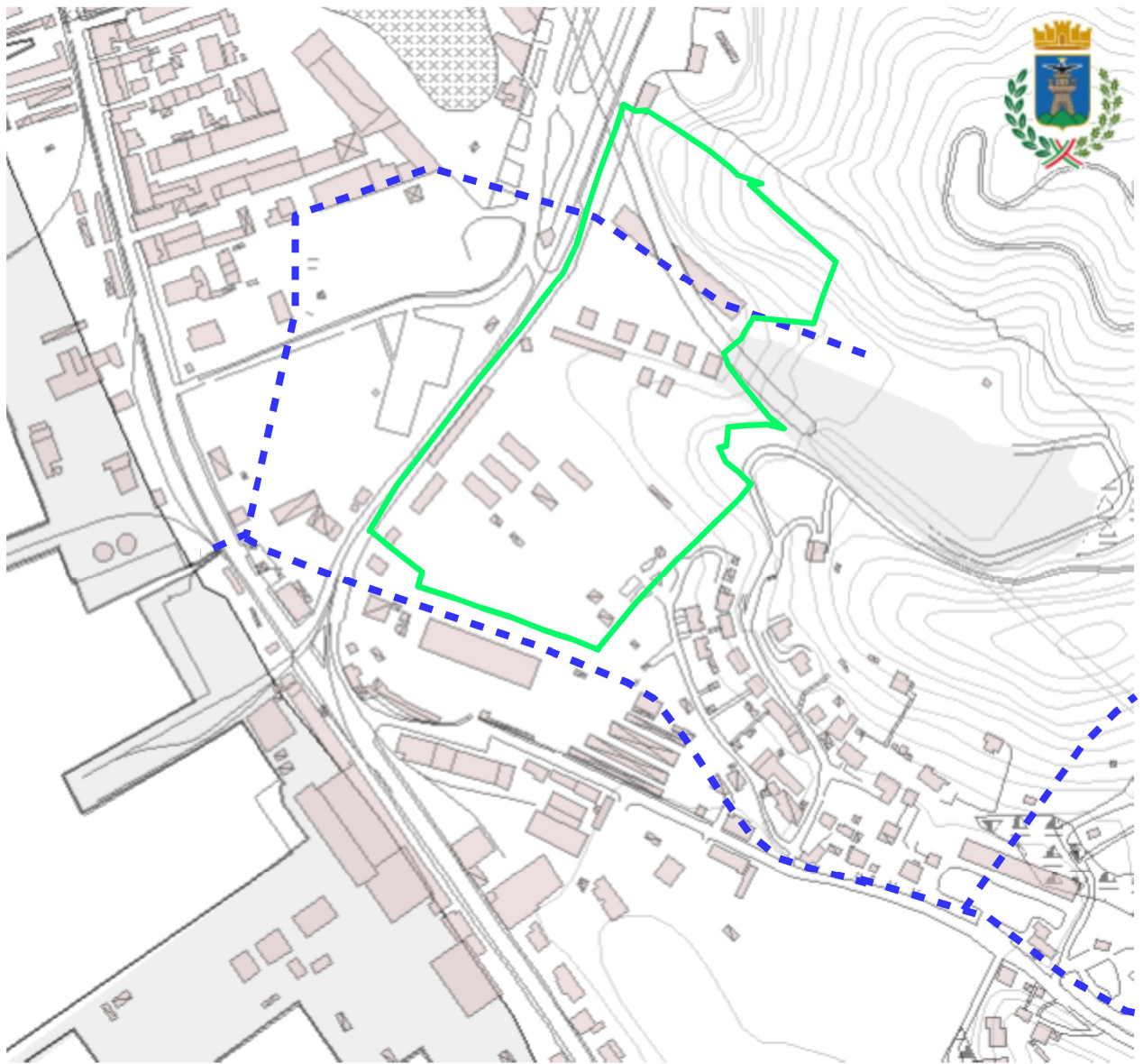
CARTA IDROGEOLOGICA SCALA 1:5000

Relazione Geologica e Sismica a supporto
del Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a

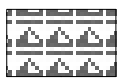


DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



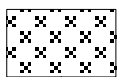
LEGENDA



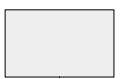
Coperture detritiche, non classate (da ciottoli ad argille) con spessore compreso tra 3 e 5 metri



Coperture detritiche, non classate (da ciottoli ad argille) con spessore compreso tra 1 e 3 metri



Area soggetta a fenomeni di alluvionamento e/o ristagno di acqua



Materiale di riporto



Reticolo idrografico



Subdistretto API3/a

COMUNE DELLA SPEZIA
Piano Urbanistico
Comunale (2003)

Tav. 4

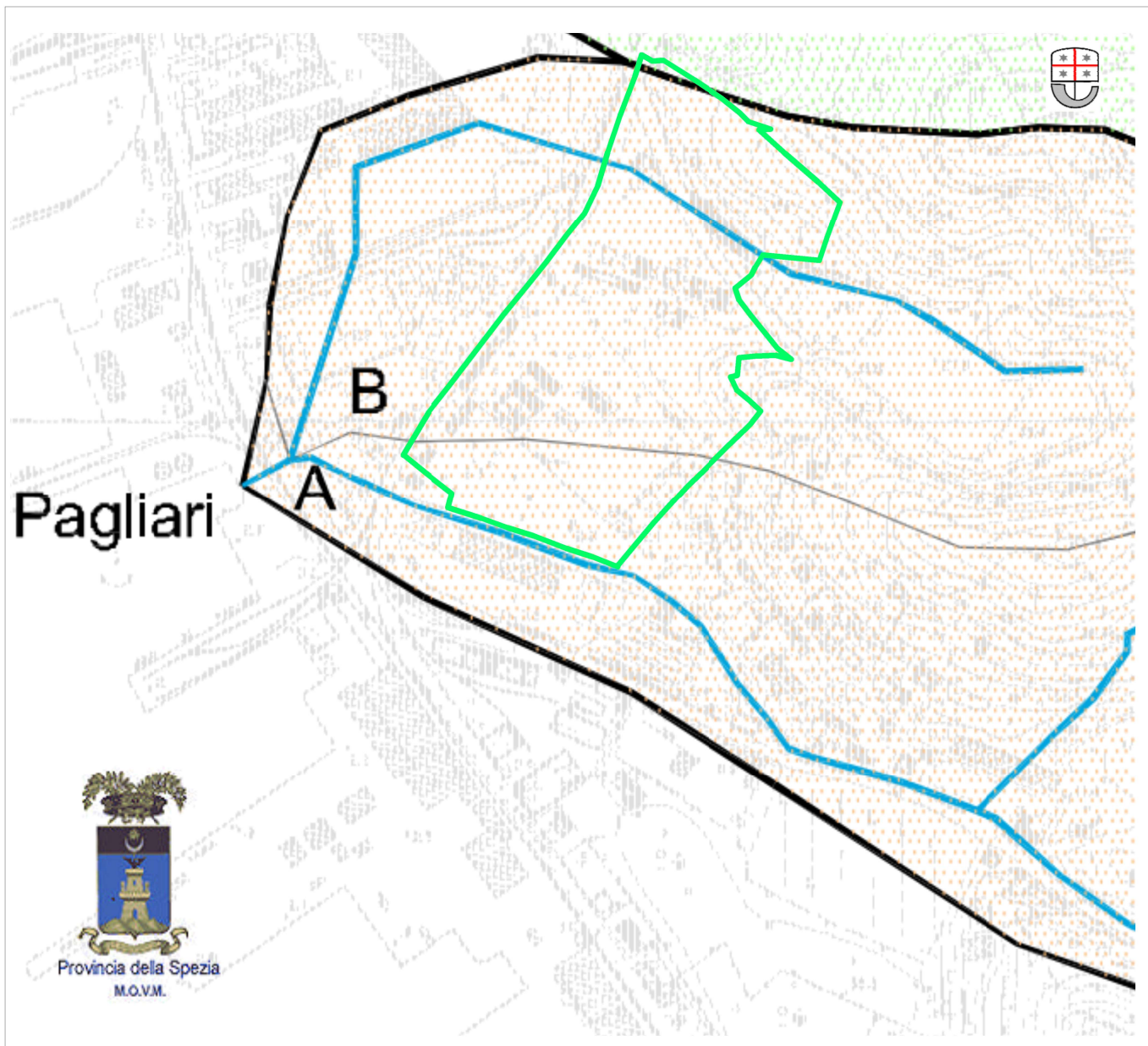
CARTA GEOMORFOLOGICA
SCALA 1:5000

Relazione Geologica e Sismica a supporto
del Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a








DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



LEGENDA

-  Bacino idrografico – FOSSO DI PAGLIARI
-  Reticolo idrografico principale
-  Limite di bacino
-  Limite dei sottobacini relativi ai tratti A e B del Fosso di Pagliari

 Subdistretto API3/a

REGIONE LIGURIA
 PROVINCIA DELLA SPEZIA
 Piano di Bacino
 AMBITO 20

Tav. 5

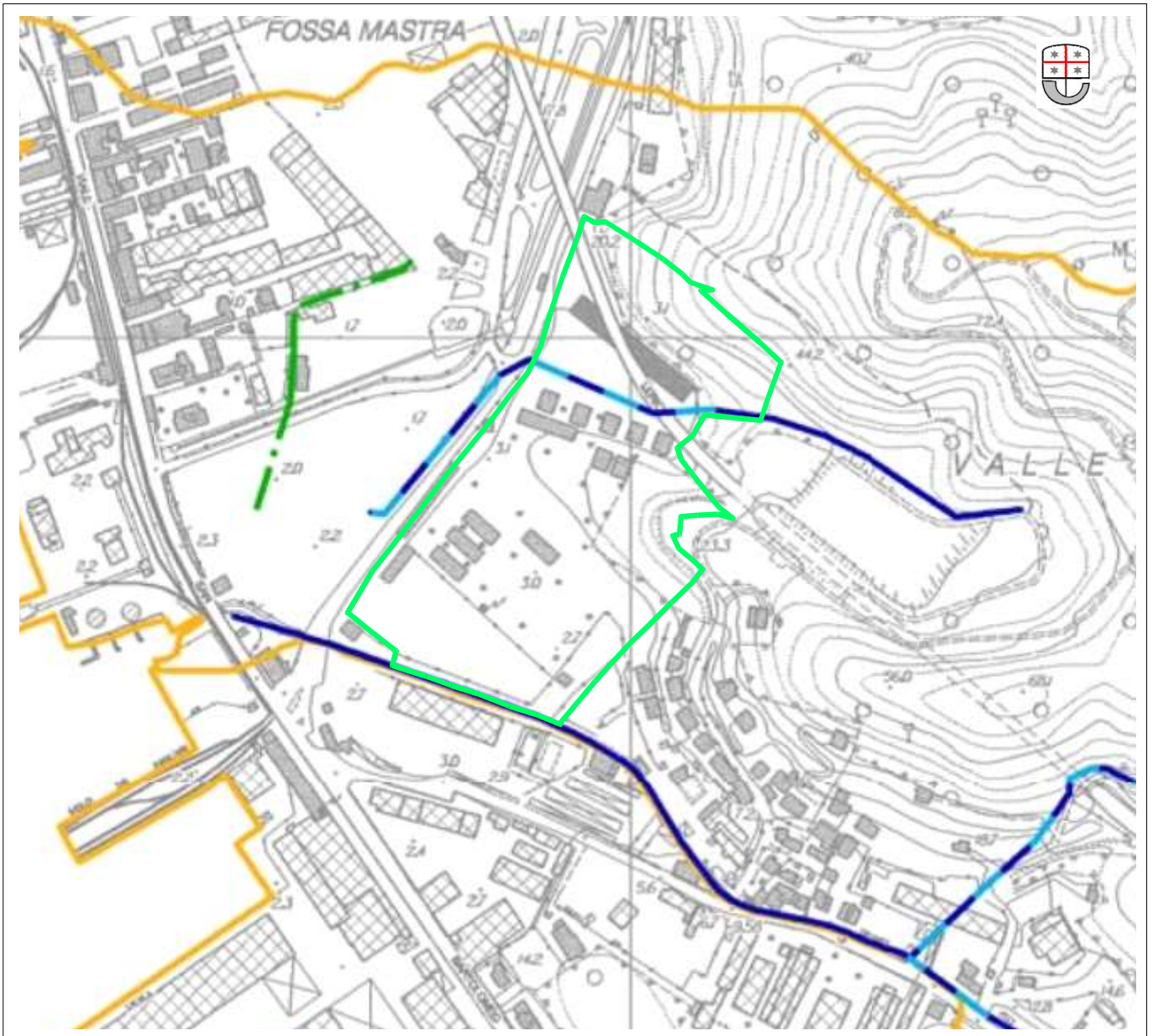
CARTA DEL RETICOLO
 IDROGRAFICO PRINCIPALE
 (limiti dei bacini e sottobacini)
 SCALA 1:5000

Relazione Geologica e Sismica a supporto
 del Progetto Urbanistico Operativo di
 valorizzazione del compendio immobiliare
 "Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a






DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
 DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA




VIALE ITALIA SNC
 C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
 19121 LA SPEZIA




LEGENDA

Reticolo idrografico

-  a cielo aperto
-  tombinato
-  scolmatore/opera idraulica

-  Rete di drenaggio urbano
-  Confini comunali
-  Bacini idrografici

 Subdistretto API3/a

REGIONE LIGURIA

**Tav.
5/bis**

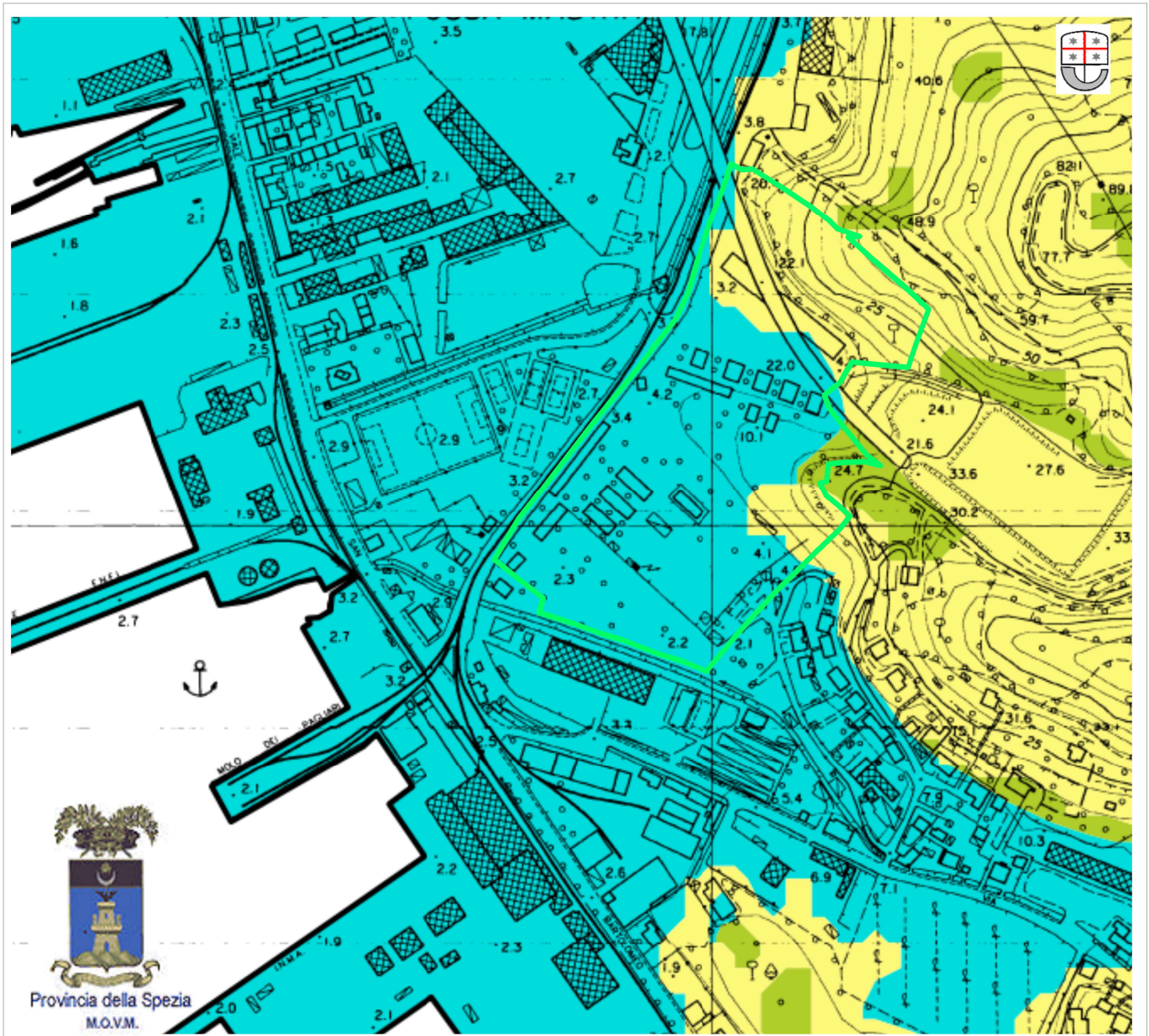
CARTA DEL RETICOLO
IDROGRAFICO REGIONALE
SCALA 1:5000

Relazione Geologica e Sismica a supporto
del Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a







DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



LEGENDA

-  **Pg2 - Suscettività al dissesto media**
-  **Pg1 - Suscettività al dissesto bassa**
-  **Pg0 - Suscettività al dissesto molto bassa**

 Subdistretto API3/a

REGIONE LIGURIA
 PROVINCIA DELLA SPEZIA
 Piano di Bacino
 AMBITO 20

Tav. 6

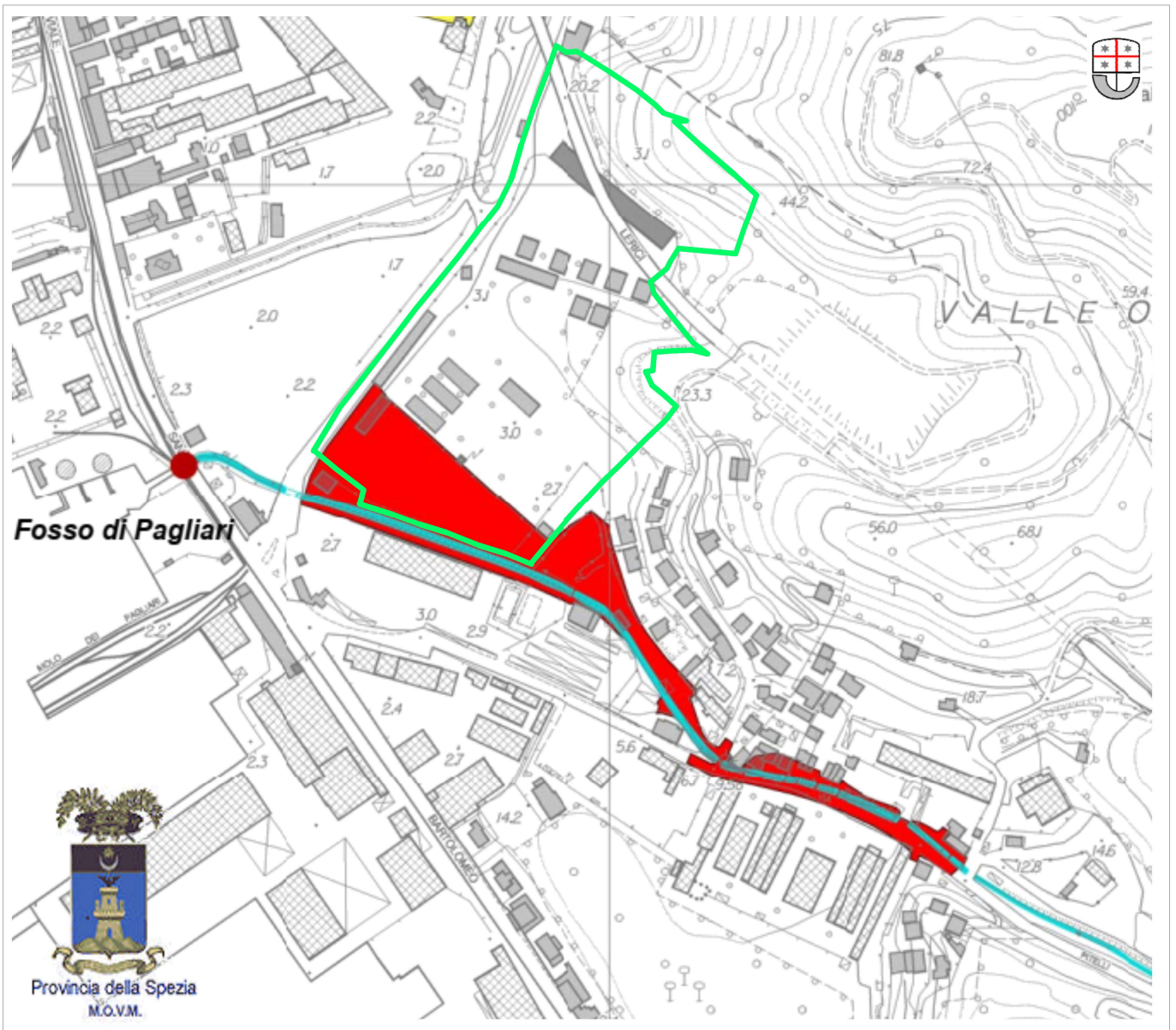
**CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ
 AL DISSESTO - SCALA 1:5000**

