



STUDIO DI GEOLOGIA

DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI

DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

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

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
DISTRETTO DI TRASFORMAZIONE API 5
SUBDISTRETTO DI TRASFORMAZIONE API 5a per FUNZIONI PRODUTTIVE e TERZIARIE
LOC. FOSSAMAstra

- *COMUNE DELLA SPEZIA (SP)* -

Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]

Ottobre 2018

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.....	8
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE, RILIEVO GEOLOGICO-TECNICO E GEOMECCANICO.....	8
6.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	9
6.2 PROVE PENETROMETRICHE.....	9
6.3 INDAGINE GEOFISICA	10
M.A.S.W.....	10
TOMOGRAFIA SISMICA.....	13
7. CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA, DI ANALISI E DI SINTESI.....	13
8. MODELLAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO.....	15
8.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO.....	15
8.2 PARAMETRI SISMICI DI BASE RIFERITI AL PROGETTO.....	16
8.3 CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI E RISPOSTA SISMICA LOCALE	16
8.4 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI PROGETTO.....	17
9. CONCLUSIONI.....	19

ALLEGATI

TAVOLA 1	CARTA COROGRAFICA (CTR)	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 6	CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ AL DISSESTO	SCALA 1:5000
TAVOLA 7	CARTA DELLE FASCE INONDABILI	SCALA 1:5000
TAVOLA 8	CARTA DI ZONIZZAZIONE E DI SUSCETTIBILITÀ D'USO	SCALA 1:5000
TAVOLA 9	CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA	SCALA 1:2000
TAVOLA 10	CARTA DI ANALISI	SCALA 1:2000
TAVOLA 10/bis	LEGENDA [CARTA DI ANALISI]	
TAVOLA 11	CARTA DI SINTESI	SCALA 1:2000
TAVOLA 11/bis	LEGENDA [CARTA DI SINTESI]	
TAVOLA 12	COROGRAFIA CON UBICAZIONE DELLE SEZIONI GEOLOGICHE	SCALA 1:2000
TAVOLA 13	SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA – AA'	SCALA 1:400/1:200
TAVOLA 14	SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA - BB'	SCALA 1/200
TAVOLA 15	PLANIMETRIA GENERALE CON UBICAZIONE DATI PREGRESSI	SCALA 1:5000
TAVOLA 16	ALLEGATO FOTOGRAFICO 01	
TAVOLA 17	ALLEGATO FOTOGRAFICO 02	
TAVOLA 18	ALLEGATO FOTOGRAFICO 03	
ALL. 1	SONDAGGI GEOGNOSTICI	
ALL. 2	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE/STATICHE DPSH-CPT	
ALL. 3	INDAGINE GEOFISICA M.A.S.W.	
ALL. 4	TOMOGRAFIA SISMICA	
ALL. 5	VERIFICA DELLA SUSCETTIVITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	
ALL. 6	DATI PREGRESSI	

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-tecnici 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

- Piano di Bacino Stralcio “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.G. n. 143 del 13/06/2017, entrata in vigore il 05/07/2017.

2. PREMESSA

La presente relazione geologica e sismica è stata redatta su incarico delle società del gruppo Tarros, tramite lo studio tecnico dell'Arch. Giuseppe Brusacà. L'Amministrazione Comunale, d'intesa con le società del gruppo Tarros, si prefigge l'obiettivo di valorizzare, dal punto di vista urbanistico e ambientale (*Progetto di riqualificazione e risanamento dei quartieri fronte porto: Canaletto, Fossamastra e Pagliari del Comune della Spezia*), le aree di stoccaggio dei containers a monte di V.le San Bartolomeo, nel quartiere di Fossamastra.

Quest'area si inserisce all'interno di un distretto di trasformazione 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)

In particolare il Piano Urbanistico Comunale identifica proprio sui terreni di proprietà o in uso alle società Tarros un Distretto di Trasformazione denominato specificatamente “API 5_ Aree Tarros”.

Così come stabilito dall'art. 49 c.2 della L.R. 36/1997, nell'ambito del PUO, è prevista la realizzazione di “opere di urbanizzazione primaria di pertinenza che si rendano necessarie e opere di urbanizzazione secondaria di fruizione collettiva a disposizione del bacino di utenza interessato dall'intervento”.

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 URBANISTICO OPERATIVO P.U.O. - DISTRETTO DI TRASFORMAZIONE API 5 - SUBDISTRETTO di TRASFORMAZIONE API 5A per FUNZIONI PRODUTTIVE e TERZIARIE”, che prevede la riorganizzazione della viabilità interna al subdistretto API 5 A per creare una circolazione a monte alternativa a quella al momento rappresentata dalle strade secondarie di penetrazione ovest-est perpendicolari all'asse di Viale San Bartolomeo. Il subdistretto API 5A viene suddiviso in 4 lotti, tre dei quali racchiudono tutta la capacità edificatoria dell'ambito, mentre il quarto rappresenta le aree dedicate alle opere di urbanizzazione ed alle aree verdi di uso pubblico.

In questo quadro generale la VAS (Valutazione Ambientale Strategica) rappresenta una procedura sistematica interna al processo decisionale per la valutazione e la mitigazione degli effetti ambientali derivanti dall'attuazione di Piani e Programmi, con il fine di garantire un elevato livello di protezione dell'ambiente mediante la valutazione delle conseguenze degli interventi proposti nel lungo periodo.

La VAS è avviata contestualmente al processo di formazione del piano e comprende diverse fasi, di seguito elencate, con riferimento agli articoli da 12 a 18 del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.:

- verifica di assoggettabilità;
- rapporto ambientale;
- consultazioni;
- valutazione del rapporto ambientale e degli esiti delle consultazioni;
- decisione;
- informazione sulla decisione;
- monitoraggio.

L'apporto del geologo è fondamentale nell'ambito del rapporto ambientale al fine della VAS degli aspetti geologici ai sensi della *lett. h dell'art. 41 del D.P.R. 328/2001*.

Nello specifico si è provveduto alla ricostruzione del contesto geologico, idrogeologico e sismico attraverso l'analisi documentale (pubblicazioni specialistiche, prospezioni eseguite in aree limitrofe etc.) e l'esecuzione di una specifica campagna geognostica preliminare basata su prove penetrometriche statiche e

dinamiche superpesanti, sondaggi a carotaggio continuo, con prelievo di campioni indisturbati e disturbati, successivamente attrezzati a piezometro e stese sismiche a rifrazione e tipo MASW.

Si è tenuto inoltre di conto delle norme del PUC di La Spezia e delle 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.G. n. 143 del 13/06/2017, entrata in vigore il 05/07/2017. Relativamente alla zonizzazione e alla suscettibilità d'uso del territorio l'area compresa nel subdistretto API 5a (aree per funzioni produttive integrate) viene classificata come "C1: aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di medio-bassa difficoltà ed onerosità" e "C2: aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di medio-alta onerosità, previo accertamento della effettiva compatibilità generale". Viene inoltre evidenziata un'area appartenente all'ambito "a3" definita come area "potenzialmente soggetta a fenomeni di alluvionamento e ristagno" (Tav. 8 in allegato).

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.

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, e ricade in area *Pg0* "Suscettività al dissesto molto bassa" (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 B**" che individua le aree perfluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni, perimetrate a seguito di verifiche a carattere locale o ricadenti in aree storicamente inondate (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, in un intorno significativo dell'area di studio, nelle Quarziti e Filladi

(VR) di età triassica, rappresentative di un ambiente palustre e di piana fluviale; tale formazione giace nella porzione basale dell'intera sequenza sedimentaria.

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 potente copertura sedimentaria, che raggiunge spessori anche di 50 metri, la cui genesi è direttamente correlabile alle ingressioni e regressioni marine, variando quindi da depositi marini a depositi lagunari e continentali, come dimostrano alcune perforazioni eseguite nelle aree limitrofe a quella di progetto e all'interno della stessa, dalle quali è emerso che da piano campagna si susseguono:

- depositi sabbiosi limosi neritici, depositi in piena fase trasgressiva, come indicano le microfaune e le nannoflore rinvenute;
- depositi limosi argillosi intercalati a sabbie, testimoni del passaggio ad un mare poco profondo, talvolta con livelli di torbe, a definire ancor più l'ambiente deposizionale come lagunare;
- depositi terrigeni continentali data l'assenza di microfaune e nannoflore con granulometrie più grossolane.

Dall'esame della Carta Geologica (Tav. 2) l'area del Subdistretto API 5a è caratterizzata dalla presenza di depositi quaternari:

- **DL** Depositi di origine prevalentemente lacustre: depositi limo-sabbiosi argillosi con frequenti livelli torbosi. Presenti resti fossili e vegetali.
- **DM** Depositi di origine prevalentemente marina: 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 le rocce appartenenti all'Unità di Massa, indicate con "VR - Gruppo del Verrucano", quarziti e filladi del Trias medio.

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, appare stabile essendo presente un'area definita *Pg0* - suscettività al dissesto molto bassa.

Occorre però evidenziare come nel corso dei decenni, in seguito all'espansione urbanistica, quella porzione del quartiere di Fossamastra sia stata bonificata mediante opere di riduzione e riempimento di piccoli specchi d'acqua e depressioni acquitrinose. In epoca più recente inoltre si sono susseguiti importanti interventi di antropizzazione con la realizzazione di riporti, che attualmente raggiungono anche i due metri, per permettere l'uso dell'area come piazzale per lo stoccaggio dei containers.

5. INQUADRAMENTO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale l'area di studio ricade in parte all'interno del Bacino Idrografico del Canale Fossamastra ed in parte nel Bacino Idrografico del Fosso di Pagliari (Tav. 5). Allo stato attuale il flusso idrico del tratto "B" del Fosso di Pagliari appare interrotto; si rimanda ad apposita relazione idraulica per ulteriori approfondimenti.