Relazione Geologica e Sismica a supporto
 del Progetto Urbanistico Operativo di
 valorizzazione del compendio immobiliare
 "Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a



DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
 DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
 C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
 19121 LA SPEZIA



LEGENDA



Fascia A



Alveo a cielo aperto



Alveo tombinato

Criticità puntuali:



non verificate per T=50 anni



Subdistretto API3/a

REGIONE LIGURIA
 PROVINCIA DELLA SPEZIA
 Piano di Bacino
 AMBITO 20

Tav. 7

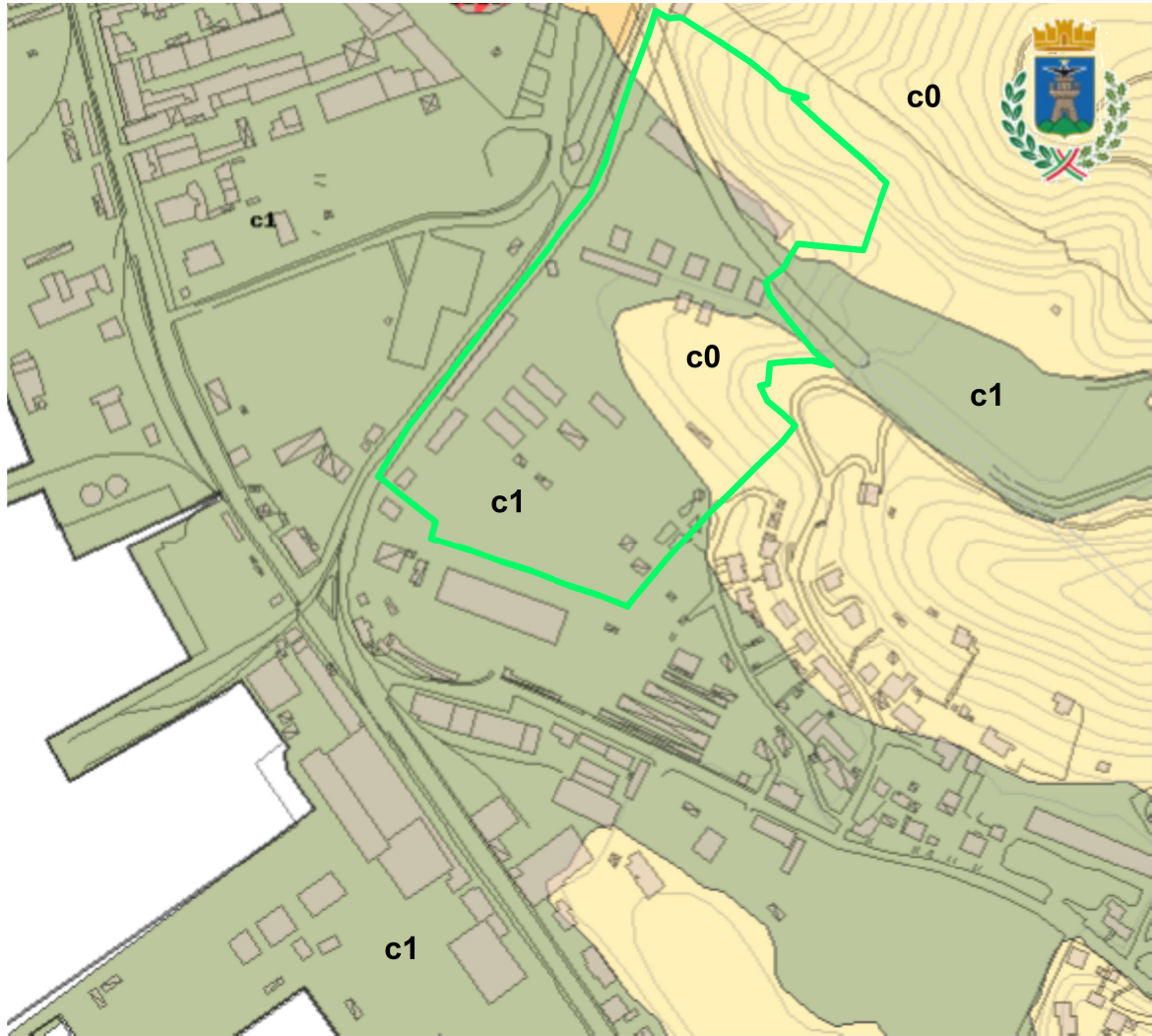
CARTA DELLE FASCE DI
 INONDABILITÀ - SCALA 1:5000

Relazione Geologica e Sismica a supporto
 del Progetto Urbanistico Operativo di
 valorizzazione del compendio immobiliare
 "Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a



DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
 DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
 C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
 19121 LA SPEZIA



LEGENDA

c0

C0: suscettibilità d'uso condizionata – aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di bassa difficoltà ed onerosità

c1

C1: suscettibilità d'uso condizionata – aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di medio-bassa difficoltà ed onerosità



Subdistretto API3/a

COMUNE DELLA SPEZIA
Piano Urbanistico
Comunale (2003)

Tav. 8

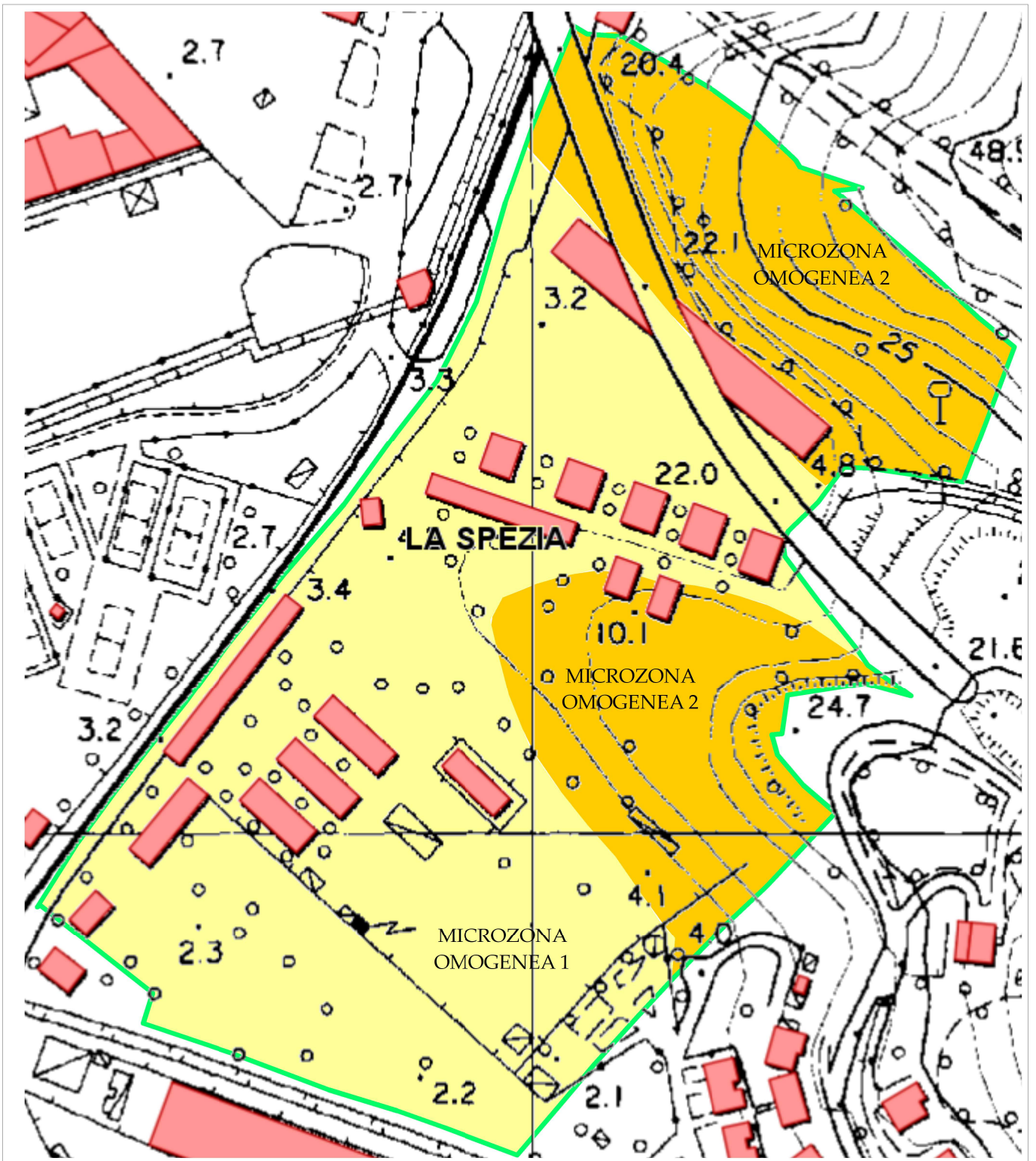
CARTA DI ZONIZZAZIONE E DI SUSCETTIBILITÀ D'USO DEL TERRITORIO - SCALA 1:5000

Relazione Geologica e Sismica a supporto
del Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a



DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



LEGENDA

FA 1.60
FV 1.79

- Microzona omogenea 1:
- Profilo di velocità: lineare pendenza intermedia
 - V_{SH} 350 m/s
 - Tipo di terreno: sabbia
 - H: 30m

FA 1.08
FV 1.01

- Microzona omogenea 2:
- Profilo di velocità: lineare pendenza intermedia
 - V_{SH} 600 m/s
 - Tipo di terreno: sabbia
 - H: 10m



Subdistretto API3/a

Tav. 9

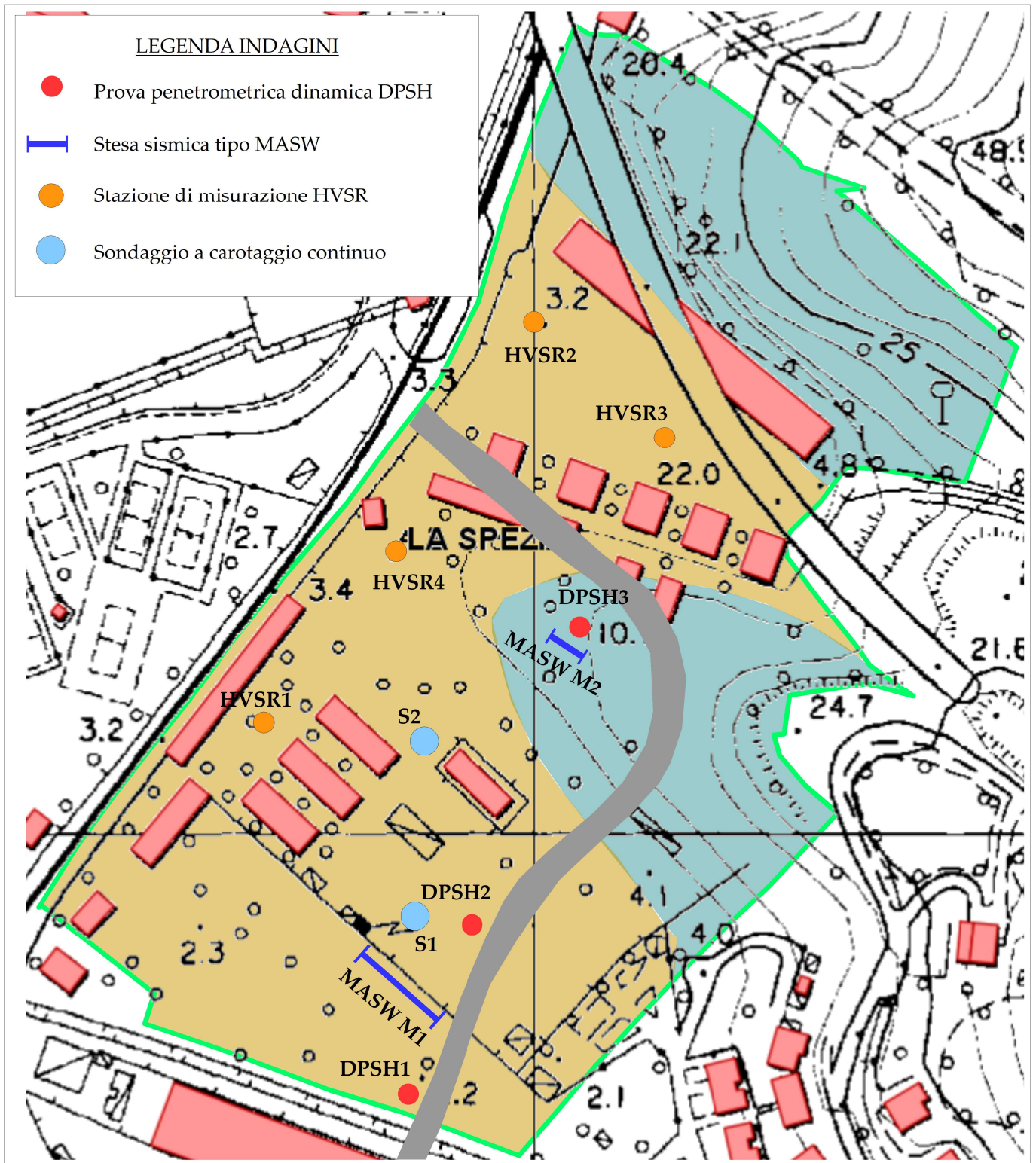
CARTA DI
MICROZONAZIONE
SISMICA - SCALA 1:2000

Relazione Geologica e Sismica a supporto del
Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a



DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
D/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



LEGENDA - U.L.T.



U.L.T. "F1.s3/4.t4" "E2.a1/2.t3" - Litologia prevalente: alternanze di limi da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di materiale torboso, e ghiaie con elementi lapidei compresi tra 2 e 60 mm, da addensate a moderatamente addensate, con frazione interstiziale coesiva, ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale del terreno.



U.L.T. "B3.r5" - Litologia prevalente: rocce stratificate costituite da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pelitici. Classificazione dell'ammasso: roccia debole.



Subdistretto API3/a



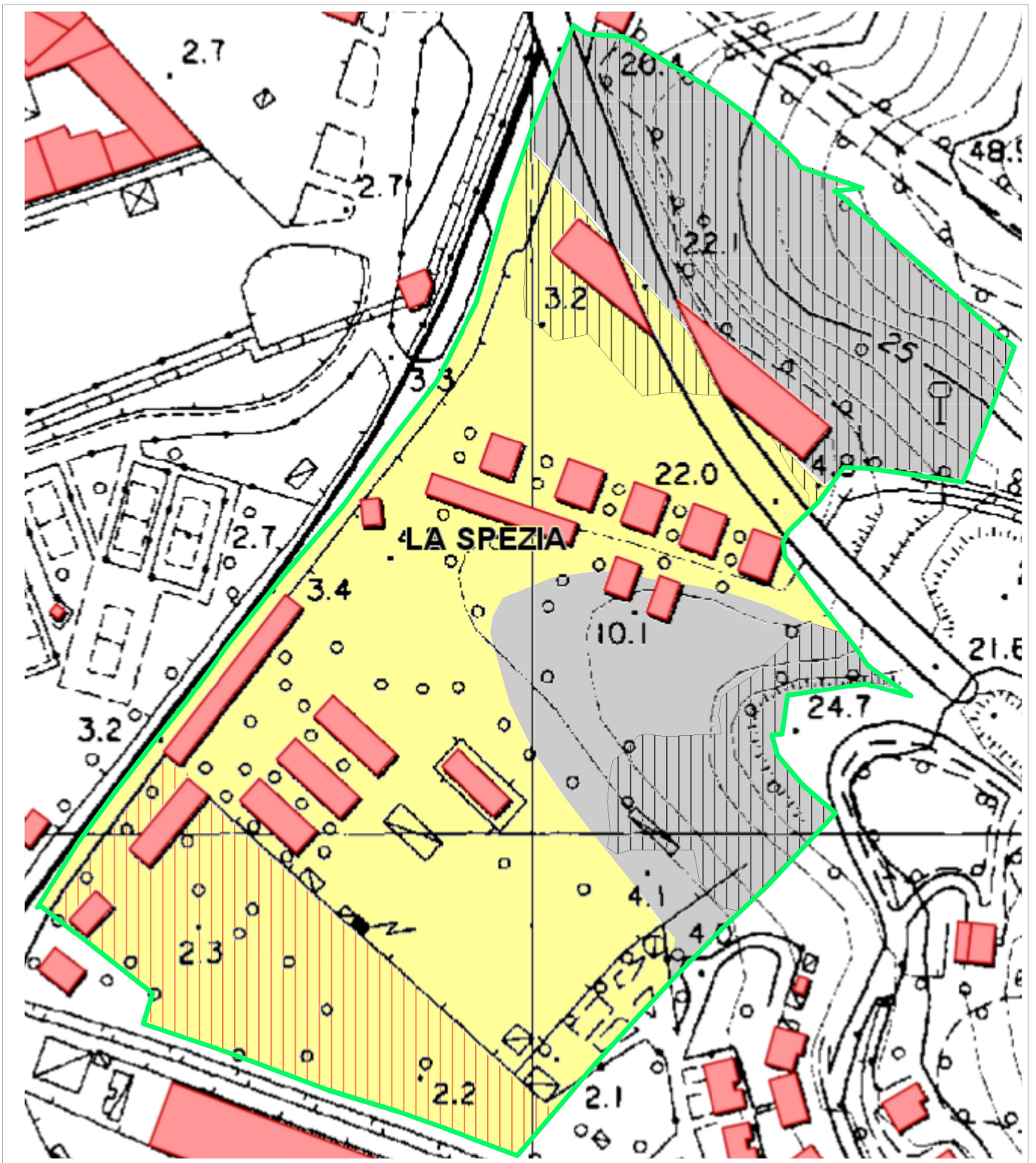
Tracciato della strada in progetto

Tav. 10






CARTA DI ANALISI
SCALA 1:2000


PUO di valorizzazione
del compendio
immobiliare "Ex
Fusione Tritolo" -
Subdistretto API3/a





LEGENDA

- | | | | |
|---|----------|---|------------|
|  | AREA "A" |  | Fascia "a" |
|  | AREA "B" |  | Fascia "b" |
| | |  | Fascia "b" |

 Subdistretto API3/a

Tav. 11

CARTA DI SINTESI
SCALA 1:2000

Relazione Geologica e Sismica a supporto del
Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a



DOTT. GEOL. CHIARA NOGCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA

CARTA DI SINTESI

LEGENDA



AREA "A"

- zona a molto bassa suscettività al dissesto, in cui l'uso del territorio è condizionato in senso geologico da elementi eliminabili con interventi di medio-bassa difficoltà ed onerosità;
- area pianeggiante costituita da alternanze di limi da consistenti a moderatamente consistenti, con presenza di materiale torboso, e ghiaie con elementi lapidei compresi tra 2 e 60 mm, da addensate a moderatamente addensate, con frazione interstiziale coesiva, ma non sufficiente ad alterare il carattere granulare globale del terreno, con spessori compresi tra 20 e 50 metri, interessati da falda acquifera posta a ca. 5,0 m dal p.c. (ULT F1.s3/4.t4 – E2.a1/2.t3);
- circolazione idrica profonda, con falde artesiane e sospese, con locali contrasti di permeabilità;
- portanza dei terreni superficiali bassa, con possibili fenomeni geotecnici legati a disomogeneità laterali e alla presenza di un livello torboso che caratterizza tutta la porzione costiera dell'area denominata "Stagnoni" il cui comportamento geotecnico potrebbe non essere prevedibile;
- presenza di una fascia di rispetto del reticolo idrografico (Fascia "a");
- presenza di una fascia a suscettività al dissesto media - Pg2 (Fascia "b");
- classificazione del suolo di fondazione secondo le NTC 2018: categoria C.