Per quanto concerne la pericolosità idraulica si evidenzia la presenza di una Fascia B* (relativa al Canale Fossamastra), definita come un'area perifluviale inondabile al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente a tempi di ritorno di 200 anni.

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

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

L'idrogeologia di tutta l'area appare piuttosto complessa data la presenza di un sistema multifalda, con falde artesiane e falde sospese.

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 contiguo al Subdistretto API 5a, denominato **S1D** in seguito, la profondità della falda in pressione si attesta nella zona a circa 15 metri da piano campagna.

Dalle perforazioni eseguite all'interno del subdistretto API 5a è emerso che l'acquifero in pressione non ha continuità laterale, poiché è stato intercettato esclusivamente con il sondaggio detto S2, caratterizzato da successioni marino-lacustri. Il sondaggio S1 invece ha intercettato il substrato quarzítico-filladico, caratterizzato da una circolazione idrica sotterranea, in cui il livello piezometrico si attesta a quota di circa m - 2,0 da p.c..

La falda freatica superficiale è stata intercettata nei vari punti di indagine nel corso della campagna geognostica e si attesta a profondità compresa tra 1,3 m e 2,6 m da piano campagna (prove penetrometriche eseguite in data 12/06/2018).

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE, RILIEVO GEOLOGICO-TECNICO E GEOMECCANICO

In fase preliminare sono stati raccolti tutti i dati esistenti nelle immediate vicinanze dell'area in esame che sono (Tavola 15):

- un sondaggio a carotaggio continuo sito in corrispondenza della Darsena Pagliari (denominato **S1D**), spinto alla profondità di m. 32, nel quale è stato intercettato l'acquifero in pressione tra 15 e 16,5 m di profondità, che mostra una sequenza di depositi sabbiosi e limo-sabbiosi;

- un sondaggio a carotaggio continuo in prossimità del raccordo autostradale (**SB1**), spinto alla profondità di 40 metri, nel quale è stata eseguita una prova sismica in foro (down-hole) che mostra una sequenza di argille e limi con presenza di torbe e resti organici;
- un sondaggio a carotaggio continuo sito nelle immediate vicinanze del precedente e spinto alla profondità di 50 metri, denominato **S1bis**, che mostra sequenze sedimentarie di tipo lagunare, con alternanze di argille, limi e torbe;
- due sondaggi a carotaggio continuo, **S1** ed **S2**, situati nell'area della Caserma dei Vigili del Fuoco in Via delle Casermette, profondi 25 metri, che mostrano depositi argillo-limosi con presenza di torbe che delimitano l'acquifero in pressione al tetto e alla base.

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:

- ◆ n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, spinti alla profondità di 35 m;
- ◆ n. 6 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH;
- ◆ n. 1 prova penetrometrica statica CPT;
- ◆ n. 2 stese sismiche tipo M.A.S.W.;
- ◆ n. 1 tomografia sismica.

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]".

Nella Carta di Sintesi (Tav. 11) viene presentato un ulteriore piano di indagine riferito alla fase esecutiva del P.U.O. che dovrà essere concordato con gli Enti competenti.

6.1 SONDAGGI GEOGNOSTICI

Nel mese di settembre 2018 sono stati eseguiti due sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti alla profondità di 35 metri da piano campagna e denominati S1 e S2 (Tav. 10 "Carta di analisi").

Il sondaggio geognostico è stato eseguito con attrezzatura mobile a rotazione (macchina perforatrice Comacchio MC900). La perforazione ha un diametro di 101 mm e la carota ottenuta un diametro di 80 mm ca.

La stabilizzazione del foro si ottiene mediante l'ausilio di un rivestimento metallico provvisorio infisso a rotazione di diametro mm 127.

Sono stati raccolti campioni indisturbati sui quali saranno eseguite indagini geotecniche di laboratorio per la determinazione dei parametri del terreno. Le stratigrafie ricostruite sono riportate per esteso nell'Allegato 1.

Nei fori di sondaggio sono stati installati piezometri a tubo aperto, per il campionamento delle acque di falda.

6.2 PROVE PENETROMETRICHE

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.

La prova statica (CPT) consiste invece nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante. Le grandezze Q_c (resistenza di punta), F_s (attrito laterale) e Q_t (resistenza totale) vengono misurate per mezzo di una cella di carico.

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 Static/Dynamic Probing 2018 (GeoStru), sono riportati per esteso 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).

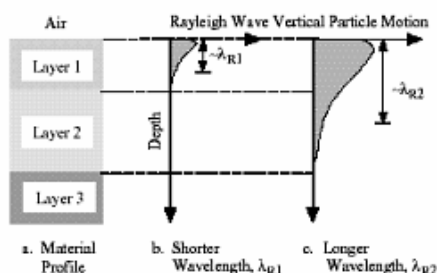


Fig. 1 – Profondità investigata dalle onde di Rayleigh sulla base della lunghezza d'onda, della Vs e della frequenza.

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 e M2, la cui ubicazione è indicata in Tav. 10, caratterizzate da un totale di 24 geofoni, con interdistanza di 2,5 m ed un unico punto di energizzazione posto a 3,0 m dal primo geofono. 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

Il modello di velocità di sottosuolo è:

Layer	Profondità [m]	Vs [m/sec]
1	2,24	218,4
2	8,41	253,8
3	oo	311,6

Il parametro Vs,eq è risultato pari a 288,87 m/s [H=30,00m].

STESA M2

Il modello di velocità di sottosuolo è:

Layer	Profondità [m]	Vs [m/sec]
1	1,04	200,4
2	4,71	222,5
3	9,71	233,3
4	13,48	260,2
5	oo	292,1

Il parametro Vs,eq è risultato pari a 262,77 m/s [H=30,00]

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.

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

TOMOGRAFIA SISMICA

La prova tomografica a rifrazione consente di determinare sezioni bidimensionali di velocità delle onde di compressione P e di taglio S attraverso la misurazione dei tempi di percorrenza di tali onde lungo percorsi tra i punti sorgenti di energia e i sensori disposti in superficie.

La velocità di propagazione delle onde di compressioni P e di taglio S sono proporzionali a diversi

fattori tra i quali la densità, la composizione del materiale, lo stato tensionale, il grado di fratturazione.

Nel caso in esame, date le caratteristiche geologiche ed idrogeologiche del sito, sono state acquisite sia le onde di compressione P che le onde di taglio S.

Poiché il sito appare fortemente urbanizzato, caratterizzato dalla circolazione di mezzi pesanti oltre che dalla presenza del nastro trasportatore della centrale Enel che dal porto conduce il carbone direttamente alla centrale E. Montale, il segnale ha mostrato un forte disturbo, pertanto l'acquisizione in onde S non ha portato a risultati soddisfacenti.

Considerando la saturazione dei terreni che caratterizzano l'area indagata, il modello simico del sottosuolo ricostruito mediante la tomografia ad onde P permette di fare delle considerazioni di carattere generale, senza dare una risposta in termini di valore assoluto di velocità delle onde.

In particolare è stato evidenziata una zona di transizione posta ad una profondità compresa tra 15 e 20 metri da p.c. che separa una porzione superficiale più lenta da una sottostante più veloce.

Inoltre nella profondità investigata di circa 35 metri, limitatamente alla zona di acquisizione della prova, si esclude la presenza di una substrato sismico ($V_P \geq 2800/3000$ m/s).

Per maggiori approfondimenti si rimanda all'allegato 4.

7. CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA, DI ANALISI E DI SINTESI

Dall'interpolazione di tutti i dati raccolti, nuovi e pregressi, è stato possibile redarre tre carte tematiche di dettaglio per il sito investigato:

- Carta di Microzonazione Sismica (Tavola 9);
- Carta di Analisi (Tavola 10);
- Carta di Sintesi (Tavola 11).

CARTA DI MICROZONAZIONE 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", "Microzona omogenea 2" e "Microzona omogenea 3". Con quanto al momento disponibile, si è ritenuto opportuno classificare le tre microzone come "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali"; mediante gli appositi abachi sono stati assegnati i due fattori FA e FV:

	MICROZONA OMOGENEA 1	MICROZONA OMOGENEA 2	MICROZONA OMOGENEA 3
Profilo di velocità	Lineare pendenza intermedia	Lineare pendenza intermedia	Lineare pendenza intermedia
V sh (m/sec)	400	300	300
Tipo di Terreno	ghiaia	sabbia	argilla
Spessore delle coperture*	25	50	50
FA	1,65	1,34	1,67
FV	1,37	2,10	2,17

* lo spessore del deposito posto pari a 50 m è un dato ottenuto da un sondaggio geognostico eseguito dal Comune della Spezia in una area confinante con il Subdistretto API 5a, mentre per la Microzona omogenea 1 si è tenuto di conto del sondaggio denominato S1.

CARTA DI ANALISI

Dalle risultanze delle prove penetrometriche e dei sondaggi geognostici, la cui ubicazione è indicata nella Tav. 10, è stato possibile suddividere il Subdistretto API 5a in tre Unità litologiche 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.4*). Le unità riconosciute, e cartografate nella Tavola 10 [Carta di Analisi], sono:

- ➔ ULT “F.s4-5.t4”
- ➔ ULT “F.s3-4.t4” “E3.a2-3.t1”
- ➔ ULT “E2.a2” “B3.r5”

ULT “F.s4-5.t4”

L'unità litologica-tecnica “F”, che identifica materiali con consistenza limitata o nulla, comprende i terreni coesivi a bassa consistenza “Limi e Argille”. Per la valutazione dello stato di consistenza è stato utilizzato il parametro N(Spt) ricavato dalle indagini in sito ed è rappresentato dal suffisso *s* seguito dal relativo numero. Il suffisso *t* indica le caratteristiche tessiturali e nello specifico il numero 4 la presenza di materiale torboso.

In conclusione la presente unità litologica tecnica è costituita prevalentemente da limi e argille da poco a moderatamente consistenti con presenza di materiale torboso.

ULT “F.s3-4.t4” “E3.a2-3.t1”

All'unità litologica “F” sopra descritta si unisce, nella seconda zona individuata, l'unità litologica-tecnica “E”, che identifica materiali granulari non cementati o poco cementati e comprende i terreni con stato di addensamento da addensato a sciolto, indicato dal suffisso *a* seguito dal relativo numero. 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 *t* indica le caratteristiche tessiturali e nello specifico il numero 1 la presenza di frammenti di dimensioni maggiori.

In conclusione la presente unità litologica tecnica è costituita prevalentemente da limi e argille da moderatamente consistenti a consistenti con presenza di materiale torboso e da sabbie da poco a moderatamente addensate con presenza di frammenti di dimensioni maggiori.

ULT “E2.a2” “B3.r5”

All'unità litologica “E” sopra descritta si unisce, nella terza zona individuata, l'unità litologica-tecnica “B”, che identifica i materiali lapidei stratificati o costituiti da alternanze di diversi litotipi. Il suffisso *r* indica la resistenza della roccia, variabile da estremamente resistente a estremamente debole.

In conclusione la presente unità litologica tecnica è costituita prevalentemente da ghiaie moderatamente addensate e rocce stratificate costituite da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli

pelitici. Classificazione dell'ammasso: roccia debole.

CARTA DI SINTESI

Come prescritto dalla circolare n. 4551 del 12 dicembre 1989 è stata redatta una carta di sintesi che suddivide il sito in esame in tre aree distinte, ciascuna delle quali caratterizzata da condizioni geologico-tecniche e idrogeologiche differenti. È stato inoltre indicato un piano di indagine futuro finalizzato a completare la raccolta dei dati stratigrafici, geotecnici, sismici, idrogeologici e di geochimica delle acque.

Le aree sono riportate per esteso nella legenda (Tavola 11bis).

8. MODELLAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO

8.1 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.

8.2 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: $\varphi = 44,107726^\circ$ $\lambda = 9,860632^\circ$] 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	2,533	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	2,378	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.

8.3 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						
	S_s (-)	C_c (-)	S_t (-)	K_h (-)	K_v (-)	A_{max} (m/s ²)	β (-)
Operatività (SLO)	1,500	1,720	1,000	0,012	0,006	0,589	0,200
Danno (SLD)	1,500	1,670	1,000	0,015	0,008	0,736	0,200
Salv. Vita (SLV)	1,500	1,580	1,000	0,044	0,022	1,802	0,240
Collasso (SLC)	1,470	1,570	1,000	0,056	0,028	2,276	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.

8.4 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI PROGETTO

Relativamente al fenomeno di liquefazione, esso 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**: localmente la falda acquifera si attesta ad una profondità di circa 1,4 metri dal p.c. con variazioni stagionali, ma mai raggiungendo i 15 m di profondità.
- 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 in entrambe le unità litologiche riconosciute rientra nei fusi di figura 2.

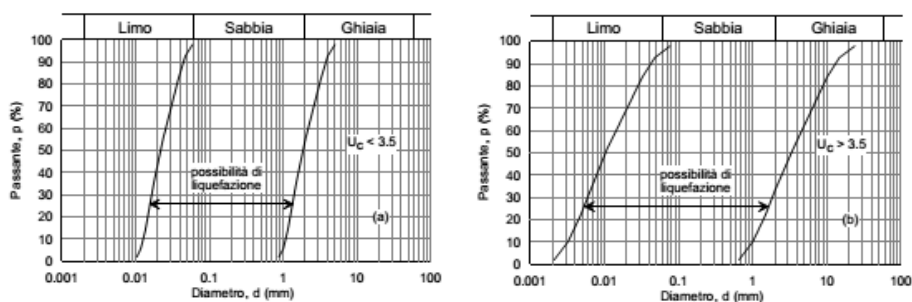


Fig. 2 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

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).

Sono state condotte le verifiche della suscettibilità alla liquefazione nella tipologia stratigrafica definita dall'unità litologica tecnica ULT "F.s3-4.t4" "E3.a2-3.t1" secondo una modellazione geotecnica preliminare relativa ai primi 15 metri di sottosuolo, da ridefinire a seguito dei risultati delle analisi geotecniche di laboratorio.

Per il calcolo del fattore di sicurezza (FS) si è tenuto di 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 -1,4 m al di sotto del piano campagna.

- **Suscettibilità alla liquefazione - ULT "F.s3-4.t4" "E3.a2-3.t1"**

Dalla verifica a liquefazione è emerso che i terreni che caratterizzano il sottosuolo sono *non liquefacibili*, ad eccezione del livello compreso tra 5,2 e 11,6 metri di profondità, corrispondente ai limi e limi sabbiosi poco consistenti, che risulta potenzialmente liquefacibile secondo Seed & Idriss (1982), con un Fattore di Sicurezza pari a 1,14. Il **rischio di liquefazione è risultato comunque MOLTO BASSO**.

Si rimanda all'Allegato 5 per la verifica completa.

9. CONCLUSIONI

La presente relazione geologica e sismica è stata redatta su incarico delle società del gruppo Tarros. L'Amministrazione Comunale, d'intesa con le società del gruppo Tarros, si prefigge l'obiettivo di valorizzare, dal punto di vista urbanistico e ambientale (*Progetto di riqualificazione e risanamento dei quartieri fronte porto: Canaletto, Fossamastra e Pagliari del Comune della Spezia*), le aree di stoccaggio dei containers a monte di V.le San Bartolomeo, nel quartiere di Fossamastra.

Quest'area si inserisce all'interno di un distretto di trasformazione 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)

In fase preliminare sono stati raccolti tutti i dati esistenti nelle immediate vicinanze dell'area in esame che sono:

- un sondaggio a carotaggio continuo sito in corrispondenza della Darsena Pagliari (denominato **S1D**), spinto alla profondità di m. 32, nel quale è stato intercettato l'acquifero in pressione tra 15 e 16,5 m di profondità, che mostra una sequenza di depositi sabbiosi e limo-sabbiosi;
- un sondaggio a carotaggio continuo in prossimità del raccordo autostradale (**SB1**), spinto alla profondità di 40 metri, nel quale è stata eseguita una prova sismica in foro (down-hole) che mostra una sequenza di argille e limi con presenza di torbe e resti organici;
- un sondaggio a carotaggio continuo sito nelle immediate vicinanze del precedente e spinto alla profondità di 50 metri, denominato **S1bis**, che mostra sequenze sedimentarie di tipo lagunare, con alternanze di argille, limi e torbe;
- due sondaggi a carotaggio continuo, **S1** ed **S2**, situati nell'area della Caserma dei Vigili del Fuoco in Via delle Casermette, profondi 25 metri, che mostrano depositi argillo-limosi con presenza di torbe che delimitano l'acquifero in pressione al tetto e alla base.

Alla raccolta documentale seguono le campagne geognostiche, come già riportate per esteso nella presente relazione, che possono essere riassunte come segue:

- n. 6 prove penetrometriche dinamiche super-pesanti DPSH spinte fino alla profondità di 15 metri;
- n. 1 prova penetrometrica statica CPT andata a rifiuto alla profondità di 15,4 metri;
- n. 2 stese sismiche tipo MASW;
- n. 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti alla profondità di 35 metri denominati S1 e S2;
- n. 1 tomografia sismica ad onde P.

Dall'elaborazione delle indagini geognostiche eseguite nell'area di studio, dall'analisi dei dati già esistenti e dal confronto con la cartografia tecnica disponibile, è stato possibile individuare delle Aree con caratteristiche geologico-tecniche, sismiche, idrogeologiche e stratigrafiche similari, riportate nelle carte di Microzonazione Sismica, di Analisi e di Sintesi.

In particolare sono state riconosciute tre microzone omogenee in prospettiva sismica e tre unità litologiche tecniche secondo le indicazioni del progetto VEL della Regione Toscana (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 tre 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 di raccordo tra la collina e la pianura, caratterizzata da una copertura sedimentaria di spessore dell'ordine di circa 10 m costituita da depositi lagunari, posta su breccie tettoniche quarzitiche e filladiche alterate da processi idrotermali seguite da un substrato appartenente al basamento triassico fortemente alterato e fratturato a profondità maggiori di 26 metri (ULT "E2.a2" "B3.r5");
- circolazione idrica profonda, probabilmente idrotermale, per fessurazione e fratturazione dell'ammasso con un livello freatico superficiale posto a circa -2 m da p.c.;

- **AREA "B"**

- 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 depositi lagunari (alternanze di limi e argille, da moderatamente consistenti a consistenti con presenza di materiale torboso, e sabbie da poco a moderatamente addensate con presenza di frammenti di dimensioni maggiori) con spessori maggiori di 30 m, interessati da un sistema multifalda (ULT "F.s3-4.t4" "E3.a2-3.t1");
- circolazione idrica profonda, con falde artesiane e sospese, con locali contrasti di permeabilità;
- probabile aggressività delle acque sotterranee per composizione solfato-calcica (da valutare in fase di monitoraggio);
- portanza dei terreni superficiali bassa, con possibili fenomeni geotecnici legati a disomogeneità laterali e alla presenza di falda artesianiana;
- possibilità di liquefazione per granulometrie dei depositi saturi comprese nei fusi granulometrici riportati dalla normativa (NTC 2018);
- presenza di una fascia di rispetto del reticolo idrografico;
- classificazione del suolo di fondazione secondo le NTC 2018: categoria C.