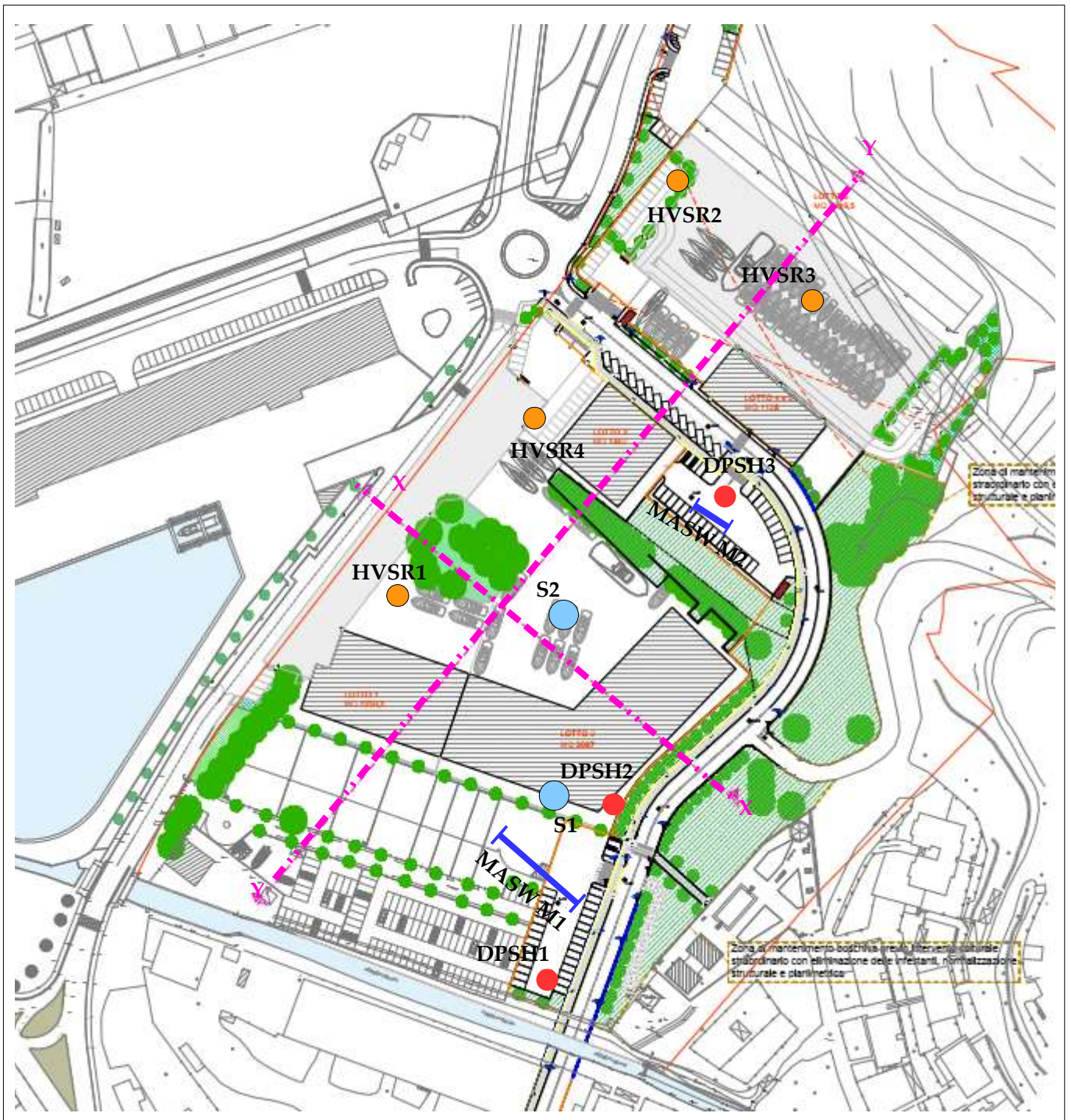
AREA "B"

- zona a media suscettività al dissesto, in cui l'uso del territorio è condizionato in senso geologico da elementi eliminabili con interventi di bassa difficoltà ed onerosità;
- area di versante costituita in prevalenza da depositi eluvio-colluviali posti su un substrato roccioso stratificato, caratterizzato da alternanze di livelli lapidei e pelitici (ULT B3.r5);
- circolazione idrica profonda favorita dalla fitta fratturazione della porzione di substrato quarzifica in contrasto con la scarsa permeabilità dei livelli filladici;
- ammasso roccioso fortemente fratturato ed alterato, nel complesso valutabile come mediamente scadente;
- presenza di una fascia a suscettività al dissesto media - Pg2 (Fascia "b")
- classificazione del suolo di fondazione secondo le NTC 2018: categoria E;

**Tav.
11/bis**

Relazione Geologica e Sismica a supporto del
Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a





PLANIMETRIA AREA D'INTERVENTO [CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE]
Stato di Raffronto - SCALA 1:2000

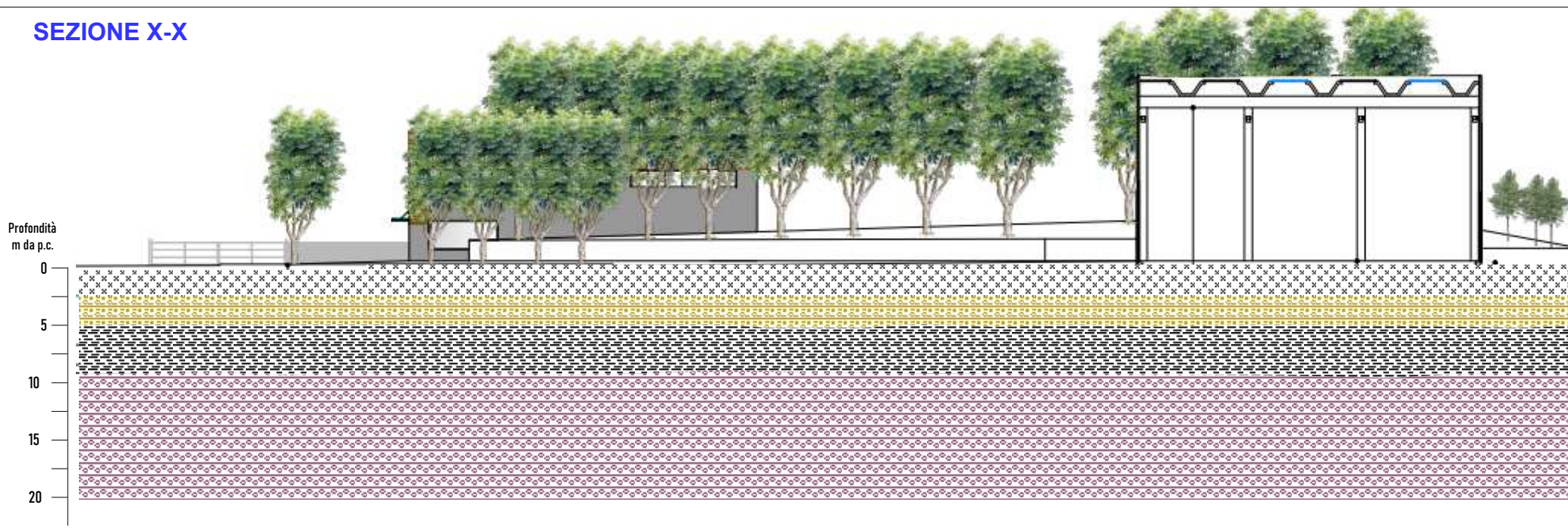
LEGENDA

- Prova penetrometrica dinamica DPSH
- | Stesa sismica tipo MASW
- Stazione di misurazione HVSR
- Sondaggio a carotaggio continuo
- - - Traccia delle sezioni [X-X] [Y-Y]
- Subdistretto API3/a

Tav. 12

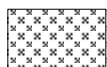
Relazione Geologica e Sismica a supporto del
Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a

SEZIONE X-X



LEGENDA

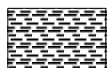
U.L.T. "F1.s3/4.t4" "E2.a1/2.t3"



Terreno di riporto costituito da elementi litoidi eterogenei e frammenti di laterizio, con resti antropici.



Ghiaia eterometrica poco addensata, in matrice limo-sabbiosa talvolta abbondante.



Materiale torboso in matrice limo-sabbiosa, frammisto a limo sabbioso-argilloso, talvolta ghiaioso, di colore nero; nella porzione più profonda diviene una argilla con limo, organica con resti vegetali.



Alternanze di ghiaie con clasti prevalenti, di natura quarzitica, sub-angolosi [$5 \text{ cm} < D_{\text{max}} < 10 \text{ cm}$], e ghiaie matrice sostenute, con diametro dei clasti compreso tra 1 e 2 cm, in cui la matrice è eterogenea (da sabbiosa ad argillosa); alle ghiaie si intercalano livelli limo-argillosi con ghiaie che raggiungono spessori massimi di un metro.

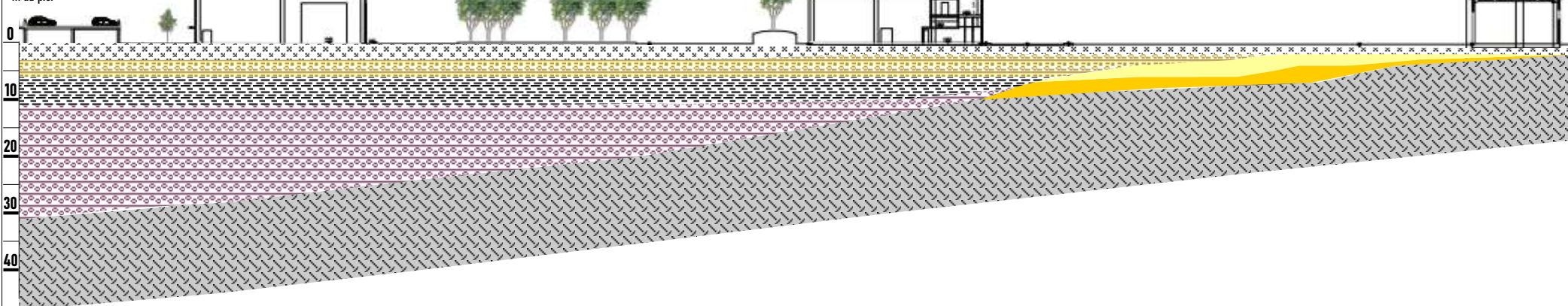
Tav. 13

SEZIONE GEOLOGICA X-X INTERPRETATIVA SCALA 1:500

Relazione Geologica e Sismica a supporto
del Progetto Urbanistico Operativo di
valorizzazione del compendio immobiliare
"Ex Fusione Tritolo" - Subdistretto API3/a

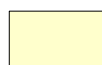


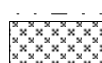



SEZIONE Y-Y

Profondità
m da p.c.



SEZIONE GEOLOGICA Y-Y
SCALA 1:1000

LEGENDA

-  Depositi eluvio-colluviali moderatamente addensati
-  Depositi eluvio-colluviali addensati
-  Substrato roccioso quarzítico fortemente alterato e fratturato
-  Terreno di riporto costituito da elementi litoidi eterogenei e frammenti di laterizio, con resti antropici.
-  Ghiaia eterometrica poco addensata, in matrice limo-sabbiosa talvolta abbondante.
-  Materiale torboso in matrice limo-sabbiosa, frammisto a limo sabbioso-argilloso, talvolta ghiaioso, di colore nero; nella porzione più profonda diviene una argilla con limo, organica con resti vegetali.
-  Alternanze di ghiaie con clasti prevalenti, di natura quarzítica, sub-angolosi [5 cm < Dmax < 10 cm], e ghiaie matrice sostenute, con diametro dei clasti compreso tra 1 e 2 cm, in cui la matrice è eterogenea (da sabbiosa ad argillosa); alle ghiaie si intercalano livelli limo-argillosi con ghiaie che raggiungono spessori massimi di un metro.

U.L.T. "B3,r5"

U.L.T. "F1,s3/4,t4" "E2,a1/2,t3"

Tav. 14

Relazione
Geologica e
Sismica a supporto
del Progetto
Urbanistico
Operativo di
valorizzazione del
compendio
immobiliare "Ex
Fusione Tritolo" -
Subdistretto
API3/a



STESA SISMICA M1 – AREA “A”
(tipo MASW) – 24 canali
Interasse geofoni: 1,5m



STESA SISMICA M2 – AREA “B”
(tipo MASW) – 12 canali
Interasse geofoni: 1 m



DPSH01



DPSH02

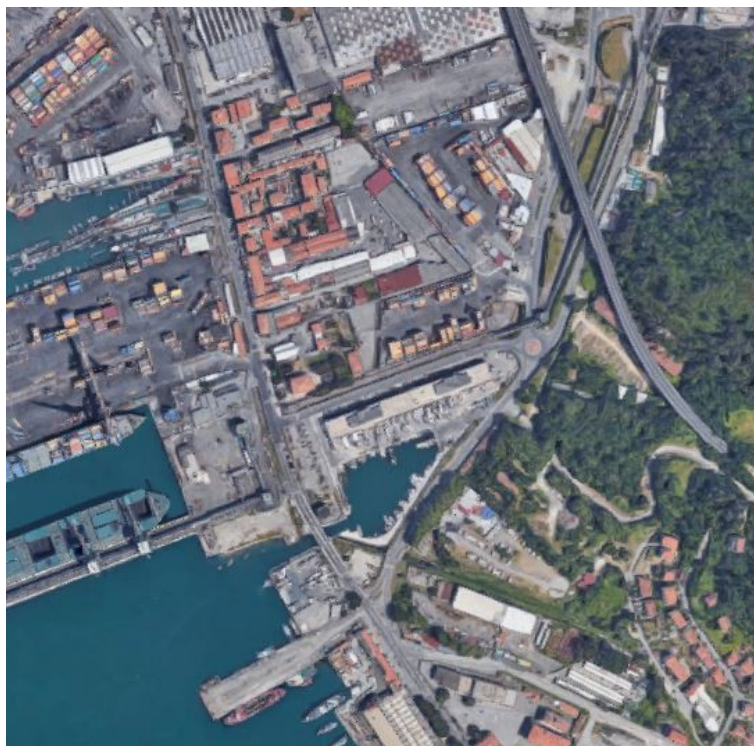


AREA DI ESECUZIONE DPSH03

<u>ALLEGATO 1</u>	Data: Dicembre 2019
	Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure

Prove Penetrometriche Dinamiche DPSH

Progetto Urbanistico Operativo PUO di valorizzazione del compendio immobiliare "ex Fusione Tritolo"



Dott. Geol. Chiara Nocchi
A.P. n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639
CHIARA NOCCHI
GEOLOGO
data iscr. 15-01-2015

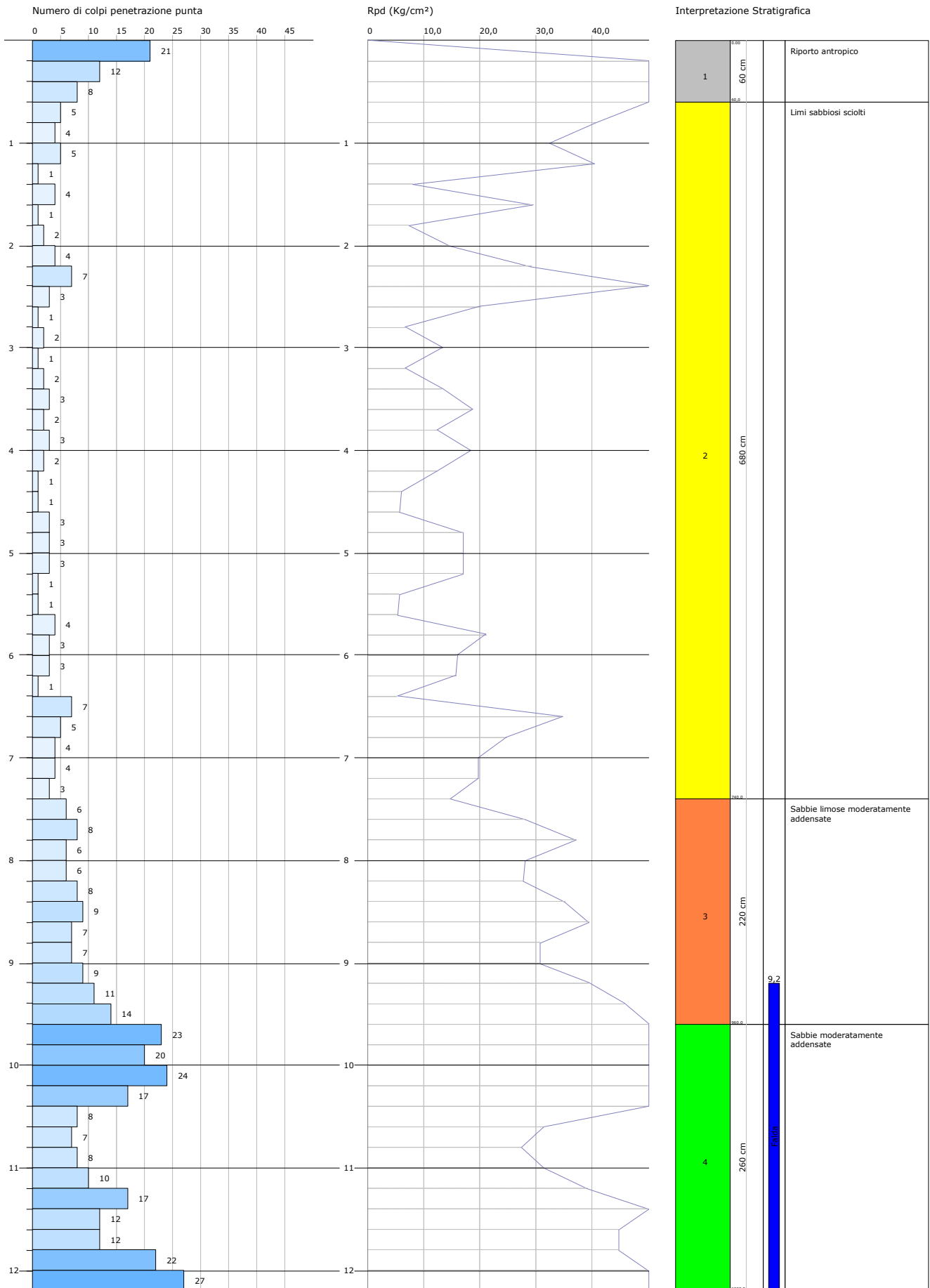
Dott. Geol. Valentina Gianella
A.P. n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617
VALENTINA GIANELLA
GEOLOGO
data iscr. 21-07-2011