- **AREA "C" FASCIA "b"**

- 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-alta difficoltà ed onerosità;
- area pianeggiante costituita in prevalenza da limi e argille da poco a moderatamente consistenti con presenza di materiale torboso (ULT "F.s4-5.t4")
- circolazione idrica profonda, con falde artesiane e sospese, con locali contrasti di permeabilità;
- probabile aggressività delle acque sotterranee per composizione solfato-calcica (da valutare in fase di monitoraggio);
- portanza dei terreni superficiali bassa, con possibili fenomeni geotecnici legati a disomogeneità laterali, alla presenza di falda artesianiana;
- classificazione del suolo di fondazione secondo le NTC 2018: categoria C;
- presenza di un'area perifluviale inondabile al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni, perimetrate a seguito di verifiche a carattere locale o ricadenti in aree storicamente inondate (**FASCIA b**).

La Carta di Sintesi presenta inoltre un **piano di indagine** di maggior approfondimento riferito alla fase esecutiva del P.U.O., costituito da:

- sondaggi geognostici profondi a carotaggio continuo, con prelievo di campioni indisturbati ed SPT in foro;
- installazione di piezometri di controllo per il monitoraggio della falda e il prelievo di campioni per

la classificazione delle acque profonde e la stima delle loro caratteristiche fisiche e chimiche, data la probabile natura idrotermale, con un discreto grado di aggressività;

- indagini sismiche (tomografie in onde P ed S, HVSR e down-hole) per la ricostruzione dei lineamenti stratigrafici e strutturali profondi.

In conclusione è risultato evidente che l'area sia caratterizzata da una forte disomogeneità, sia dal punto di vista stratigrafico che idrogeologico, come mostrano i sondaggi eseguiti in tutta l'area.

Il sottosuolo è caratterizzato prevalentemente da depositi lagunari e marino-lacustri, con un ampio range granulometrico, dalle argille alle ghiaie, influenzato dalle morfologie dell'ambiente deposizionale e dalle trasgressioni e regressioni marine. Questo si riflette poi nell'idrogeologia, che vede un sistema multifalda con falde in pressione profonde, falde sospese e falde superficiali: nelle porzioni dove livelli di argilla compatta hanno sigillato i livelli acquiferi la pressione della falda è maggiore, rispetto alle porzioni dove non si individua un vero e proprio acquiclude.

Nelle immediate vicinanze del sondaggio S1 (Area A) si esclude la presenza della falda in pressione, intercettata invece dal sondaggio S2 (Area B) e ipotizzabile nell'Area C sulla base dei dati pregressi.

Le principali problematiche relative all'area di intervento sono in parte legate alle potenti coperture sedimentarie, formate da terreni principalmente argillosi, ad elevata plasticità e compressibilità, con caratteristiche geotecniche da definire sulla base delle risultanze delle *analisi di laboratorio sui campioni indisturbati prelevati dai sondaggi*, ed in parte alla presenza di acque di falda idrotermali, localmente in pressione, con grado di aggressività da valutare con *analisi di campioni prelevati dai piezometri*.

A seguito della fase di monitoraggio, come prevista nella procedura di VAS, sarà possibile ricostruire un modello geologico e geotecnico del sottosuolo sulla base del quale i progettisti potranno definire le tipologie fondazionali idonee al contesto, valutando anche le possibili interazioni dei materiali con le acque idrotermali, la cui presenza è dimostrata, in studi pregressi, nelle aree adiacenti.

La geometria del sottosuolo verrà ricostruita mediante tomografia sismica in onde P ed S e analisi di tipo HVSR, partendo dalle verticali dei sondaggi con stratigrafia nota, consentendo una miglior definizione dei confini delle Aree proposte e, ove possibile, riconoscere l'andamento del substrato o eventuali strutture sepolte.

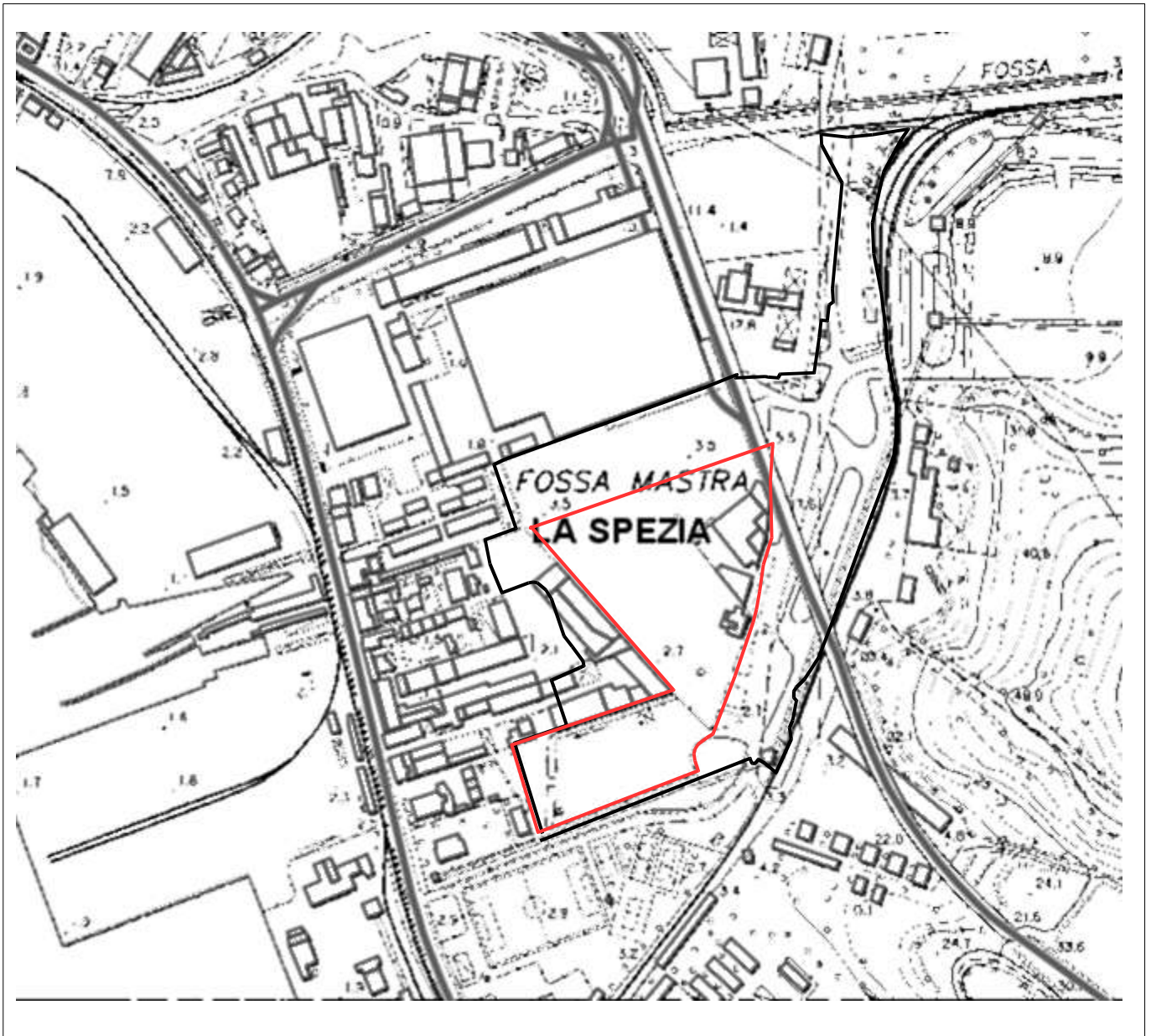
Per quanto concerne l'aspetto idraulico, inteso anche come pericolosità idraulica, per la pianificazione degli interventi nel Subdistretto API 5a si rimanda ad apposita relazione a firma di tecnico abilitato. Si sottolinea comunque la presenza di un'area caratterizzata da pericolosità idraulica, in particolare inondabile per eventi di piena con $Tr=200$ anni, ed una fascia di rispetto del reticolo idrografico. Sarà inoltre necessario predisporre adeguate opere di regimazione idrica, con una rete di raccolta delle acque meteoriche al fine di garantirne l'allontanamento.

La Spezia, 02/10/2018

Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]