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Uigure
 Descrizione: PUO di valorizzazione del compendio immobiliare "ex fusione tritolo"
 Località: Via delle Casermette - La Spezia

Data: 05/07/2018

Scala 1:53



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 1**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Riporto antropico	20	0,00-0,60	20	Meyerhof 1957	100
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Meyerhof 1957	36,04
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Meyerhof 1957	50,1
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	Meyerhof 1957	58,95

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Riporto antropico	20	0,00-0,60	20	Shioi-Fukuni (1982)	32,32
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Shioi-Fukuni (1982)	22,75
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Shioi-Fukuni (1982)	28,42
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	Shioi-Fukuni (1982)	31,88

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Riporto antropico	20	0,00-0,60	20	Schultze-Menzenbach Sabbia limosa	151,1
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Schultze-Menzenbach Sabbia limosa	66,3
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Schultze-Menzenbach Sabbia limosa	108,7
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	Schultze-Menzenbach Sabbia limosa	145,8

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Riporto antropico	20	0,00-0,60	20	Menzenbach e Malcev	108,8

Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Menzenbach e Malcev	52,16
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Menzenbach e Malcev	80,48
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	Menzenbach e Malcev	105,26

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Riporto antropico	20	0.00-0,60	20	Classificazione A.G.I	MODERATAME NTE ADDENSATO
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Classificazione A.G.I	MODERATAME NTE ADDENSATO
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	Classificazione A.G.I	MODERATAME NTE ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (1) Riporto antropico	20	0.00-0,60	20	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,7
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,75
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,9
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,99

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Riporto antropico	20	0.00-0,60	20	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,99
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,87
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,94
Strato (4)	23	9,60-12,20	19	Terzaghi-Peck	1,99

Sabbie moderatamente addensate				1948-1967
--------------------------------	--	--	--	-----------

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Riporto antropico	20	0,00-0,60	20	(A.G.I.)	0,31
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	(A.G.I.)	0,35
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	(A.G.I.)	0,32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Riporto antropico	20	0,00-0,60	20	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	779,54
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	291,59
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	570,54
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	755,49

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

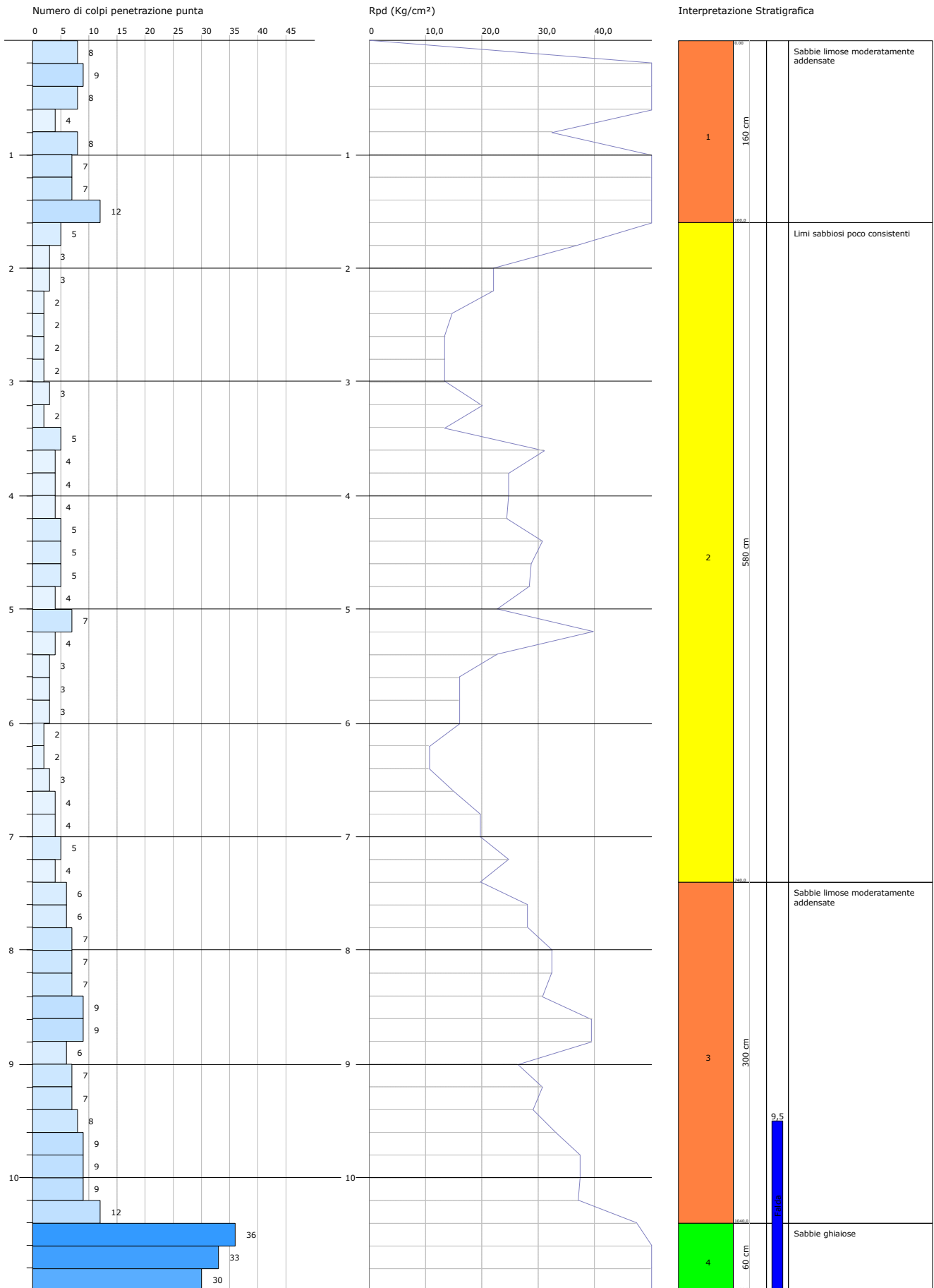
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Riporto antropico	20	0,00-0,60	20	Robertson 1983	40,00
Strato (2) Limi sabbiosi sciolti	4	0,60-7,40	4	Robertson 1983	8,00
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-9,60	12	Robertson 1983	24,00
Strato (4) Sabbie moderatamente addensate	23	9,60-12,20	19	Robertson 1983	38,00

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 2
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Uigure
 Descrizione: PUO di valorizzazione del compendio immobiliare "ex fusione tritolo"
 Località: Via delle Casermette - La Spezia

Data: 05/07/2018

Scala 1:48



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 2**TERRENI INCOERENTI I**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0,00-1,60	12	Meyerhof 1957	79,22
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Meyerhof 1957	39,23
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Meyerhof 1957	49,63
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Meyerhof 1957	77,15

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0,00-1,60	12	Shioi-Fukuni (1982)	28,42
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Shioi-Fukuni (1982)	23,66
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Shioi-Fukuni (1982)	28,42
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Shioi-Fukuni (1982)	36,91

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0,00-1,60	12	Schultze-Menzenbach Sabbia limosa	108,7
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Schultze-Menzenbach Sabbia limosa	71,6
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Schultze-Menzenbach Sabbia limosa	108,7
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Schultze-Menzenbach Sabbia limosa	214,7

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Sabbie limose	12	0,00-1,60	12	Menzenbach e Malcev	80,48

moderatamente addensate					
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Menzenbach e Malcev	55,7
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Menzenbach e Malcev	80,48
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Menzenbach e Malcev	151,28

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0.00-1,60	12	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0.00-1,60	12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,7
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,74
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,9
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,05

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0.00-1,60	12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,93

Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Terzaghi-Peck 1948-1967	2,05
-------------------------------	----	-------------	----	----------------------------	------

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0.00-1,60	12	(A.G.I.)	0,33
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	(A.G.I.)	0,34
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	(A.G.I.)	0,29

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0.00-1,60	12	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	570,54
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	334,18
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	570,54
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1038,86

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

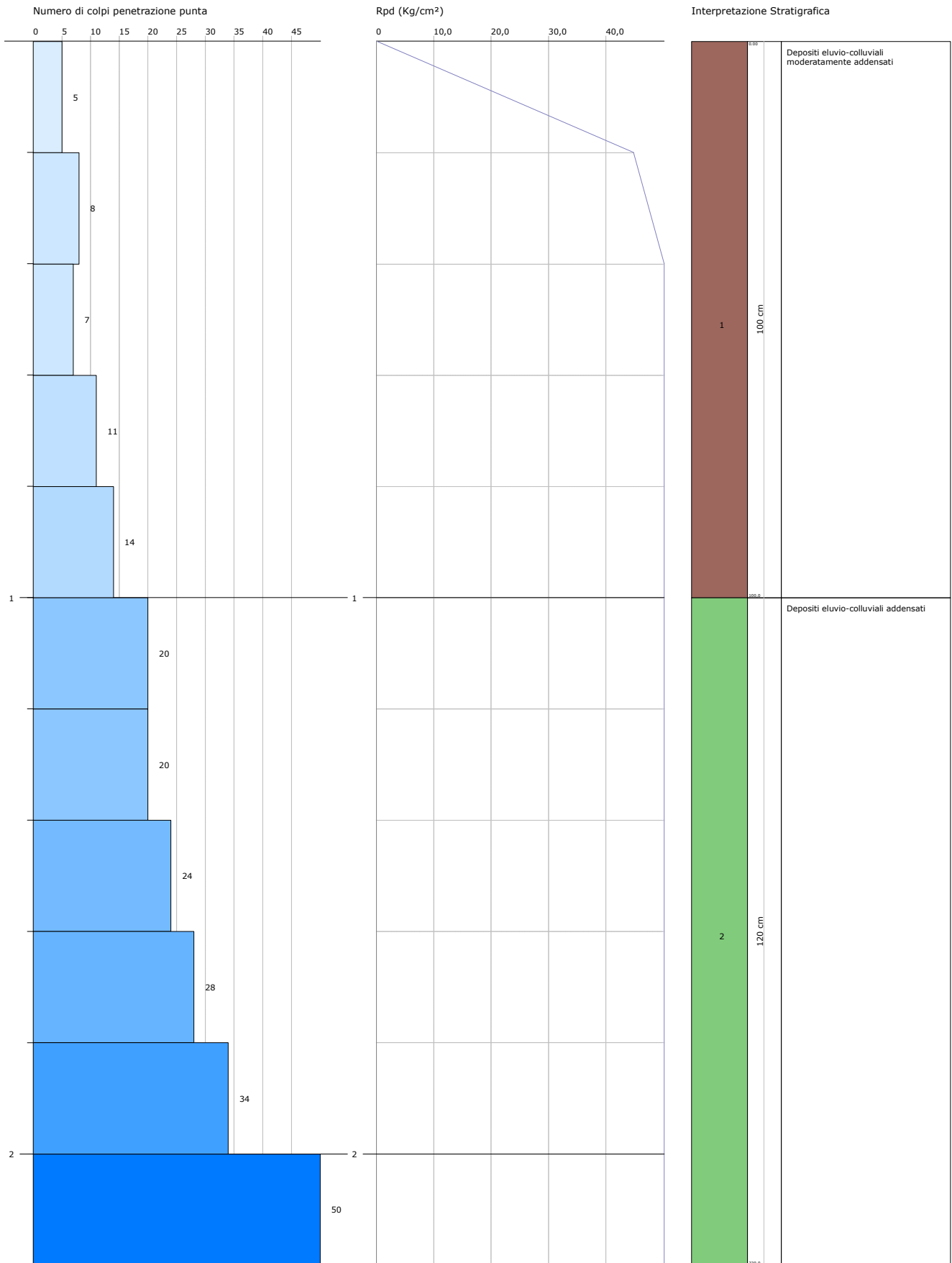
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Sabbie limose moderatamente addensate	12	0.00-1,60	12	Robertson 1983	24,00
Strato (2) Limi sabbiosi poco consistenti	5	1,60-7,40	5	Robertson 1983	10,00
Strato (3) Sabbie limose moderatamente addensate	12	7,40-10,40	12	Robertson 1983	24,00
Strato (4) Sabbie ghiaiose	49	10,40-11,00	32	Robertson 1983	64,00

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 3
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Uigure
 Descrizione: PUO di valorizzazione del compendio immobiliare "ex fusione tritolo"
 Località: Via delle Casermette - La Spezia

Data: 05/07/2018

Scala 1:10



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 3**TERRENI INCOERENTI**

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Meyerhof 1957	85.13
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Meyerhof 1957	100.00

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956)	30,71
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956)	39,29

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Schultze-Menzenbach Sabbia ghiaiosa	238.70
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Schultze-Menzenbach Sabbia ghiaiosa	592.70

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Menzenbach e Malcev	178.92
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Menzenbach e Malcev	504.12

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.78
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.01

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.94
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.12

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	(A.G.I.)	0.33
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	(A.G.I.)	0.27

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	599.14
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)	1244.40

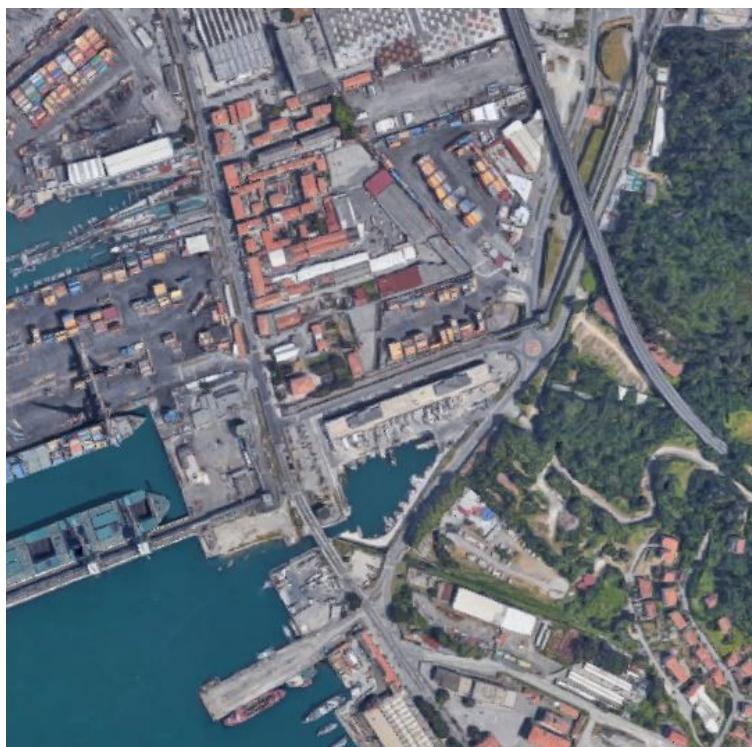
Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) Depositi colluviali moderatamente addensati	13	0.00-1.00	13	Robertson 1983	26.00
Strato (2) Depositi colluviali addensati	43	1.00-2.20	43	Robertson 1983	86.00

<u>ALLEGATO 2</u>	Data: Dicembre 2019
	Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure

SONDAGGI GEOGNOSTICI

Progetto Urbanistico Operativo PUO di valorizzazione del compendio immobiliare "ex Fusione Tritolo"



Dott. Geol. Chiara Nocchi
A.P. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639
CHIARA NOCCHI
GEOLOGO
data iscr. 15-01-2015

Dott. Geol. Valentina Gianella
A.P. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617
VALENTINA GIANELLA
GEOLOGO
data iscr. 21-07-2013

RACCOLTA RISULTATI DI PROVA

Dal n°038 al n°039/2019 emessi ad Arezzo il 5-4-2019

Sigla Commessa: **19/19**

Committente: **Consorzio Sinergie Idrauliche Levante Ligure**

Categoria: **Sondaggi geotecnici**

Cantiere: **Via delle Casermette – La Spezia**

Nelle pagine seguenti sono riportati:

- Le date di esecuzione delle prove;
- Il tipo di esperienza o di installazione eseguita;
- I risultati ottenuti.

Questa raccolta consta di n°8 fogli esclusa la copertina

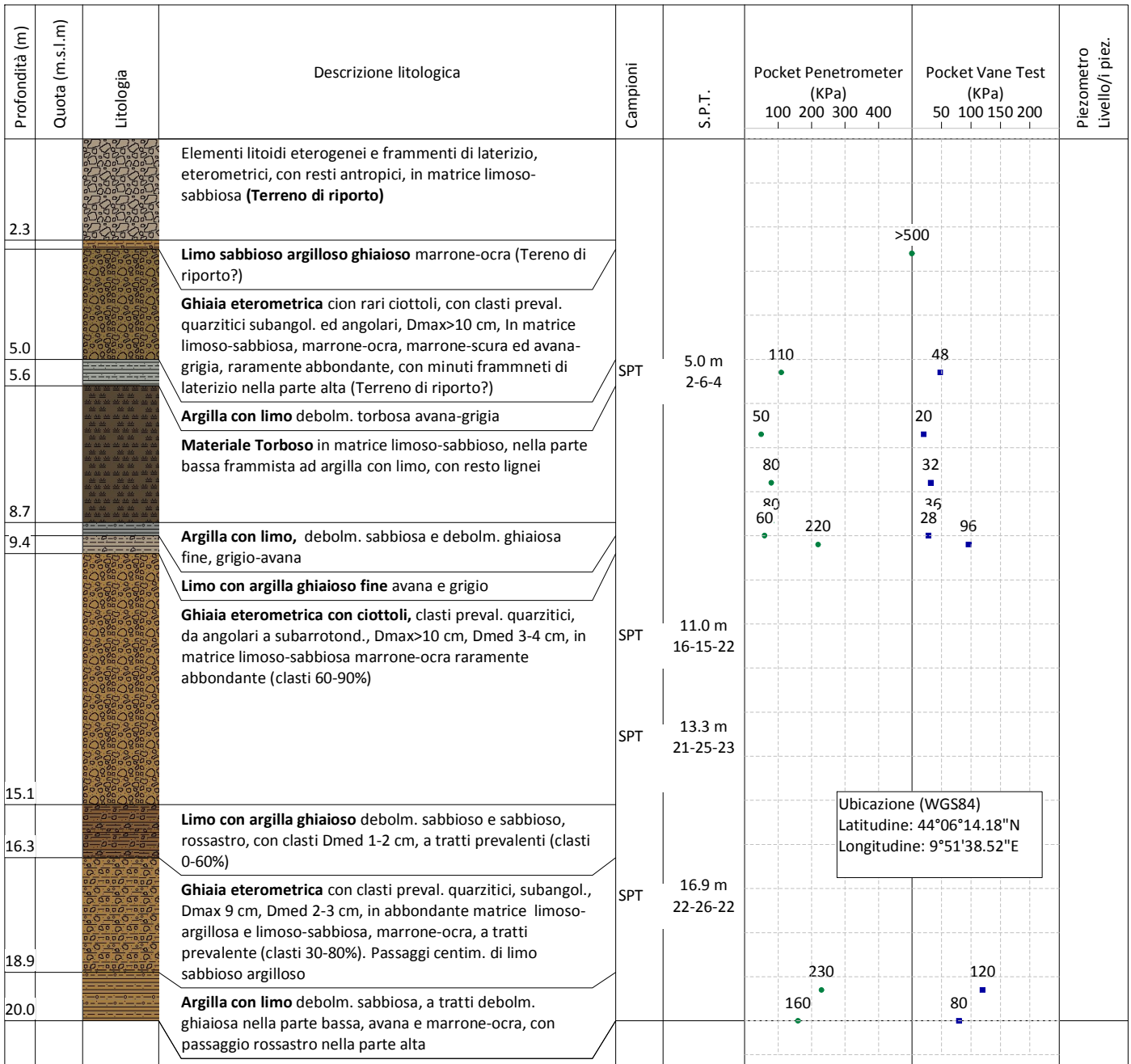
Il Responsabile di sito
Geol. D. Senesi

Il Direttore Tecnico
Ing. M. Goretti

Conc. Min. Infr. e Trasp. con Decreto n°5950 del 15/06/2011 Settore C

Cantiere: Via delle Casermette - La Spezia
 Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure
 Data inizio perforazione: 15-3-2019
 Data fine perforazione: 20-3-2019

Sondaggio: S1
 Richiedente: Geol. C. Nocchi
 Lunghezza (m): 20.0
 Scala grafica: 1:150
 Inclinazione (°):



Diametro perforazione (mm): 101

Diametro rivestimenti (mm): 127

Macchina perforatrice: Comacchio MC900

Metodo di perforazione: aste e carotieri

Responsabile di sito: Geol. D. Senesi

Direttore laboratorio: Ing. M. Goretti

Note:

n° pagine : 1

Pagina 1

Conc. Min. Infr. e Trasp. con Decreto n°5950 del 15/06/2011 Settore C

Cantiere: Via delle Casermette - La Spezia
 Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure
 Data inizio perforazione: 20-3-2019
 Data fine perforazione: 21-3-2019

Sondaggio: S2
 Richiedente: Geol. C. Nocchi
 Lunghezza (m): 20.0
 Scala grafica: 1:150
 Inclinazione (°):

Profondità (m)	Quota (m.s.l.m)	Litologia	Descrizione litologica	Campioni	S.P.T.	Pocket Penetrometer (KPa)				Pocket Vane Test (KPa)				Piezometro Livello/i piez.
						100	200	300	400	50	100	150	200	
2.5			Elementi litoidi eterogenei e frammenti di laterizio, eterometrici, in matrice limoso-sabbiosa, con resti vegetali (Terreno di riporto) Vuoto tra 0.8-1.3 m											
5.0			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti preval. quarziticci subangol. ed angolari, Dmax>10 cm, In matrice limoso-sabbiosa, grigio chiara ed avana-grigia, raramente abbondante, con rari e minuti frammenti di laterizio (Terreno di riporto?)	SPT	3.0 m 2-3-3									
7.8			Materiale Torboso in matrice limoso-sabbioso, frammisto a limo sabbioso argilloso talvolta ghiaioso, nerastro	SPT	5.8 m 3-4-8	80				24				
8.2			Argilla con limo organica con resti torbosi, grigia			80								
9.5			Limo sabbioso argilloso debolm. ghiaioso grigio			60				28				
11.8			Ghiaia eterometrica con clasti preval. quarziticci, Dmax 5 cm, Dmed 2 cm, in matrice limoso-sabbiosagrigio chiara ed avana (clasti 70%) Limo sabbioso ghiaioso debolm. argilloso avana, con clasti Dmed 1 cm (clasti 0-20%)	SPT	9.1 m 0-2-8		260				140			
14.3			Limo con argilla ed argilla con limo, a tratti ghiaiosi e debolm. ghiaiosi fini, debolm. sabbiosi e sabbiosi, marrone-ocra e rossastri, clasti Dmed 0.5-1 cm (clasti 0-40%)	SPT	12.0 m 10-18-29		300				148			
20.0			Ghiaia eterometrica con ciottoli , clasti preval. quarziticci, da angolari a subarrotond., Dmax 6 cm, Dmed 2-3 cm, spesso alterati talvolta degradati, in abbondante matrice limoso-sabbiosa marrone-ocra talvolta prevalente rossastra ed avana (clasti 60-90%) Limo sabbioso argilloso ghiaioso e con ghiaia , marrone-ocra, con clasti Dmed 2-3 cm (clasti 0-30%)	SPT	15.5 m 8-13-16		280				132			
				SPT	20.0 m 4-13-27									

Ubicazione (WGS84)
 Latitudine: 44°06'15.82"N
 Longitudine: 9°51'38.11"E

Diametro perforazione (mm): 101 Diametro rivestimenti (mm): 127 Macchina perforatrice: Comacchio MC900

Metodo di perforazione: aste e carotieri

Responsabile di sito: Geol. D. Senesi

Direttore laboratorio: Ing. M. Goretti

Note:

n° pagine : 1

Pagina 1

Ubicazione sondaggi



Documentazione fotografica





S1 c1 p.c. – 5.0 m



S1 c2 5.0 m – 10.0 m



S1 c3 10.0 m – 15.0 m



S1 c4 15.0 m – 20.0 m



S2 c1 p.c. – 5.0 m



S2 c2 5.0 m – 10.0 m



S2 c3 10.0 m – 15.0 m

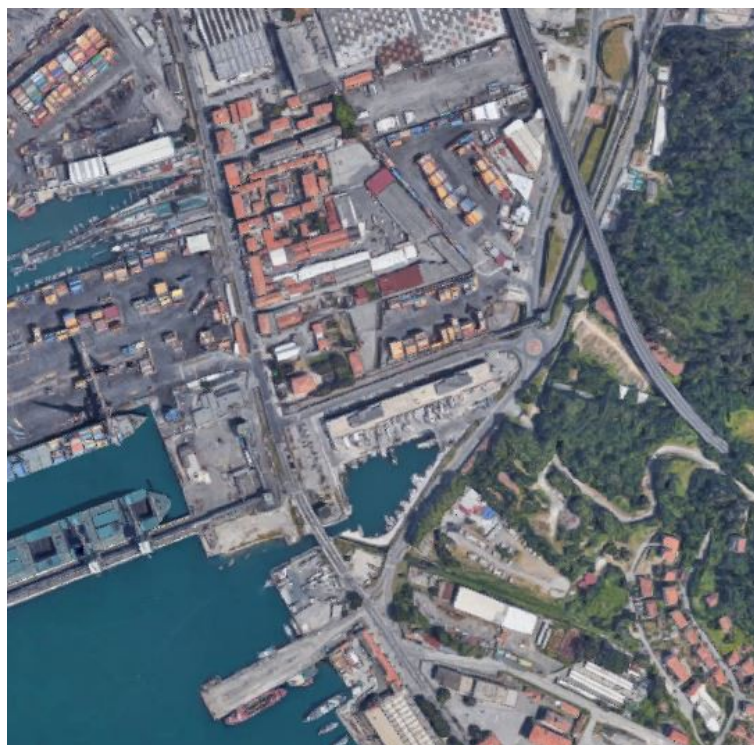


S2 c4 15.0 m – 20.0 m

<u>ALLEGATO 3</u>	Data: Dicembre 2019
	Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure

**Indagine geofisica
M.A.S.W.**

Progetto Urbanistico Operativo PUO di valorizzazione del compendio immobiliare "ex Fusione Tritolo"



DOTT. GEOL. CHIARA NOGCHI
A.P. no. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]
CHIARA NOGCHI
GEOLOGO
data iscr. 15-01-2015

DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA
A.P. no. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]
VALENTINA GIANELLA
GEOLOGO
data iscr. 21-07-2011

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA

Indice generale

1. Dati generali.....	3
2. STESA SISMICA – M1.....	3
2.1 Tracce.....	3
2.2 Analisi spettrale.....	3
2.3 Inversione.....	3
2.4 Sismostratigrafia.....	4
2.5 Risultati.....	5
3. STESA SISMICA – M2.....	5
3.1 Tracce.....	5
3.2 Analisi spettrale.....	6
3.3 Inversione.....	6
3.4 Sismostratigrafia.....	8
3.5 Risultati.....	8

1. Dati generali

Committente	Conorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure
Cantiere	Ex stabilimento Fusione Tritolo
Località	Via delle Casermette
Zona	La Spezia

2. STESA SISMICA – M1

2.1 Tracce

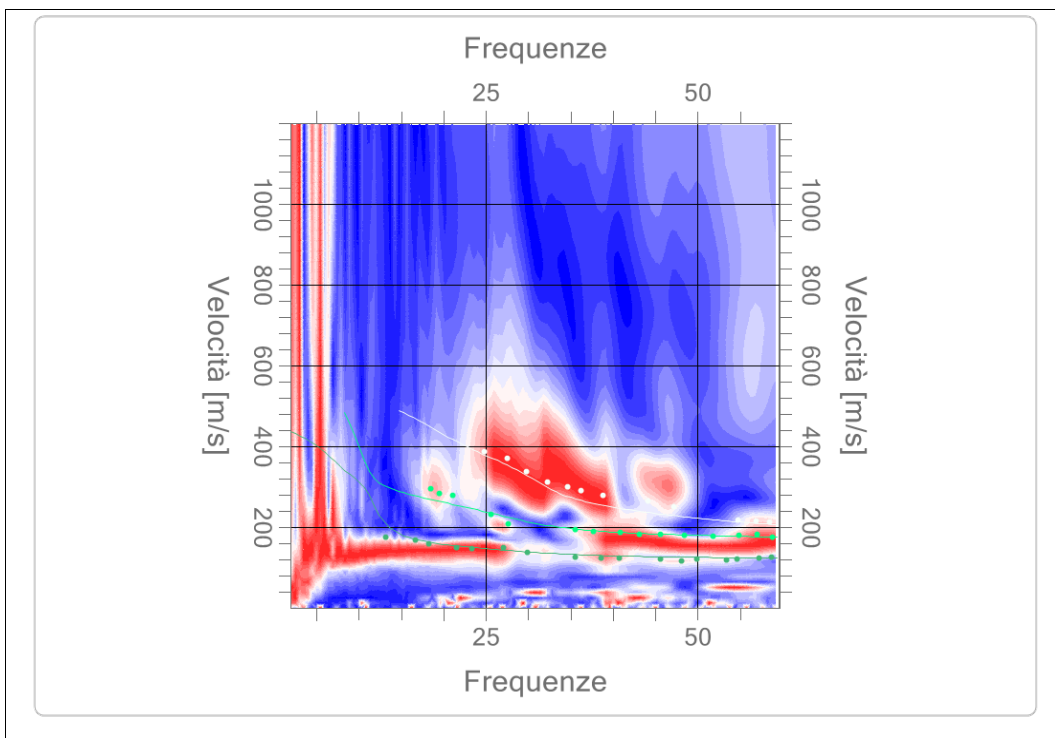
N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	1,5
Periodo di campionamento [msec]	1

2.2 Analisi spettrale

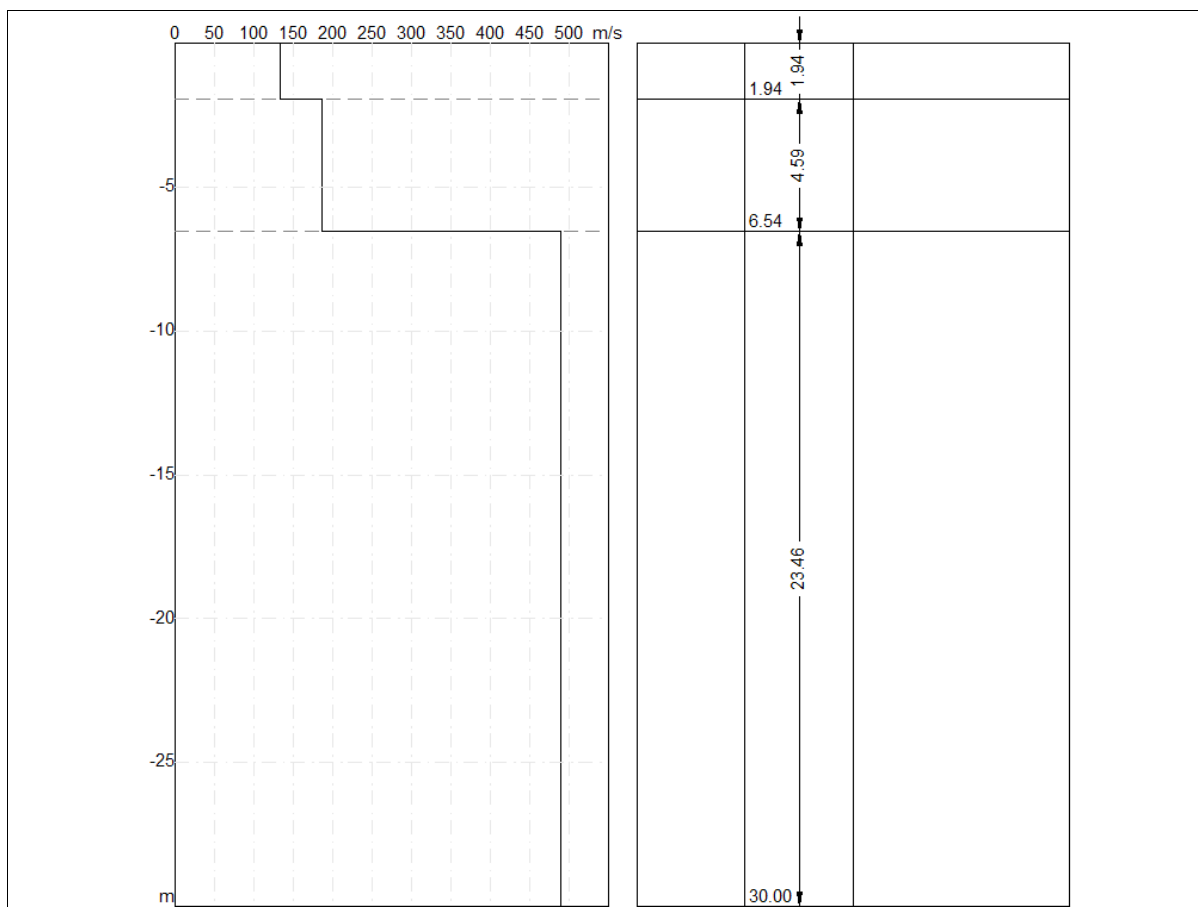
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	2
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	1200
Intervallo velocità [m/sec]	1

2.3 Inversione

Layer	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1,94	1,94	1.820,0	0,3	No	257,5	132,5
2	6,54	4,59	1.900,0	0,3	No	347,9	186,0
3	oo	oo	1.940,0	0,3	Si	901,0	490,0



2.4 Sismostratigrafia



2.5 Risultati

Vs,eq [m/sec] (H=30,00 m)	343,84
Categoria del suolo	C

C – depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 metri, 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.

3. STESA SISMICA – M2

3.1 Tracce

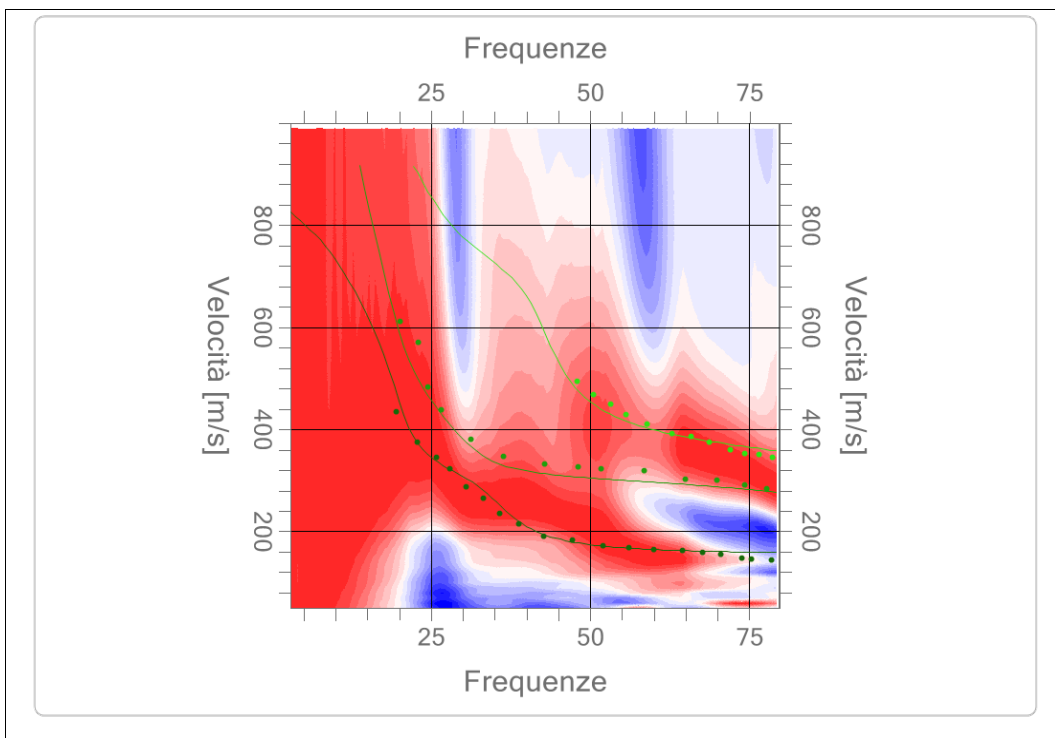
N. tracce	12
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	1
Periodo di campionamento [msec]	1

3.2 Analisi spettrale

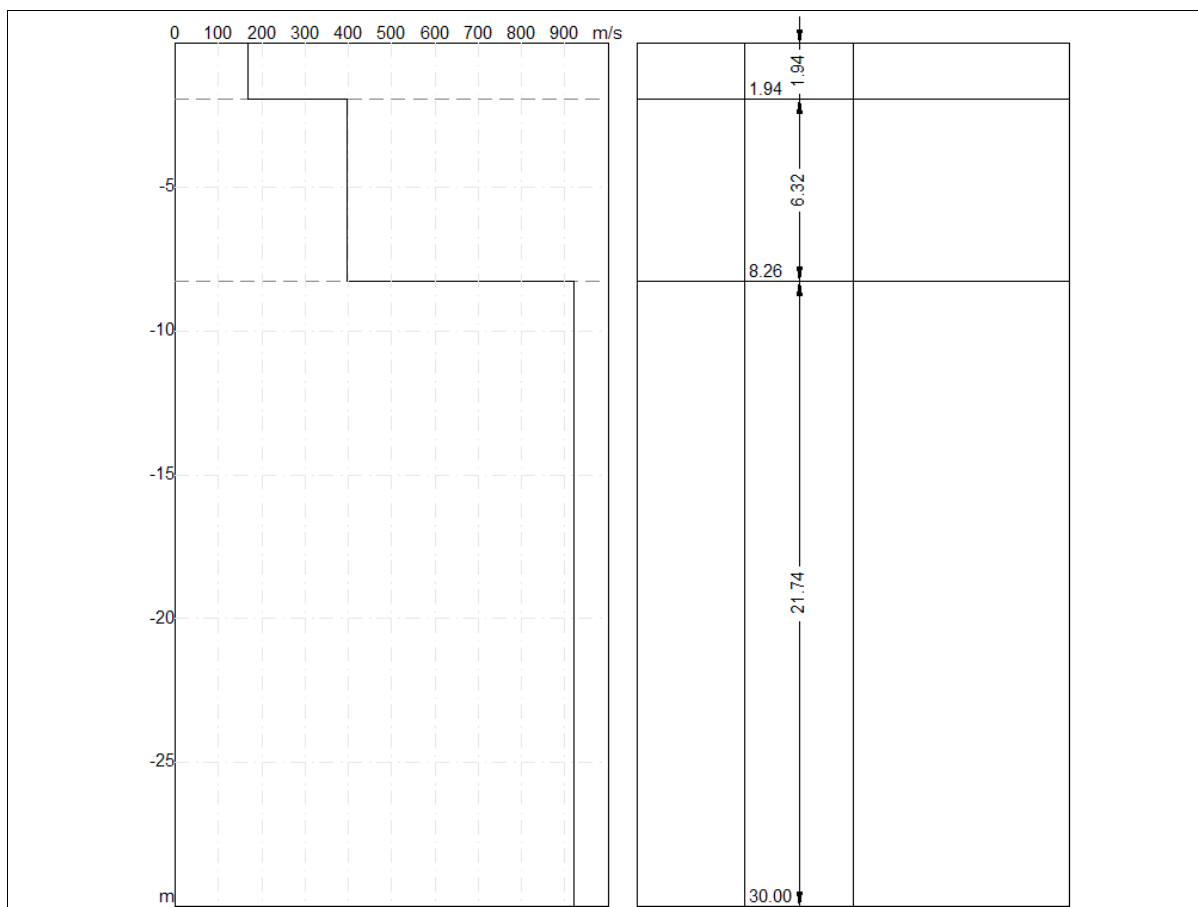
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	80
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	50
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