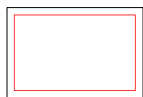
ALLEGATI



LEGENDA



Perimetro distretto



Subdistretto API 5a

Tav. 1

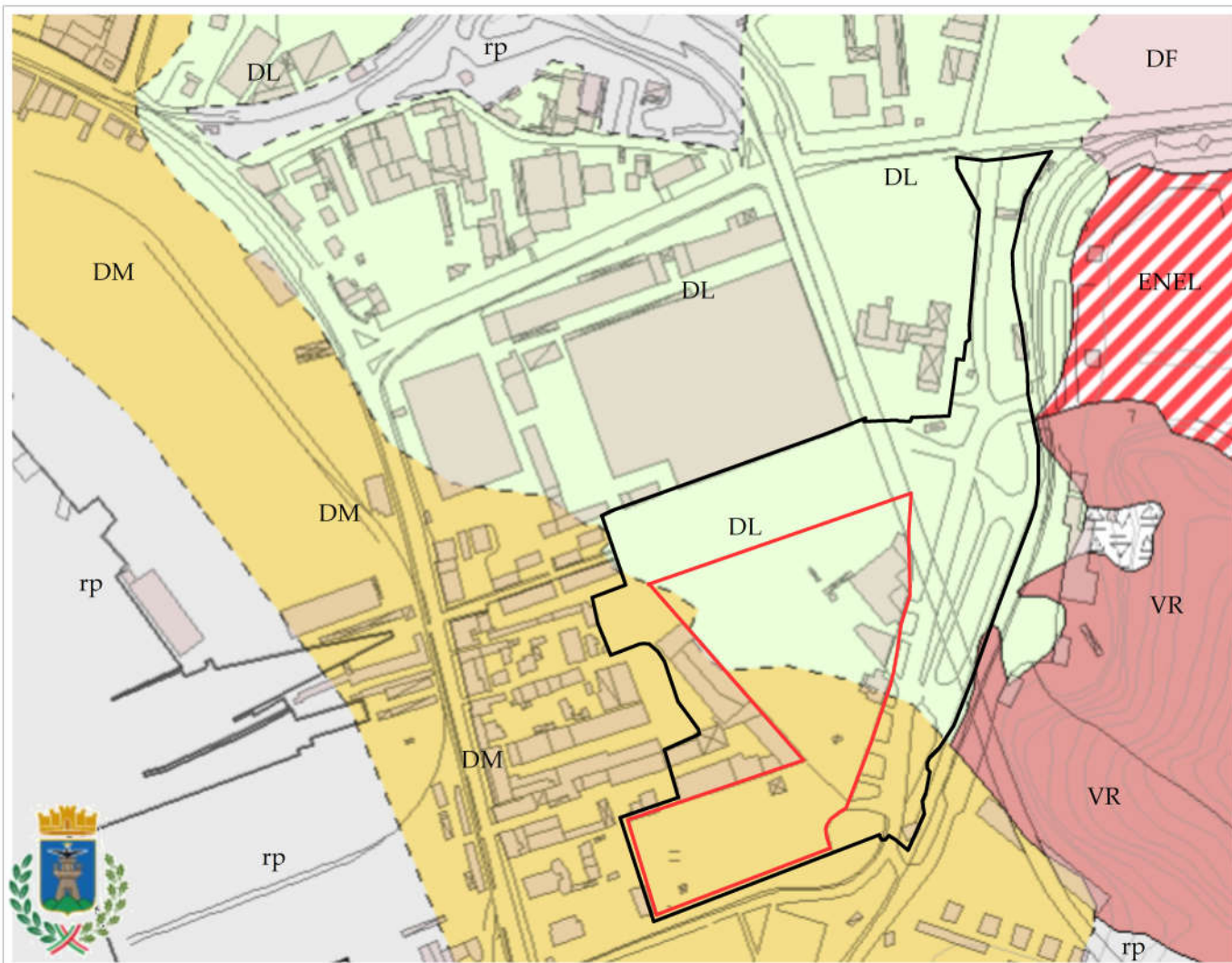
**CARTA COROGRAFICA
SCALA 1:5000**

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5



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

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



LEGENDA



rp - Materiale di riporto



ENEL - Carbonile (area stoccaggio carbone e ceneri)

DEPOSITI QUATERNARI



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



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



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

UNITÀ DI MASSA



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



Perimetro distretto



Subdistretto API 5a

COMUNE DELLA SPEZIA
Piano Urbanistico
Comunale (2003)

Tav. 2

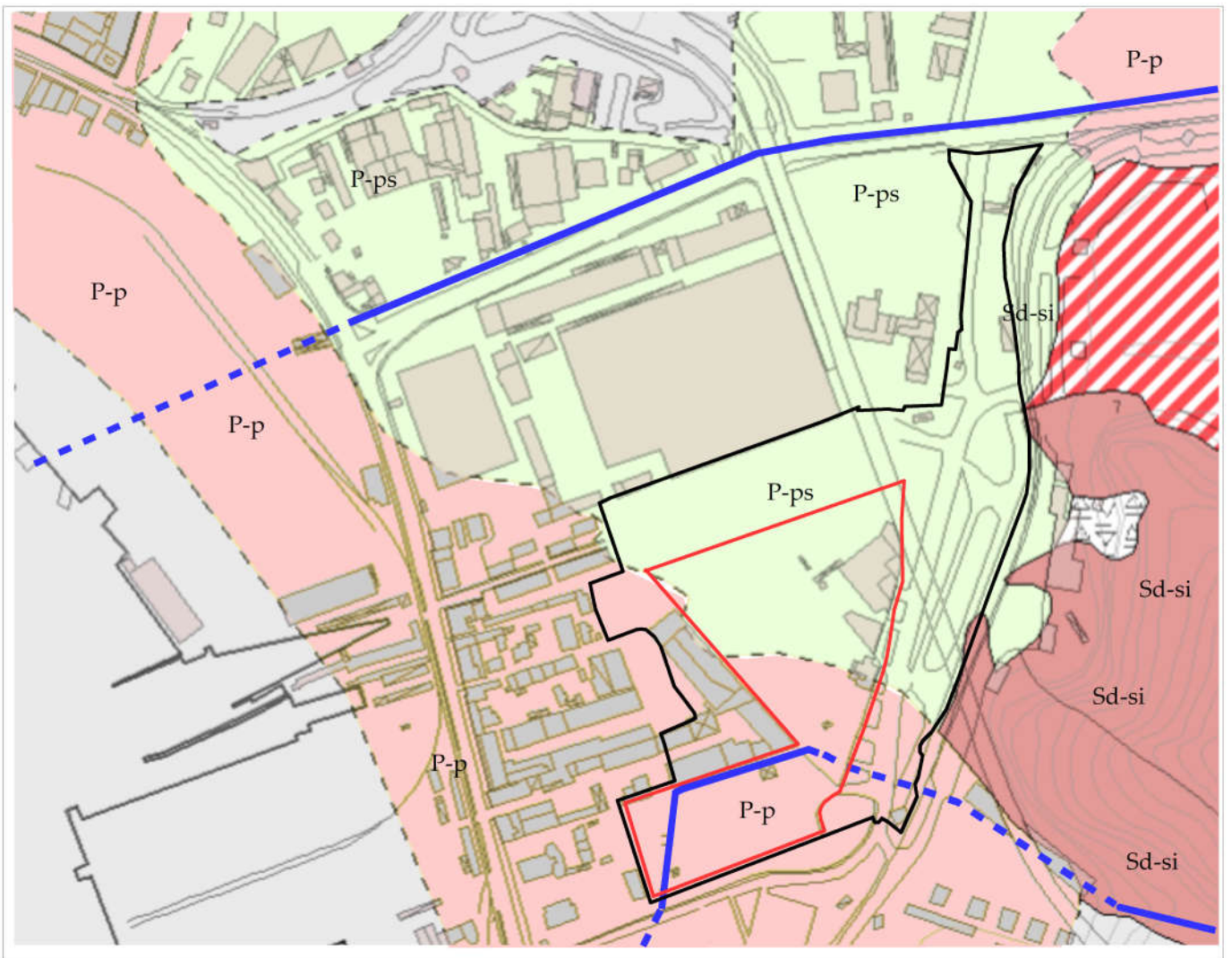
**CARTA GEOLOGICA
SCALA 1:5000**

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5




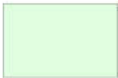




DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

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



LEGENDA

-  Materiale di riporto
-  ENEL – Carbonile (area stoccaggio carbone e ceneri)
-  **Sd-si**: Substrato roccioso a medio-bassa permeabilità per fessurazione (VR - Quarziti e filladi)
-  **P-ps**: Depositi lacustri con permeabilità per porosità media (DL)
-  **P-p**: Depositi marini e fluviali ad elevata permeabilità per porosità (DM e DF)
-  Reticolo idrografico superficiale (linea tratteggiata: tratti intubati; linea continua: tratti a cielo aperto – Relazione Idraulica – FLOW-ING srl)



 Perimetro distretto

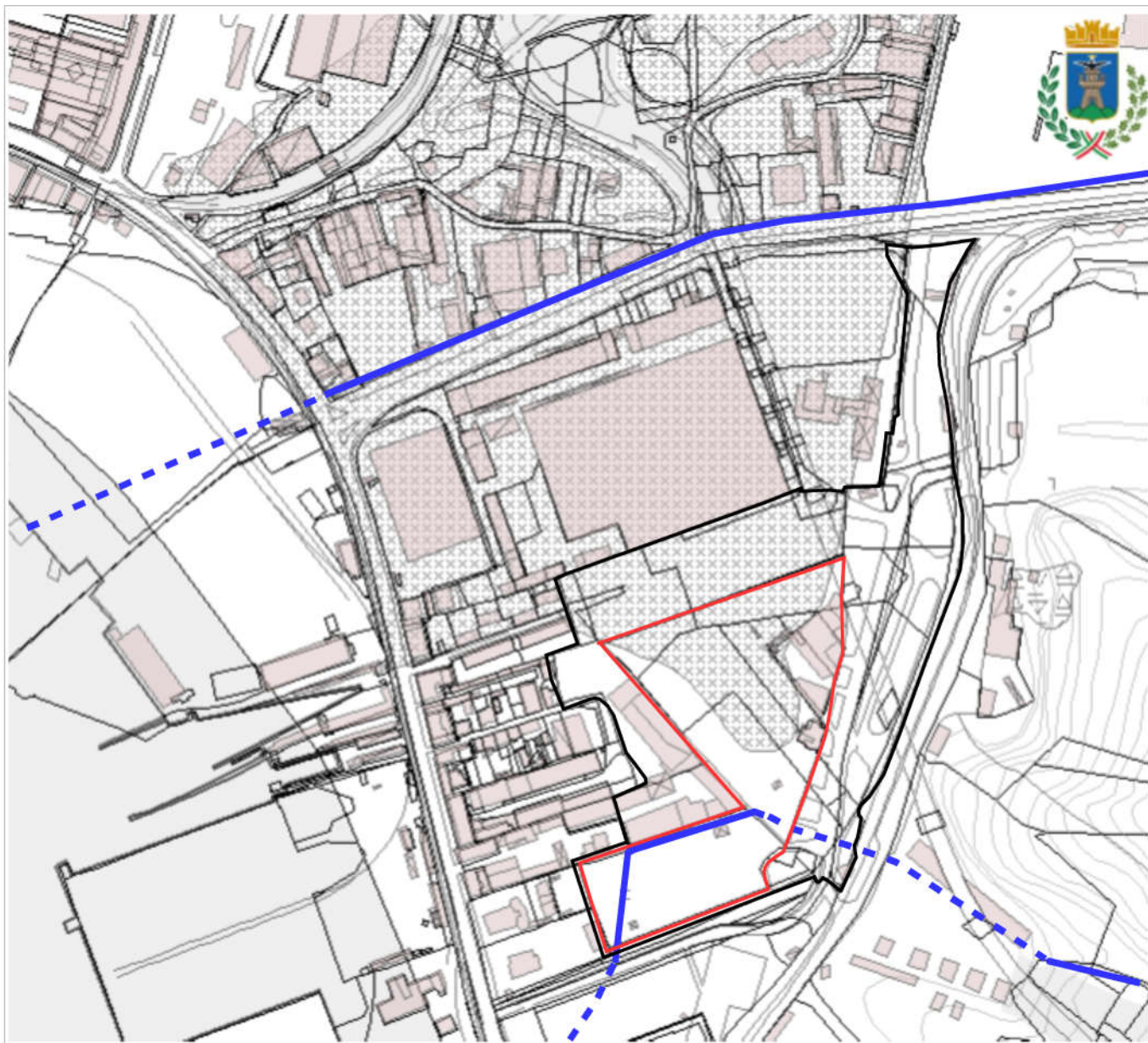
 Subdistretto API 5a

Tav. 3

**CARTA IDROGEOLOGICA
SCALA 1:5000**

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5

INNGEO
STUDIO DI
GEOLOGIA
DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA
VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



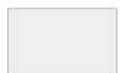
LEGENDA



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



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



Materiale di riporto



Reticolo idrografico superficiale (linea tratteggiata: tratti intubati; linea continua: tratti a cielo aperto – Relazione Idraulica – FLOW-ING srl)



Perimetro distretto



Subdistretto API 5a

COMUNE DELLA SPEZIA
Piano Urbanistico
Comunale (2003)

Tav. 4

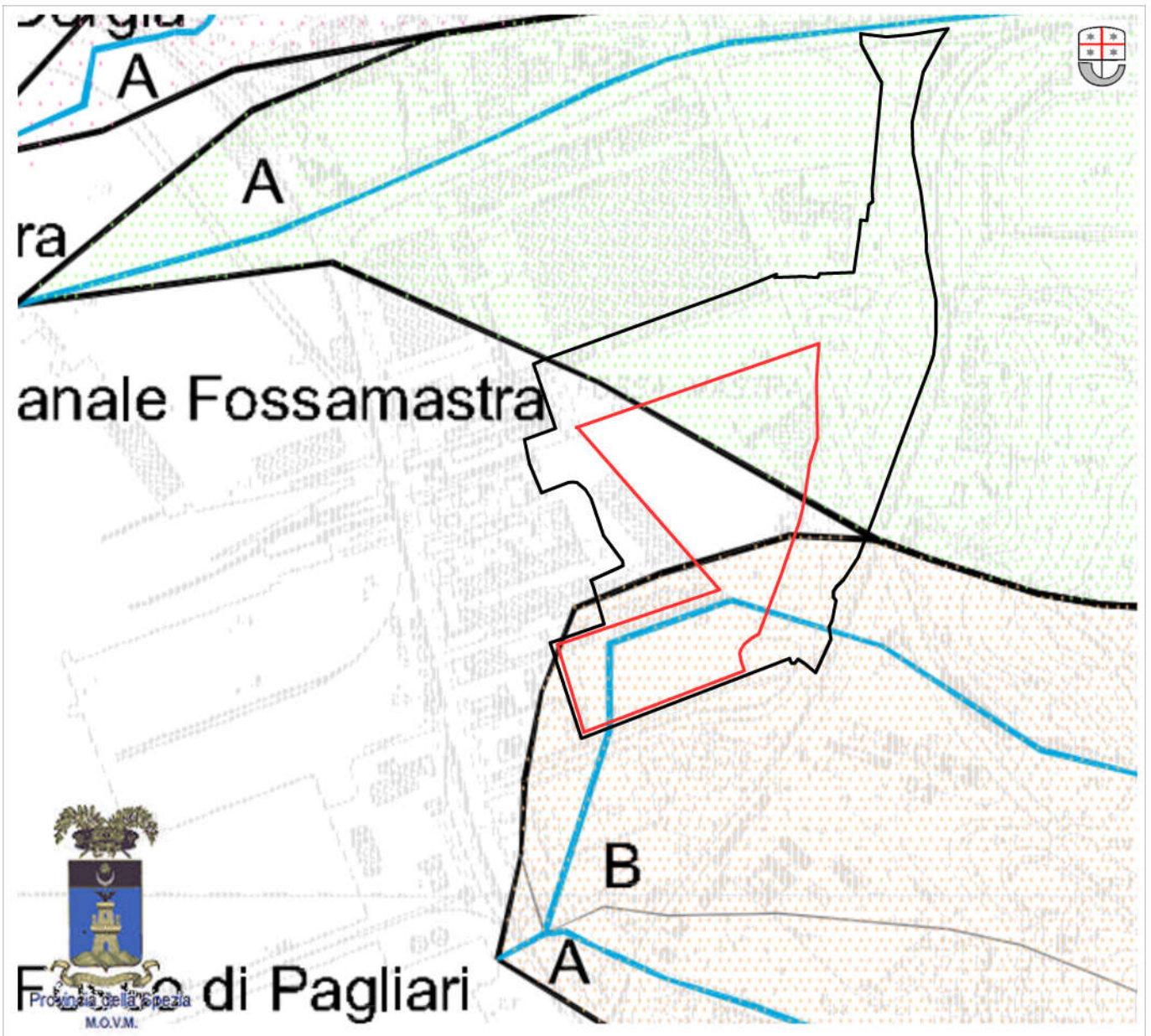
CARTA GEOMORFOLOGICA
SCALA 1:5000

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5


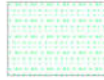





DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

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



LEGENDA

-  Bacino idrografico – FOSSO DI PAGLIARI
-  Bacino idrografico – CANALE FOSSAMAISTRA
-  Reticolo idrografico principale
-  Limite di bacino
-  Limite dei sottobacini

-  Perimetro distretto
-  Subdistretto API 5a

REGIONE LIGURIA
 PROVINCIA DELLA SPEZIA
 Piano di Bacino
 AMBITO 20

Tav. 5

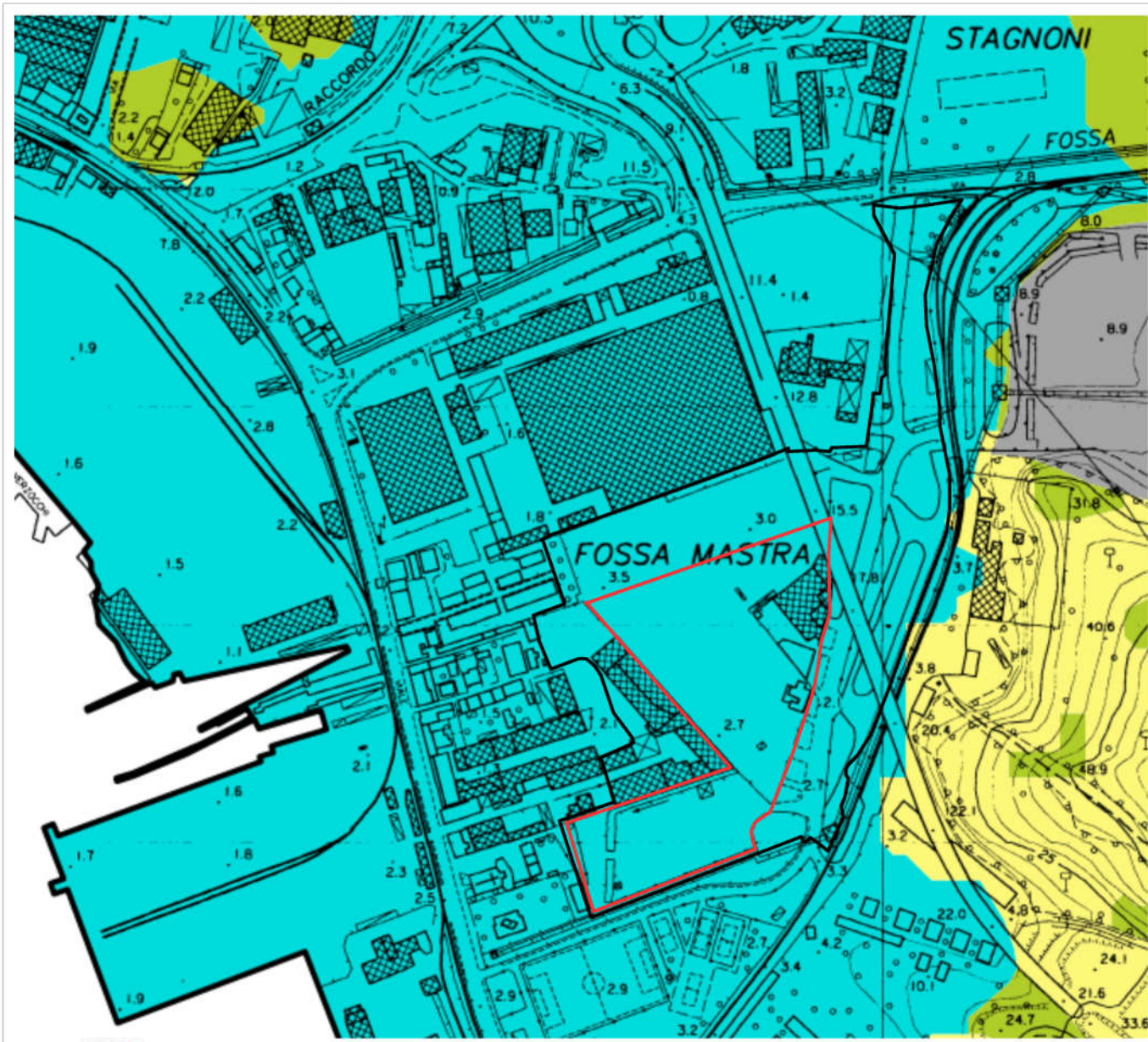
CARTA DEL RETICOLO
 IDROGRAFICO PRINCIPALE
 (limiti dei bacini e sottobacini)
 SCALA 1:5000