3.3 Inversione

Layer	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1,94	1,94	1.910,0	0,4	No	349,0	167,6
2	8,26	6,32	1.920,0	0,3	No	804,5	396,1
3	oo	oo	2,110,0	0,3	No	1692,9	920,7



3.4 Sismostratigrafia



3.5 Risultati

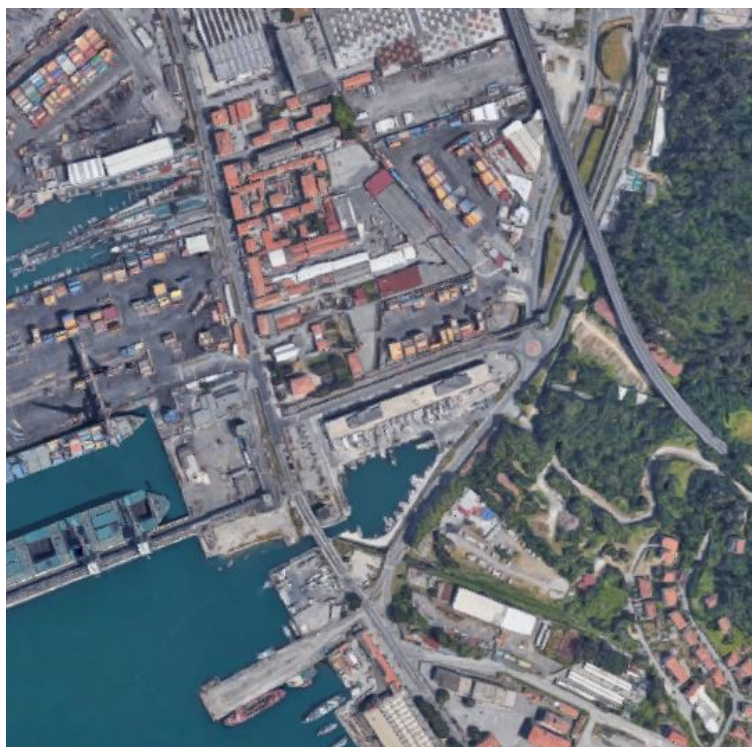
Vs,eq [m/sec] (H=8,26 m)	299,92
Categoria del suolo	E

E – terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 metri.

<u>ALLEGATO 4</u>	Data: Dicembre 2019
	Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure

Indagine sismica - HVSR

Progetto Urbanistico Operativo PUO di valorizzazione del compendio immobiliare "ex Fusione Tritolo"



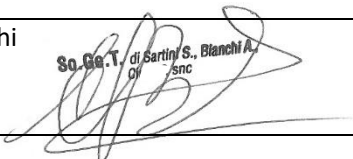

Dott. Geol. Chiara Nocchi
Albo dei Geologi della Liguria 639

Dott. Geol. Valentina Gianella
Albo dei Geologi della Liguria 617

Rapporto n°20190213

Committente	Consorzio Sinergie Nautiche		
Tipo di indagine	Prova HVSR		
Cantiere	Località La Spezia - Comune di La Spezia		
Data esecuzione misure	6 febbraio 2019		
Data emissione rapporto	13 febbraio 2019		



Redazione	Verifica
Dott. Alessandro Bianchi  So.Ge.T. di Sartini S. e Bianchi A. snc	Dott. Simone Sartini  So.Ge.T. di Sartini S. e Bianchi A. snc

Sommario

1. Scopo delle indagini sismiche	3
1. Cenni teorici del metodo HVSR	4
1.1. Proposta di interpretazione dei risultati	8
2. Elenco tavole	10

1. Scopo delle indagini sismiche

Dietro incarico della Committenza è stata eseguita un'indagine geofisica con lo scopo di caratterizzare i terreni presenti nel lotto sito nel Comune di La Spezia.

A tal scopo sono state eseguite N°4 prove HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio). L'ubicazione delle suddette indagini è consultabile nella Figura 1.1. Oggetto della presente relazione sono i risultati a cui si è pervenuti.

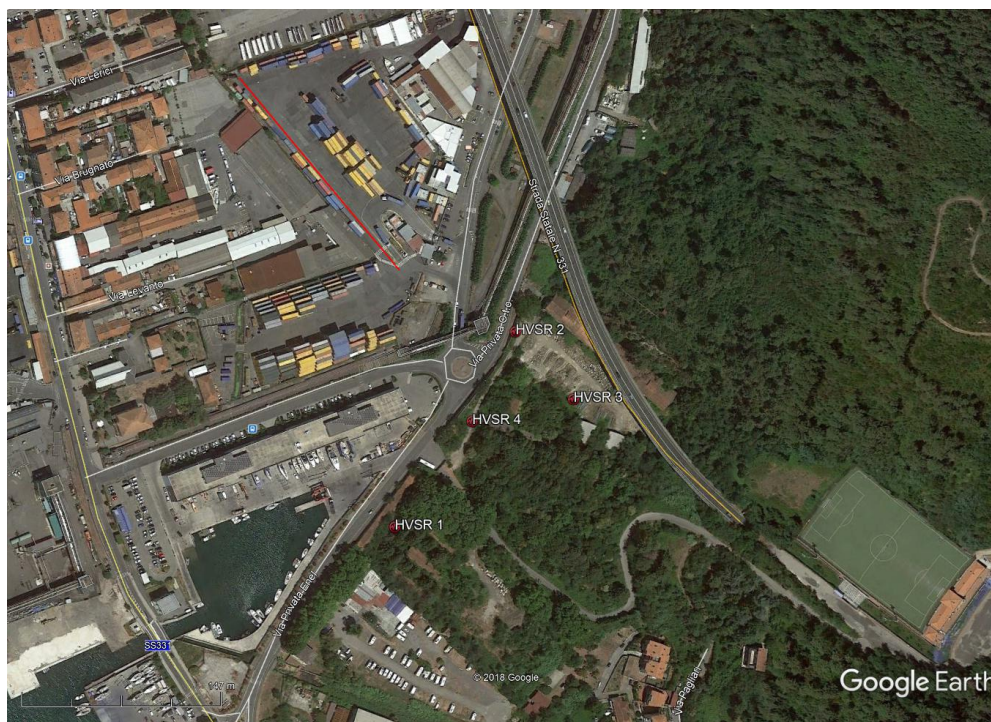


FIGURA 1-1 UBICAZIONE DELLE PROVE HVSR

1. Cenni teorici del metodo HVSR

Le misure in oggetto mirano alla registrazione del cosiddetto “rumore sismico” (o “microtremore”). Il rumore sismico è presente ovunque sulla superficie della terra ed è generato dai fenomeni ambientali naturali (moti ondosi oceanici, vento) e dall’attività antropica.

Negli anni sono state sviluppate diverse metodologie per lo studio dei microtremori, ma, fra tutte, quella che ha avuto il maggior riconoscimento dalla comunità scientifica e pertanto la più usata ed affidabile, è quella che impiega i rapporti spettrali H/V e che consiste nella misura dei rapporti degli spettri nel piano orizzontale e della componente verticale. Il metodo è stato introdotto nei primi anni '70 da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979) e poi ripreso e pubblicato nel 1989 da Nakamura.

Il metodo H/V o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) mira all’individuazione di possibili fenomeni di risonanza sismica e delle relative frequenze e si basa sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e della componente verticale del rumore sismico ambientale. In presenza di forti contrasti di impedenza sismica nel sottosuolo (ad esempio in corrispondenze del passaggio fra litologie caratterizzate da velocità delle onde sismiche molto differenti) la funzione H/V, che rappresenta i rapporti spettrali medi in funzione della frequenza, presenta dei massimi che corrispondono con le frequenze di risonanza. Esiste poi una proporzionalità (non lineare) fra l’ampiezza dei massimi della funzione H/V e l’entità del contrasto di impedenza sismica. La frequenza di risonanza fornisce indicazioni sul rapporto fra la velocità delle onde S dello strato al tetto del bedrock sismico e la profondità di quest’ultimo:

$$f_0 = V_s / 4H$$

dove:

f_0 = frequenza di risonanza

V_s = velocità delle onde S della copertura

H = spessore della copertura ovvero profondità bedrock

Per l'esecuzione di misure quanto più significative possibili e di buona qualità è necessario curare in campagna due aspetti fondamentali: il posizionamento e l'accoppiamento dello strumento di acquisizione sul terreno e la scelta dei parametri di acquisizione. Le misure in oggetto sono state eseguite in condizioni meteo stabili e cielo sereno.

Per quanto riguarda la scelta dei parametri di acquisizione le misure sono state eseguite con una frequenza di campionamento di 128 Hz e su finestre temporali di 20 minuti (1200 sec). La scelta della durata della registrazione si basa sulla seguente considerazione. Supponendo di voler osservare la risonanza di una coltre sedimentaria su un bedrock piuttosto profondo con una frequenza di risonanza dell'ordine di 0,5 Hz, il segnale si ripeterà con un periodo di 2 sec che rappresenta il tempo minimo di ascolto utile per l'osservazione della frequenza attesa. A questo punto però è necessario (per garantire una adeguata risoluzione spettrale) che il segnale venga analizzato su finestre temporali almeno 10 volte maggiori del periodo di ripetizione del segnale. In questo esempio almeno 20 sec. Infine, il segnale deve essere mediato a livello statistico campionando almeno 30-40 finestre da 20 secondi (800 sec).

La qualità delle misurazioni è valutata sulla base della direzionalità e della stazionarietà della funzione H/V e verificando che i picchi H/V ritenuti significati coincidano con minimi locali della componente spettrale verticale. Questa è la circostanza caratteristica di discontinuità stratigrafiche. Molte volte si osservano dei picchi alti, stretti e ben definiti sulle tre componenti attribuibili a vibrazioni concentrate attorno ad una specifica frequenza dovuta rumore incoerente dovuto a transienti.

La strumentazione impiegata è un tromografo TROMINO™ prodotto dalla Micromed (serial no. TRZ-0195/01-12) ed i dati sono stati analizzati con il software dedicato GRILLA™. L'analisi dei dati è stata eseguita su finestre temporali di 20 sec e con uno *smoothing* triangolare al 10%. Per ogni misura singola, nelle tavole allegate viene riportato:

- grafico del rapporto spettrale orizzontale su verticale
- serie temporale H/V
- direzionalità H/V
- grafico degli spettri delle singole componenti

Infine, viene valutata la qualità della misura secondo le linee guida SESAME 2005 riportando i Criteri per una curva H/V affidabile ed i Criteri per un picco H/V chiaro.

Inoltre, viene riportata la Classificazione della Curva H/V (Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, n. 2-2011).

La Classificazione della Curva H/V avviene prendendo in considerazione tre classi di qualità:

▪ **Classe A:** H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola

1. La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% circa della durata della misura (stazionarietà);
2. Le variazioni azimuthali di ampiezza non superano il 30% del massimo (isotropia);
3. non ci sono indizi di rumore elettromagnetico nella banda di frequenza di interesse (assenza di disturbi);
4. i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale (plausibilità fisica);
5. i criteri di SESAME per una curva H/V attendibile (primi 3 criteri) sono verificati (robustezza statistica);
6. la misura è durata almeno 15/20 minuti (durata).

Eccezione: misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1Km) possono non mostrare alcun picco statisticamente significativo della curva H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico, a causa dell'assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati. In questi casi, in cui la curva H/V apparirà piatta e con ampiezza circa pari a 1, il criterio 5 risulterà non verificato anche se la misura è di fatto attendibile. In questo solo caso la misura può ricadere nella classe A ma si consiglia di ripetere la misura per confermare l'effettiva assenza di massimi significativi.

▪ **Classe B:** curva H/V sospetta (da "interpretare"): va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure ottenute nelle vicinanze.

1. almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta, a condizione che non si rientri nell'ECCEZIONE citata per la classe A

- **Classe C:** curva H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata.

1. misura di tipo B nella quale la curva H/V mostra una ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva), indice di un movimento dello strumento durante la misura;
2. misura di tipo B nella quale si evidenzia la presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di potenziale interesse.

Per le sole Classi A e B si possono definire due sottoclassi delle classi precedenti:

- Tipo 1. Presenta almeno un picco "chiaro" secondo i criteri di SESAME: possibile risonanza;
- Tipo 2: Non presenta picchi "chiaro" nell'intervallo di frequenze di interesse: assenza di risonanza.

È comunque necessario valutare attentamente ciascuna misura poiché in alcuni casi possono essere presenti ulteriori picchi con ampiezza inferiore ad A0 in corrispondenza di altri valori di frequenza. Questi picchi, se correlabili a minimi locali della componente spettrale verticale sono indice di discontinuità stratigrafiche che possono rivestire una certa importanza ai fini degli effetti amplificativi locali.

1.1. Proposta di interpretazione dei risultati

In Tab.1 (tratta da Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive indagini a stazione singola. Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, n. 2-2011) è riportata una correlazione fra il valore della frequenza di risonanza misurata e lo spessore delle coperture.

Tab. 1 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza (f₀) determinate dalle misure H/V.

F ₀ (Hz)	h (m)
<1	>100
1 -2	50-100
2 -3	30-50
3 -5	20-30
5 -8	10-20
8 -20	5-10
>20	<5

Sulla base di questa tabella è possibile ottenere una indicazione di larga massima sulla profondità dello strato risonante.

È inoltre possibile ottenere una stima più accurata utilizzando la formula sopra riportata (**f₀ = Vs/(4H)**) che correla la frequenza di risonanza con la velocità Vs e lo spessore delle coperture.

I risultati dell'indagine HVSR sono contenuti nell'allegato denominato "Risultati Indagine HVSR".

La tabella seguente (Tabella 2) riporta i valori delle frequenza di picco del rapporto H/V per le misure e la relativa ampiezza.

Misura	f ₀	A ₀
HVSR 1	1.44 Hz	>8
HVSR 2	3.69 Hz	5
HVSR 3	0.81 HZ	3
HVSR 4	-	-

Tabella 2

Sulla base della tabella Tab.1 si può stimare uno spessore delle coperture (h) compreso tra 20 m e 50 m per le misure HVSR 1 e 2 mentre la HVSR 3 mette in evidenza un picco, a minor ampiezza, a frequenze diverse ed attribuibile a un cambio di impedenza interno al bedrock. In pratica si può supporre che la copertura al tetto del bedrock diminuisca il suo spessore da sud verso nord. La misura HVSR 3 non mette in evidenza picchi chiari nella curva H/V anche se ne osserviamo uno a 0.81 Hz. Tale assenza di picchi farebbe supporre che questa misura sia stata eseguita in una zona in cui il bedrock risulta sub affiorante. La misura HVSR 4 non viene presa in considerazione in quanto ha risentito della presenza del suolo rigido presente in quella zona invertendo la curva H/V nella componente laterale.

Si ritiene di classificare la misura HVSR 1 e 2 in **classe A1**, la misura HVSR3 ricade in **classe B2** mentre la misura HVSR 4 in **classe C**.

2. Elenco Allegati

- **Allegato 1:** Prova HVSR

HVSR 1

Coordinate Wgs84:

44°6'16.269"N

9°51'35.669"E

Instrument: TRZ-0195/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

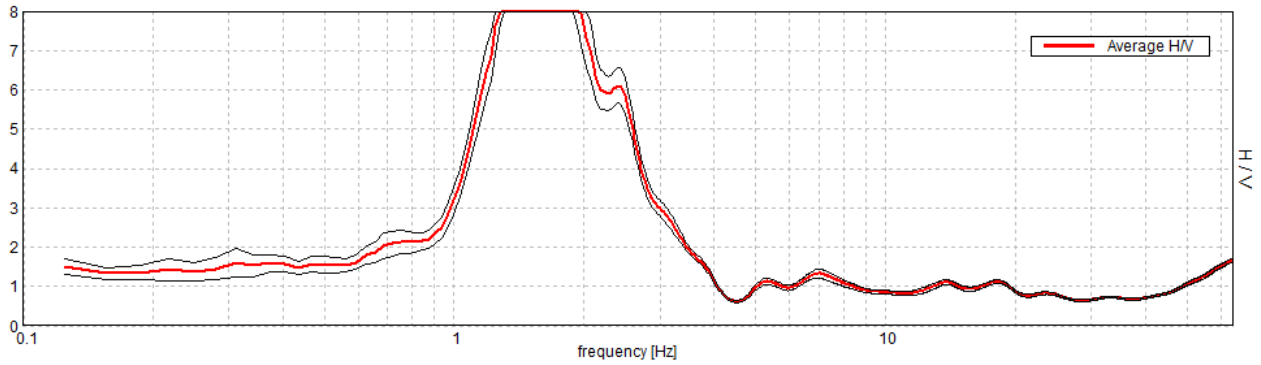
Smoothing: 10%



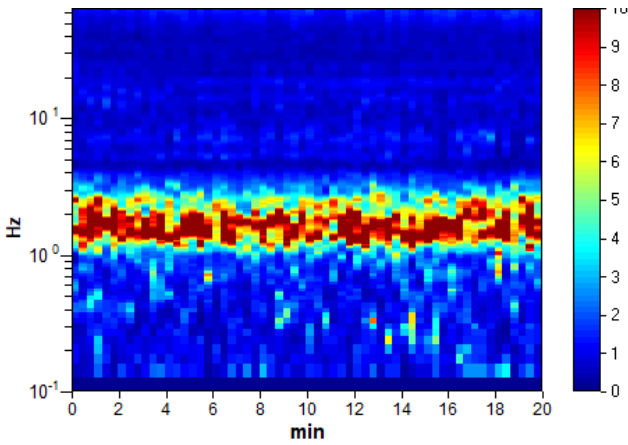
Figura 1: Tromino orientato a nord

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

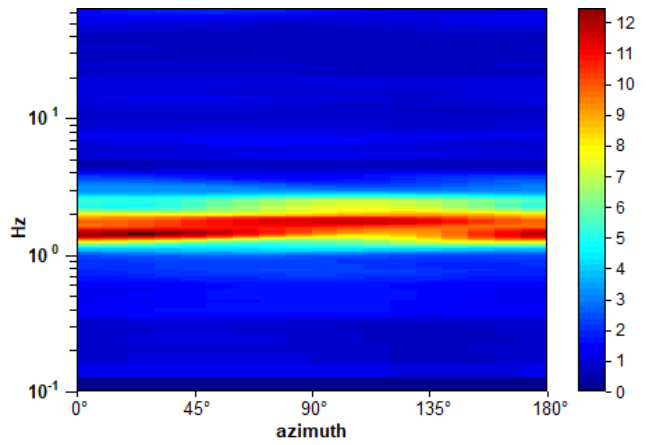
Max. H/V at 1.44 ± 0.23 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



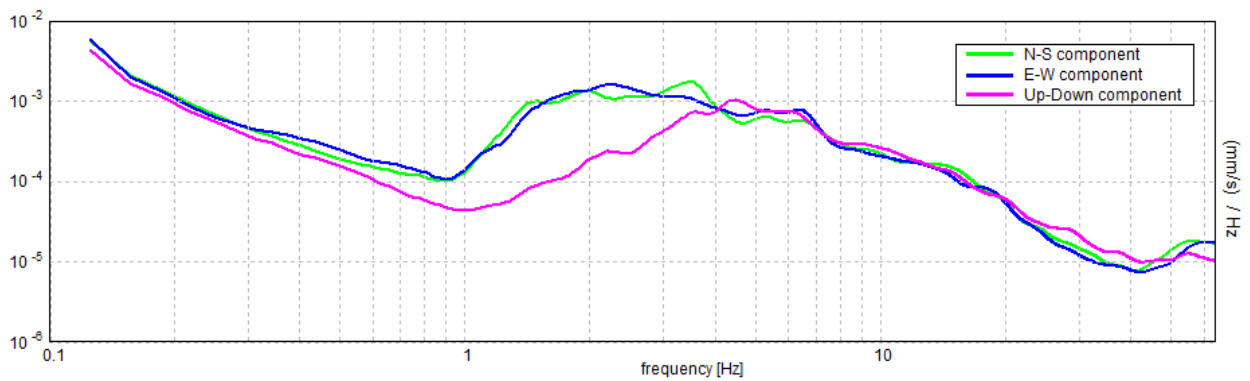
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



Max. H/V at 1.44 ± 0.23 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.44 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1725.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 70 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.125 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$10.83 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15849 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.22783 < 0.14375$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.9093 < 1.78$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

HVSR 2

Coordinate Wgs84:

44°6'20.829"N

9°51'39.589"E

Instrument: TRZ-0195/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

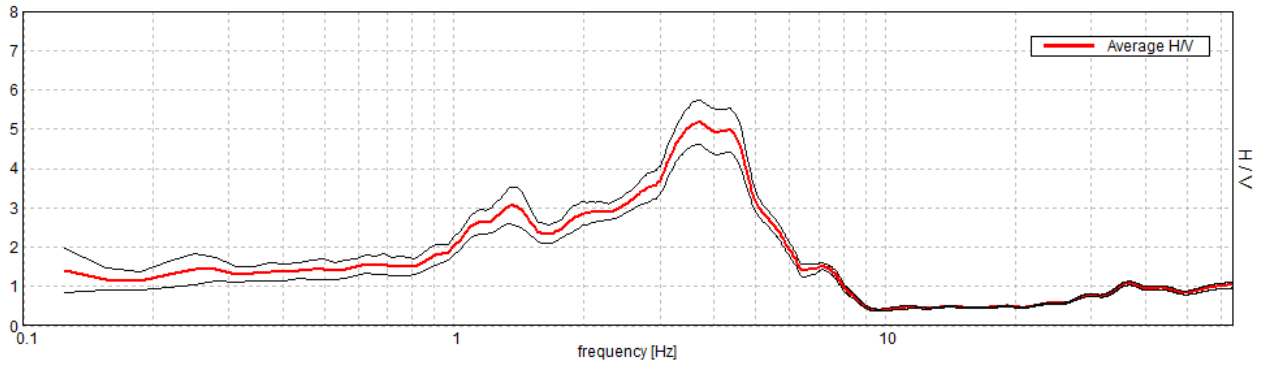
Smoothing: 10%



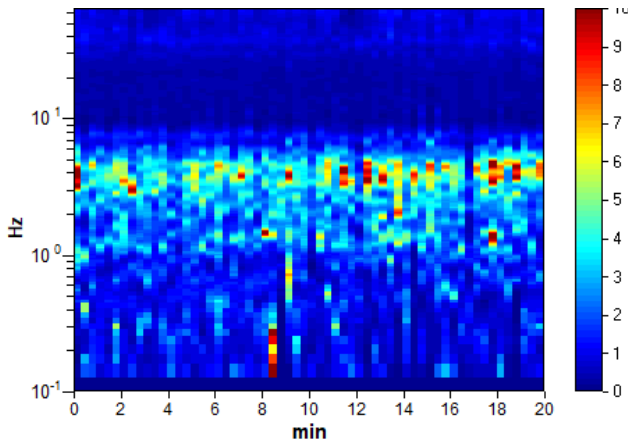
Figura 1: Tromino orientato a nord

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

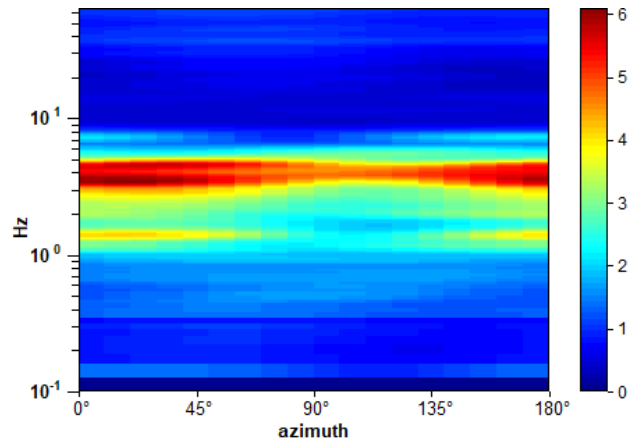
Max. H/V at 3.69 ± 0.25 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



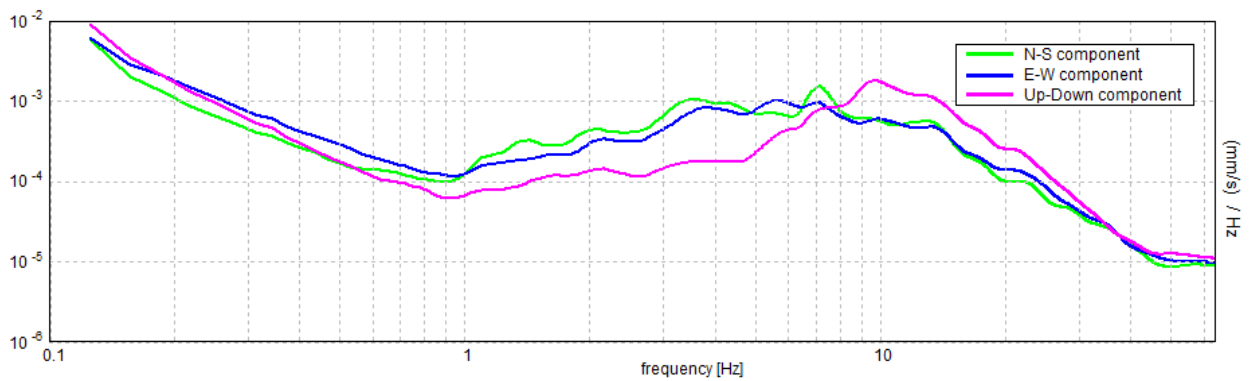
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



Max. H/V at 3.69 ± 0.25 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.69 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4425.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 178 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.813 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$5.18 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06776 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.24987 < 0.18438$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.572 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

HVSR 3

Coordinate Wgs84:

44°6'19.250"N

9°51'41.470"E

Instrument: TRZ-0195/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

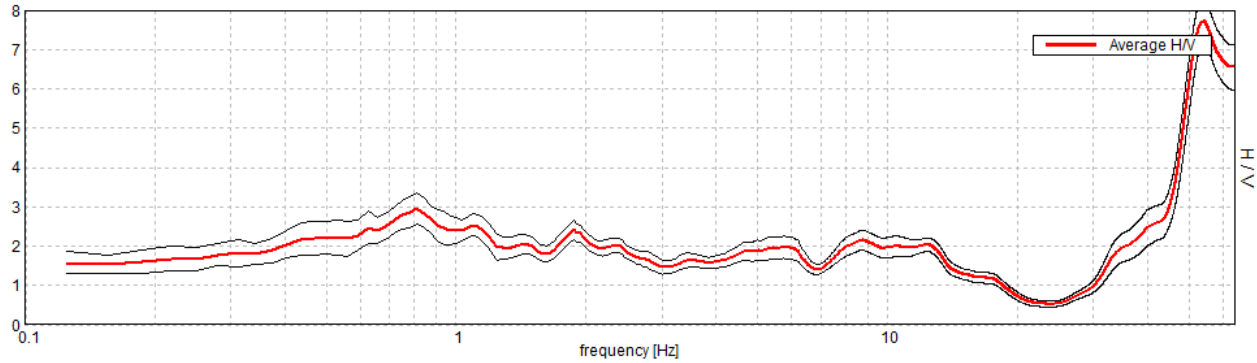
Smoothing: 10%



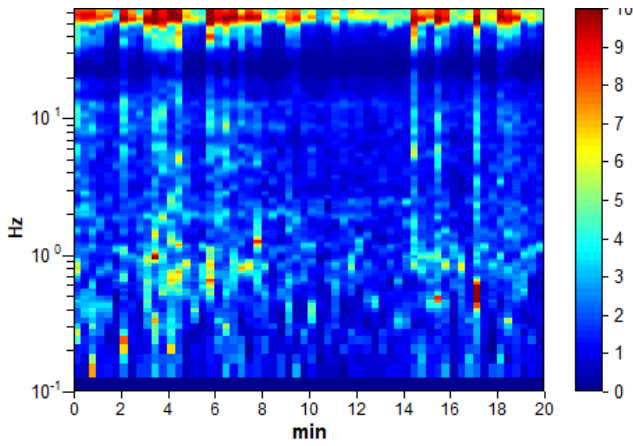
Figura 1: Tromino orientato a nord

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

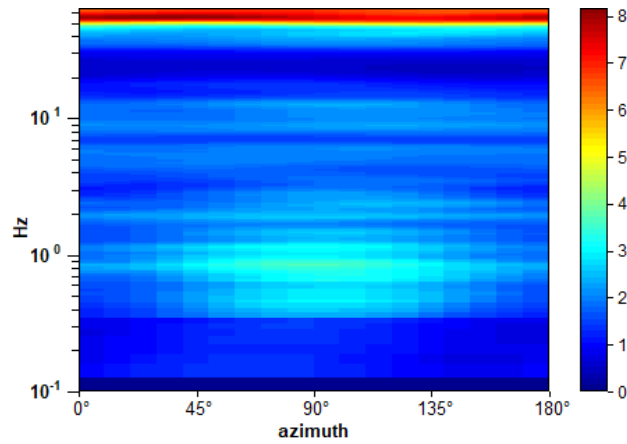
Max. H/V at 0.81 ± 1.79 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



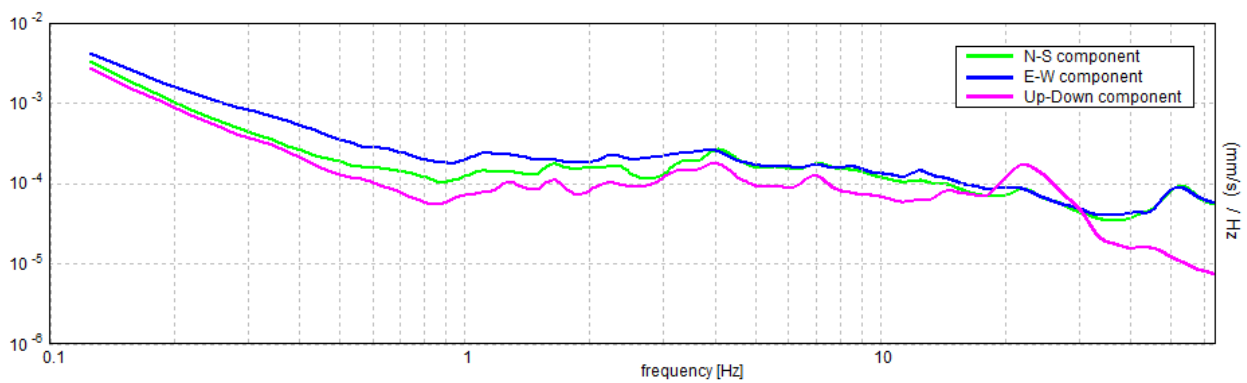
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



Max. H/V at 0.81 ± 1.79 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.81 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$975.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 40 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.94 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 2.20737 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.79348 < 0.12188$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3982 < 2.0$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

HVSR 4

Coordinate Wgs84:

44°6'18.730"N

9°51'38.180"E

Instrument: TRZ-0195/01-12

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

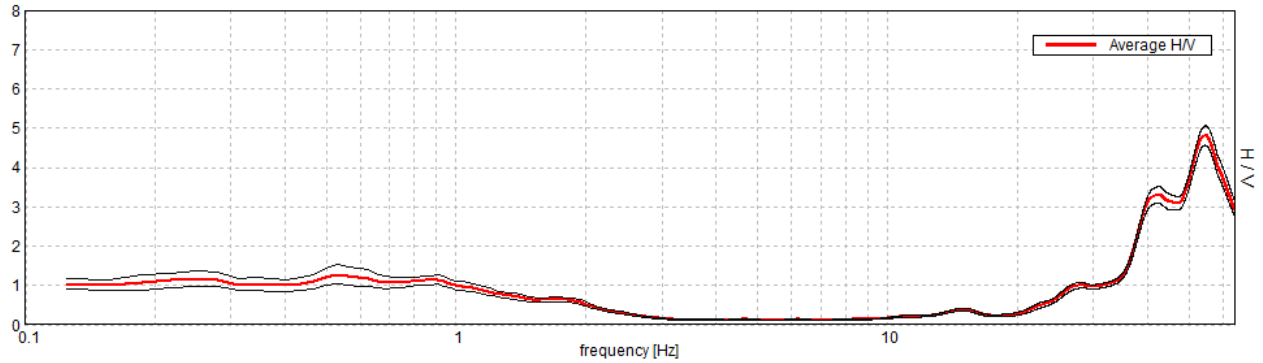
Smoothing: 10%



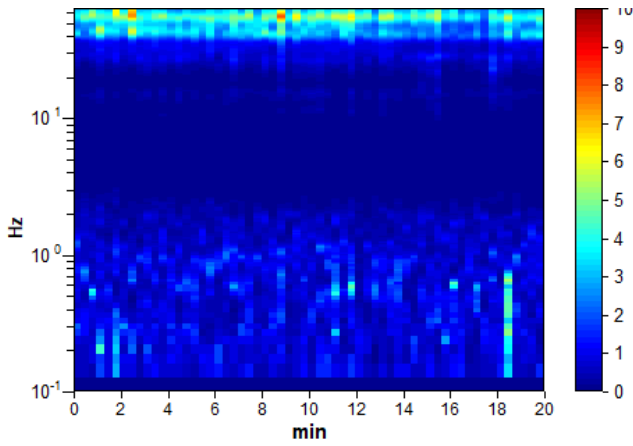
Figura 1: Tromino orientato a nord

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

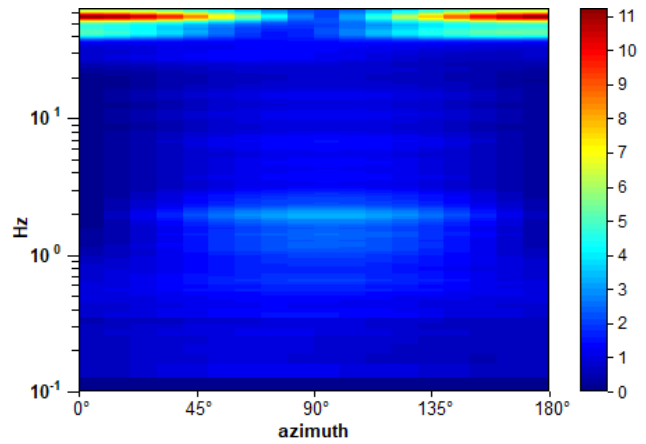
Max. H/V at 54.38 ± 0.55 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



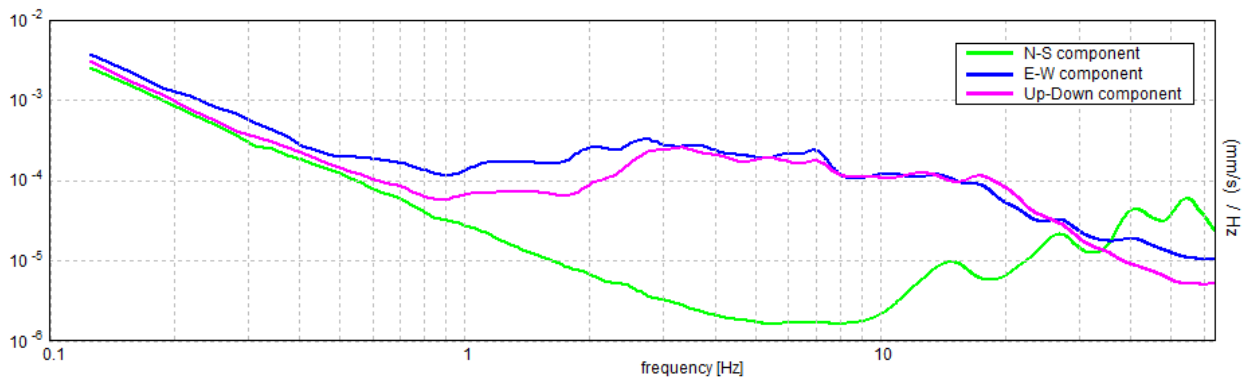
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



Max. H/V at 54.38 ± 0.55 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$54.38 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$65250.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1179 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	38.219 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			
$A_0 > 2$	$4.81 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01008 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.54809 < 2.71875$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2514 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

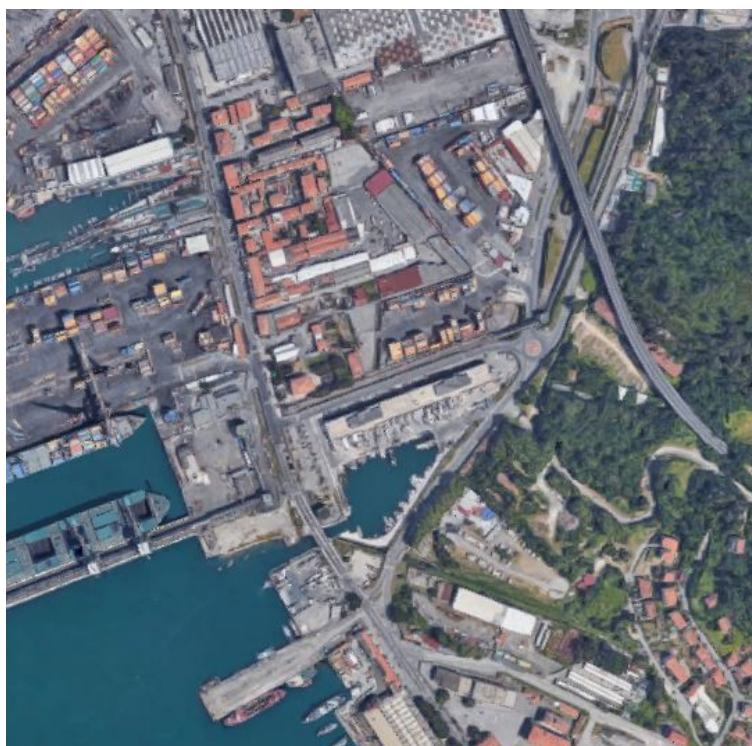
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