Progetto Urbanistico Operativo
 P.U.O.
 Distretto di trasformazione API 5



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
- S - Classe speciale: cave, discariche e grossi riporti
- Limite dell'Ambito di bacino

Perimetro distretto

Subdistretto API 5a

REGIONE LIGURIA
 PROVINCIA DELLA SPEZIA
 Piano di Bacino
 AMBITO 20

Tav. 6

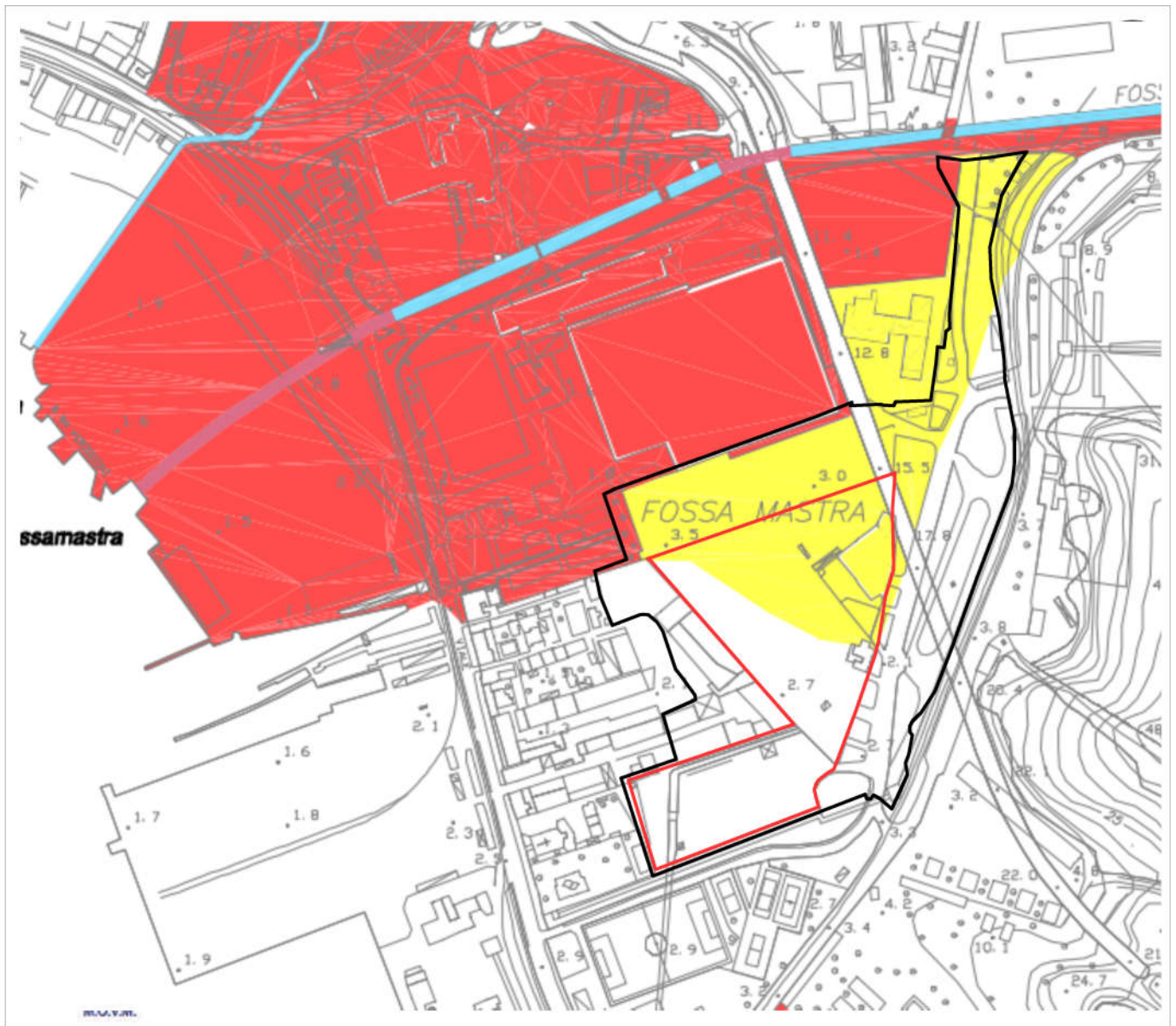
CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ
 AL DISSESTO
 SCALA 1:5000

Progetto Urbanistico Operativo
 P.U.O.
 Distretto di trasformazione API 5



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

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



LEGENDA



Fascia A*: aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente a periodo di ritorno T=50 anni, perimetrata a seguito di verifiche a carattere locale o ricadenti in aree storicamente inondate.



Fascia B*: aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni, perimetrata a seguito di verifiche a carattere locale o ricadenti in aree storicamente inondate.



Perimetro distretto



Subdistretto
API 5a

REGIONE LIGURIA
PROVINCIA DELLA SPEZIA
Piano di Bacino
AMBITO 20

Tav. 7

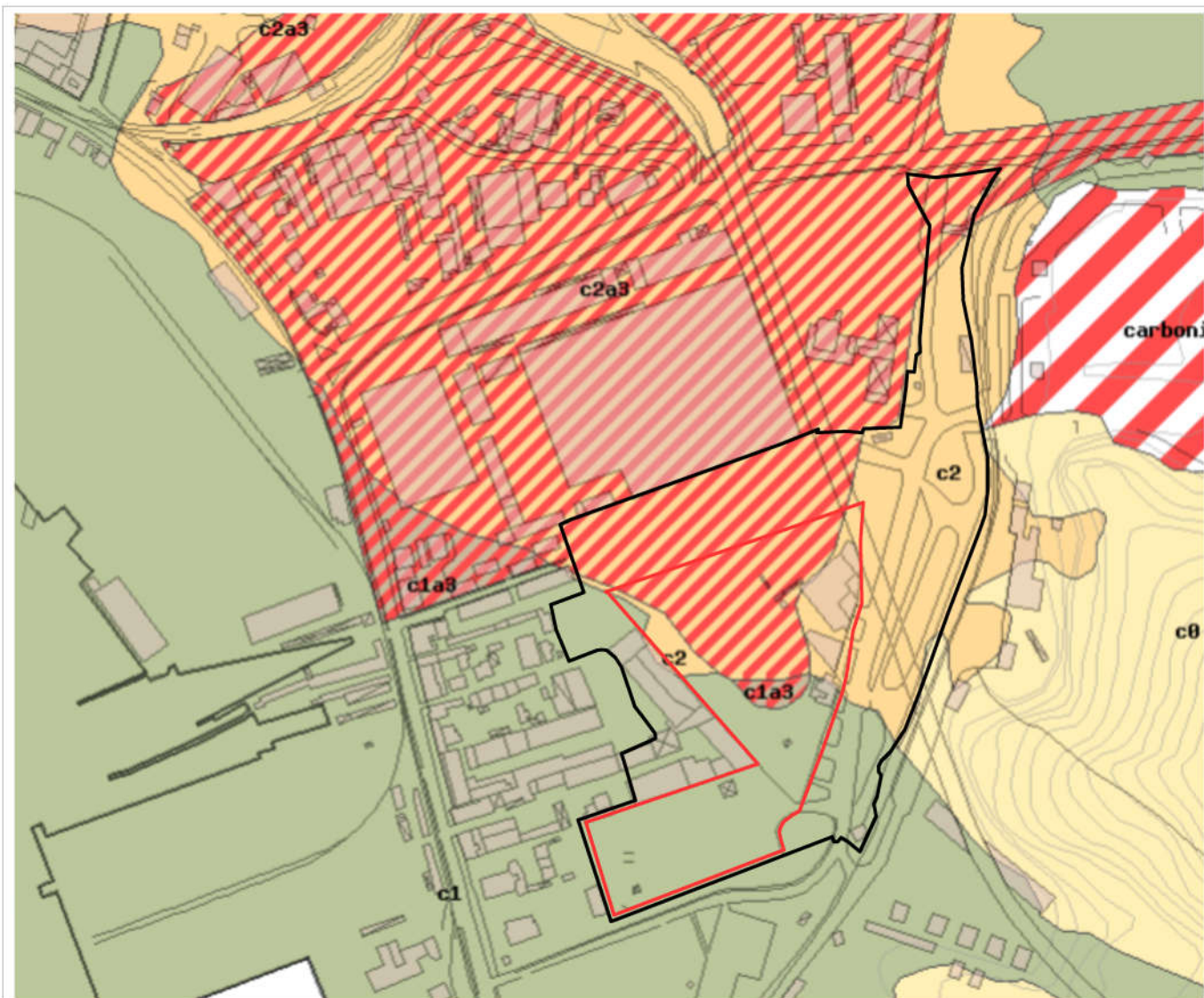
CARTA DELLE FASCE
INONDABILI
SCALA 1:5000

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5



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.
- C1a3** Ambito "a3": aree potenzialmente soggette a fenomeni di alluvionamento e/o ristagno.
- C2** C2: suscettibilità d'uso condizionata – aree con condizionamenti di ordine geologico in senso lato eliminabili con interventi di medio-alta difficoltà ed onerosità, previo accertamento della effettiva compatibilità generale.
- C2a3** Ambito "a3": aree potenzialmente soggette a fenomeni di alluvionamento e ristagno.