<u>ALLEGATO 5</u>	Data: dicembre 2019
	Committente: Consorzio Sinergie Nautiche Levante Ligure

Verifica della Suscettibilità alla Liquefazione

Progetto Urbanistico Operativo PUO di valorizzazione del compendio immobiliare "ex Fusione Tritolo"



Dott. Geol. Chiara Nocchi
A. P. n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639
CHIARA NOCCHI
GEOLOGO
data iscr. 15-01-2015

Dott. Geol. Valentina Gianella
A. P. n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617
VALENTINA GIANELLA
GEOLOGO
data iscr. 21-07-2011

**VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA
LIQUEFAZIONE DEI TERRENI INDOTTA DA AZIONE SISMICA**

Metodo semplificato di Seed e Idriss (1982)

Relazione per il calcolo di Fs:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} = \frac{(N_{spt} (1,7/(s'o+0,7))+N1)/90}{0,65 (A/g) (s_o/s'o) r_d (1/MSF)}$$

Accelerazione sismica orizz. Max (A/g)

0,15

Magnitudo del sisma

6,5

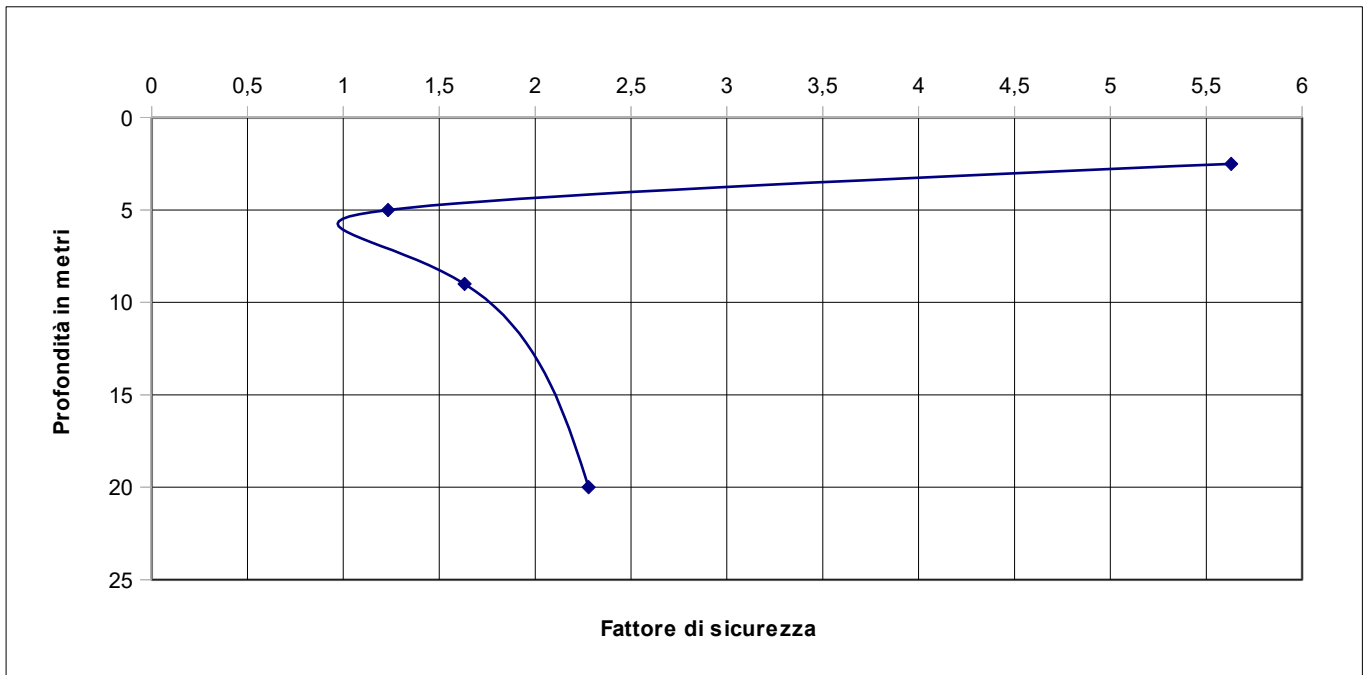
Profondità falda in metri dal p.c.

5

Sovraccarico sulla verticale di misura (t/mq)

0

z	Y	Ysat	d ₅₀	zw	so	Uo	s'o	Nspt	N1	Na	rd	MSF	T	R	Fs	Suscettibilità
2,5	1,7	1,93	1	0	0,43	0	0,43	20	0	30,22	0,98	1,6	0,06	0,34	5,63	no falda
5	1,79	1,91	10	0	0,87	0	0,87	6	0	6,49	0,96	1,6	0,06	0,07	1,23	no falda
9	1,87	1,87	0,002	4	1,62	0,4	1,22	4	7,5	11,04	0,93	1,6	0,08	0,12	1,63	non liquefacibile
20	2,04	2,04	0,02	11	3,86	1,5	2,36	10	7,5	13,05	0,64	1,6	0,06	0,14	2,28	non liquefacibile



LEGENDA

- z = Profondità d'indagine in metri
- Y = Peso di volume naturale del terreno in t/mc
- Ysat = Peso di volume saturo in t/mc
- zw = Porzione di strato immersa in falda in metri
- so = Tensione verticale totale alla profondità z in Kg/cm²
- Uo = Pressione neutra in Kg/cm²
- s'o = Tensione verticale efficace in Kg/cm²
- Nspt = Numero di colpi Nspt (standard penetration test)
- Na = Fattore di calcolo pari a (Nspt (1,7/(s'o+0,7))+N1)
- N1 = Indice funzione della granulometria (uguale a 7,5 per d₅₀ ≤ 0,25mm oppure 0 per d₅₀ > 0,25mm)
- d₅₀ = Diametro (in mm) preso sulla curva granulometrica corrispondente al passante 50%
- A/g = Accelerazione sismica massima orizzontale in superficie in ag/g
- rd = Coefficiente correttivo funzione della profondità z dal piano campagna, che assume i seguenti valori:
[rd = 1-0,00765z per z ≤ 9,15m; rd = 1,174-0,02667z per 9,15 < z ≤ 23m; rd = 0,774-0,008z per 23 < z ≤ 30m; rd = 0,5 per z > 30m]
- MSF = Coefficiente correttivo funzione della magnitudo M del sisma [con valore (M/7,5)^{-3,3} per M ≤ 7,5 e 10^{2,29}/M^{2,56} per M > 7,5]
- CRR = (Cyclic Resistance Ratio) Capacità di resistenza ciclica alla liquefazione
- CSR = (Cyclic Stress Ratio) Sforzo di taglio ciclico equivalente normalizzato
- Fs = Fattore di sicurezza (terreno cautelativamente considerato non liquefacibile per Fs > 1,3)

Indice di liquefacibilità

$$IL = \sum_{i=1}^n F \cdot W(z) \cdot \Delta z = 0$$

dove:

n = numero degli intervalli di calcolo di F_s lungo la verticale

$F = 1 - F_s$ per $F_s \leq 1$ e $F = 0$ per $F_s > 1$

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo

$W(z) = 10 - 0,5z$

con z = profondità di calcolo (massimo 20 m)

Rischio di liquefazione - Molto Basso

**VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA
LIQUEFAZIONE DEI TERRENI INDOTTA DA AZIONE SISMICA**

Metodo semplificato di Tokimatsu & Yoshimi (1983)

Relazione per il calcolo di Fs:

$$F_s = \frac{R}{T} = \frac{0,26 [0,16 Na^{1/2} + (0,21 Na^{1/2})^{14}]}{0,65 (A/g) (so/s'o) rd (1/MSF)}$$

Accelerazione sismica orizz. Max (A/g)

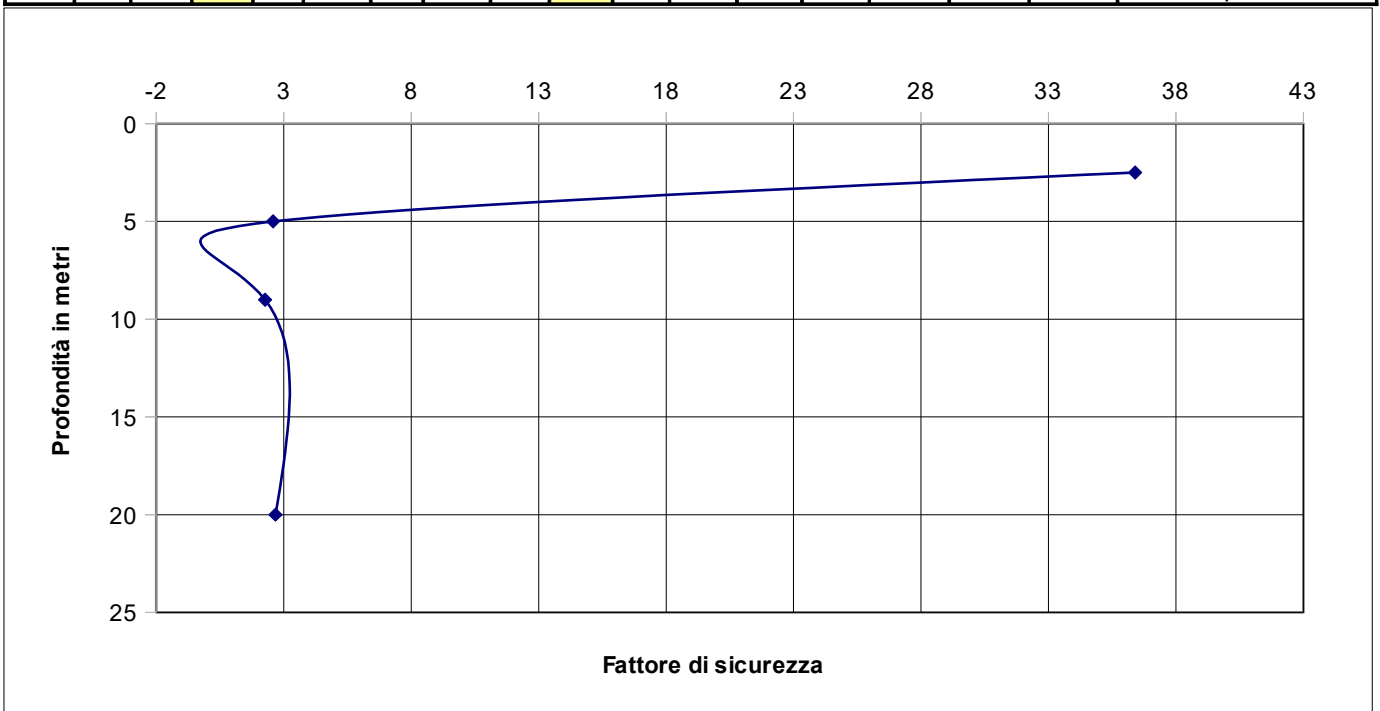
Magnitudo del sisma

Profondità falda in metri dal p.c.

Sovraccarico sulla verticale di misura (t/mq)

0,15
6,5
5
0

z	Y	Ysat	Dr	zw	so	Uo	s'o	Nspt	pc	N1	Na	rd	MSF	T	R	Fs	Suscettibilità
2,5	1,7	1,93	100%	0	0,43	0	0,43	20	2%		30,22	0,98	1,6	0,06	2,17	36,4	no falda
5	1,79	1,91	57%	0	0,87	0	0,87	6	20%	6	12,49	0,96	1,6	0,06	0,15	2,58	no falda
9	1,87	1,87	36%	4	1,62	0,4	1,22	4	70%	11	14,54	0,93	1,6	0,08	0,17	2,26	non liquefacibile
20	2,04	2,04	58%	11	3,86	1,5	2,36	10	50%	9	14,55	0,64	1,6	0,06	0,17	2,68	non liquefacibile



LEGENDA

- z = Profondità d'indagine in metri
- Y = Peso di volume naturale del terreno in t/mc
- Ysat = Peso di volume saturo in t/mc
- zw = Porzione di strato immersa in falda in metri
- so = Tensione verticale totale alla profondità z in Kg/cmq
- Uo = Pressione neutra in Kg/cmq
- s'o = Tensione verticale efficace in Kg/cmq
- Nspt = Numero di colpi Nspt (standard penetration test)
- Na = Fattore di calcolo pari a (Nspt (1,7/(s'o+0,7))+N1)
- N1 = Indice funzione della granulometria [uguale a 0 per pc<5% e (10pc+4) per pc≥5%]
- pc = Percentuale (%) di frazione fine nello strato considerato
- Dr = Densità relativa (in %) dello strato considerato
- A/g = Accelerazione sismica massima orizzontale in superficie in ag/g
- rd = Coefficiente correttivo funzione della profondità dal piano campagna
- MSF = Coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma
- T = Sforzo di taglio dinamico normalizzato
- R = Resistenza alla liquefazione
- Fs = Fattore di sicurezza [terreno non liquefacibile per Fs> 1,3 (sabbie sciolte) o Fs> 1,5 (sabbie mediam. addensate)]

Indice di liquefacibilità

$$IL = \sum_{i=1}^n F \cdot W(z) \cdot \Delta z = 0$$

dove:

n = numero degli intervalli di calcolo di F_s lungo la verticale

$F = 1 - F_s$ per $F_s \leq 1$ e $F = 0$ per $F_s > 1$

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo

$W(z) = 10 - 0,5z$

con z = profondità di calcolo (massimo 20 m)

Rischio di liquefazione - Molto Basso

**VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA
LIQUEFAZIONE DEI TERRENI INDOTTA DA AZIONE SISMICA**

Metodo semplificato di Iwasaki et al. (1984)

Relazione per il calcolo di Fs:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} = \frac{0,0882[Nspt/(s'o+0,7)]^{1/2}+N1}{0,65 (A/g) (so/s'o) rd (1/MSF)}$$

Accelerazione sismica orizz. Max (A/g)

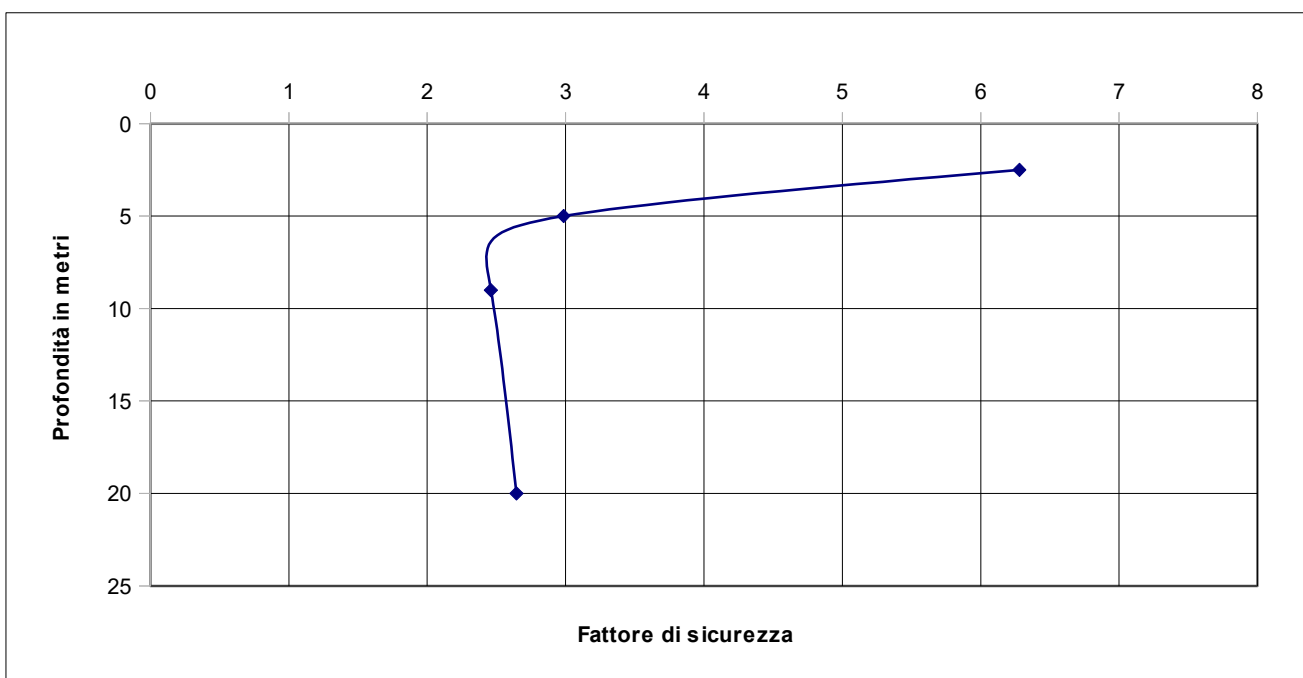
Magnitudo del sisma

Profondità falda in metri dal p.c.

Sovraccarico sulla verticale di misura (t/mq)

0,15
6,5
5
0

z	Y	Ysat	d ₅₀	zw	so	Uo	s'o	Nspt	N1	rd	MSF	T	R	Fs	Suscettibilità
2,5	1,7	1,93	1		0,43		0,43	20	-0,05	0,96	1,6	0,06	0,37	6,28	no falda
5	1,79	1,91	10		0,87		0,87	6	-0,05	0,93	1,6	0,06	0,17	2,98	no falda
9	1,87	1,87	0	4	1,62	0,4	1,22	4	0,5	0,87	1,6	0,07	0,17	2,46	non liquefacibile
20	2,04	2,04	0,02	11	3,86	1,5	2,36	10	0,28	0,7	1,6	0,07	0,18	2,65	non liquefacibile



LEGENDA

- z = Profondità d'indagine in metri
- Y = Peso di volume naturale del terreno in t/mc
- Ysat = Peso di volume saturo in t/mc
- zw = Porzione di strato immersa in falda in metri
- so = Tensione verticale totale alla profondità z in Kg/cm²
- Uo = Pressione neutra in Kg/cm²
- s'o = Tensione verticale efficace in Kg/cm²
- Nspt = Numero di colpi Nspt (standard penetration test)
- N1 = fattore che assume il valore di $0,225 \log_{10}(0,35/d_{50})$ per $d_{50} < 0,6 \text{ mm}$ oppure di $-0,05$ per $d_{50} \geq 0,6 \text{ mm}$
- d50 = Diametro in mm della curva granulometrica corrispondente al passante 50% relativa allo strato
- A/g = Accelerazione sismica massima orizzontale in superficie in ag/g
- rd = Coefficiente correttivo funzione della profondità z dal piano campagna ($rd = 1 - 0,015z$)
- MSF = Coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma
- T = Sforzo di taglio dinamico normalizzato
- R = Resistenza alla liquefazione
- Fs = Fattore di sicurezza (terreno non liquefacibile per $F_s > 1$)

Indice di liquefacibilità

$$IL = \sum_{i=1}^n F \cdot W(z) \cdot \Delta z = 0$$

dove:

n = numero degli intervalli di calcolo di F_s lungo la verticale

$F = 1 - F_s$ per $F_s \leq 1$ e $F = 0$ per $F_s > 1$

Δz = spessore dell'intervallo di calcolo

$W(z) = 10 - 0,5z$

con z = profondità di calcolo (massimo 20 m)

Rischio di liquefazione - Molto Basso