Perimetro distretto

Subdistretto API 5a

COMUNE DELLA SPEZIA
Piano Urbanistico
Comunale (2003)

Tav. 8

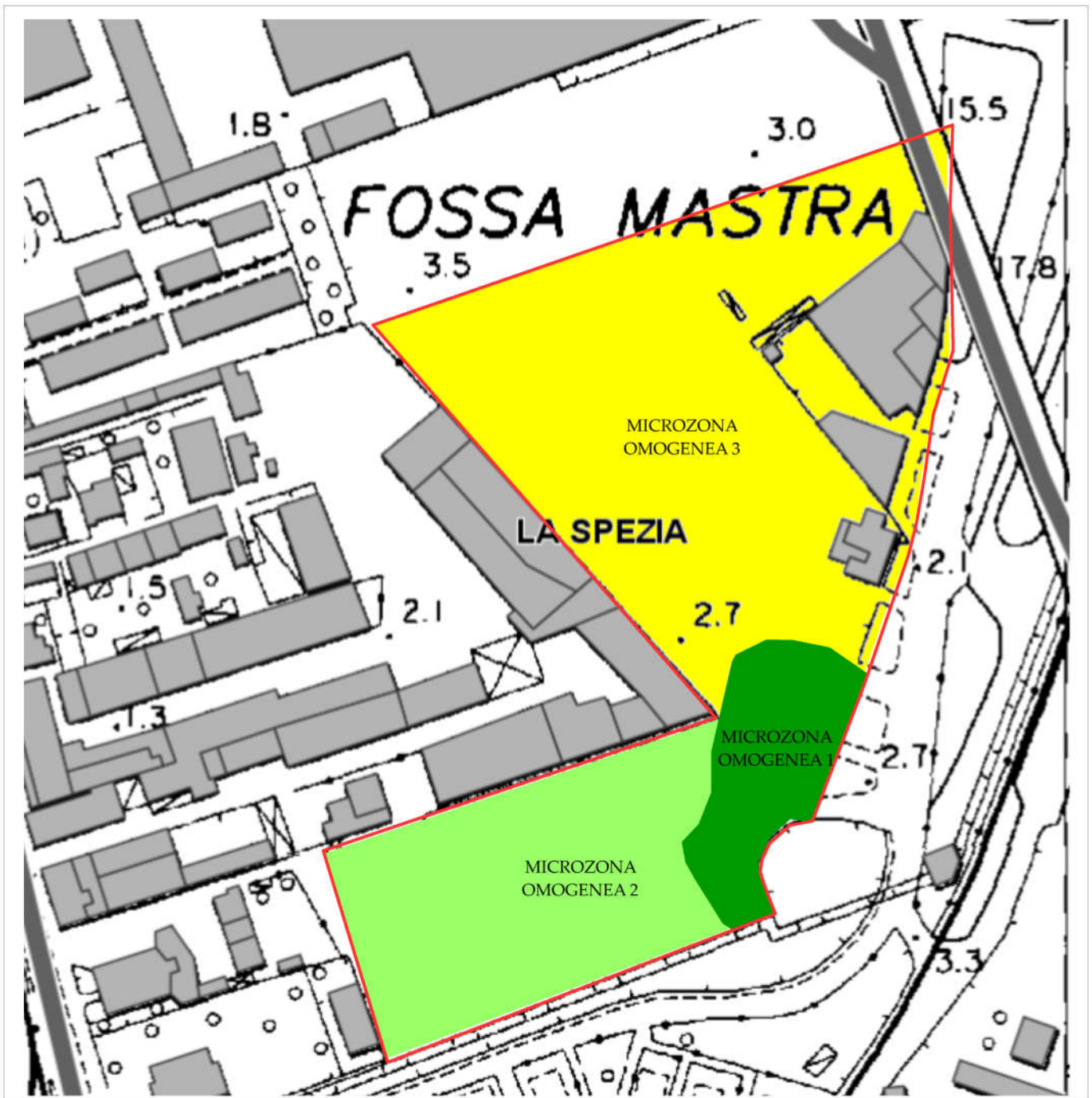
CARTA DI ZONIZZAZIONE E DI SUSCETTIBILITÀ D'USO DEL TERRITORIO SCALA 1:5000

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5



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

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



LEGENDA

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

FA 1.65
FV 1.37

Microzona omogenea 1:

- Profilo di velocità: lineare pendenza intermedia
- V_{SH} 400 m/s
- Tipo di terreno: ghiaia
- H: 25m

FA 1.34
FV 2.10

Microzona omogenea 2:

- Profilo di velocità: lineare pendenza intermedia
- V_{SH} 300 m/s
- Tipo di terreno: sabbia
- H: 50m

FA 1.67
FV 2.17

Microzona omogenea 3:

- Profilo di velocità: lineare pendenza intermedia
- V_{SH} 300 m/s
- Tipo di terreno: argilla
- H: 50m

Tav. 9

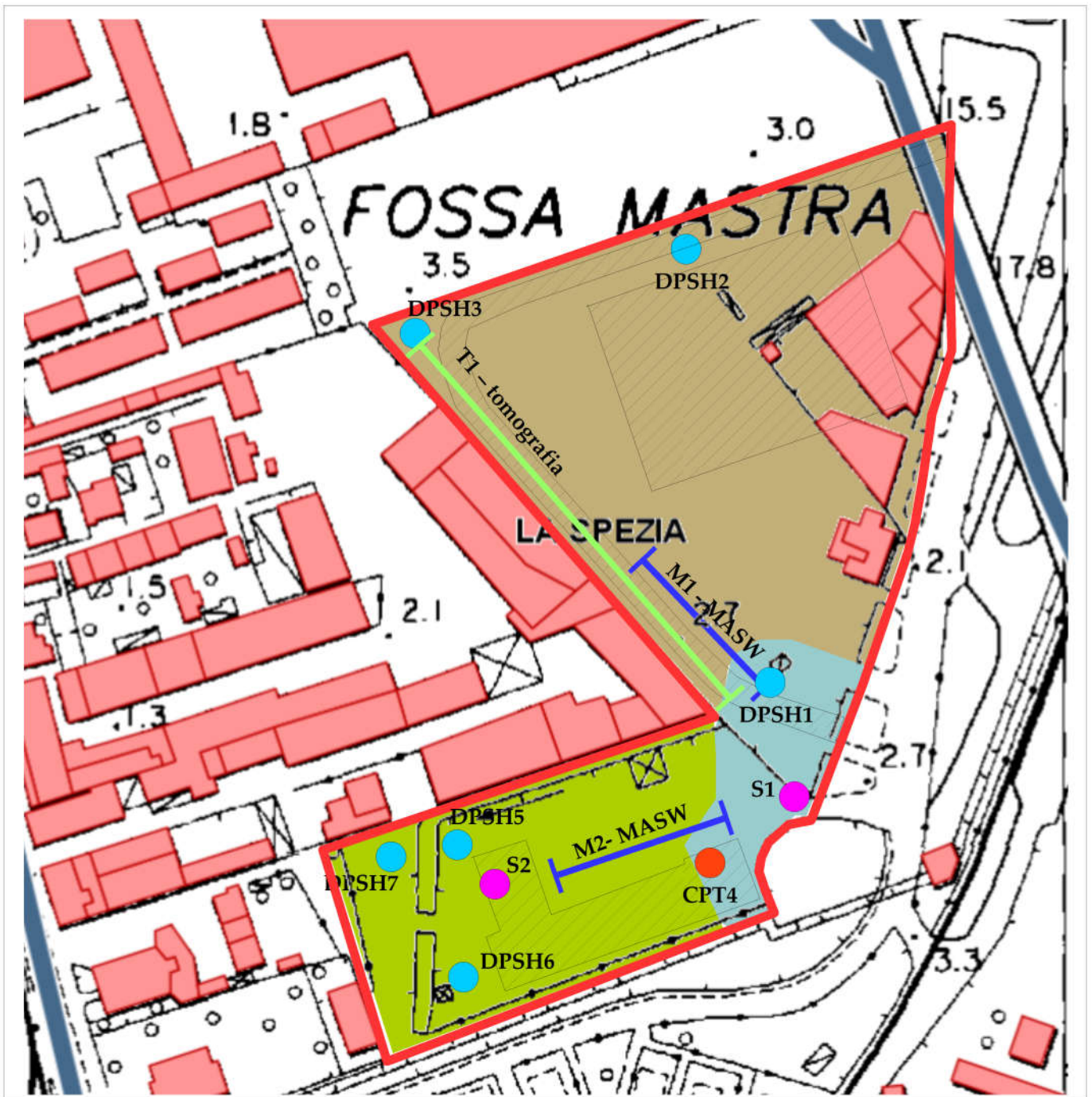
CARTA DI MICROZONAZIONE
SISMICA
SCALA 1:2000

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5










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

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



LEGENDA

-  Sondaggi a carotaggio continuo S1 - S2
-  Prove penetrometriche dinamiche DPSH
-  Prove penetrometriche statiche CPT
-  Tomografia sismica T1
-  Stese sismiche tipo MASW
-  Subdistretto API 5a
-  Stato di progetto

Tav. 10

CARTA DI ANALISI
SCALA 1:2000

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5



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

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

CARTA DI ANALISI

LEGENDA



ULT "F.s4-5.t4"

Litologia prevalente: limi e argille da poco a moderatamente consistenti con presenza di materiale torboso.



ULT "F.s3-4.t4" "E3.a2-3.t1"

Litologia prevalente: limi e argille da moderatamente consistenti a consistenti con presenza di materiale torboso e sabbie da poco a moderatamente addensate con presenza di frammenti di dimensioni maggiori.



ULT "E2.a2" "B3.r5"

Litologia prevalente: ghiaie moderatamente addensate e rocce stratificate costituite da alternanze ordinate di livelli lapidei e livelli pelitici.

Classificazione dell'ammasso: roccia debole.

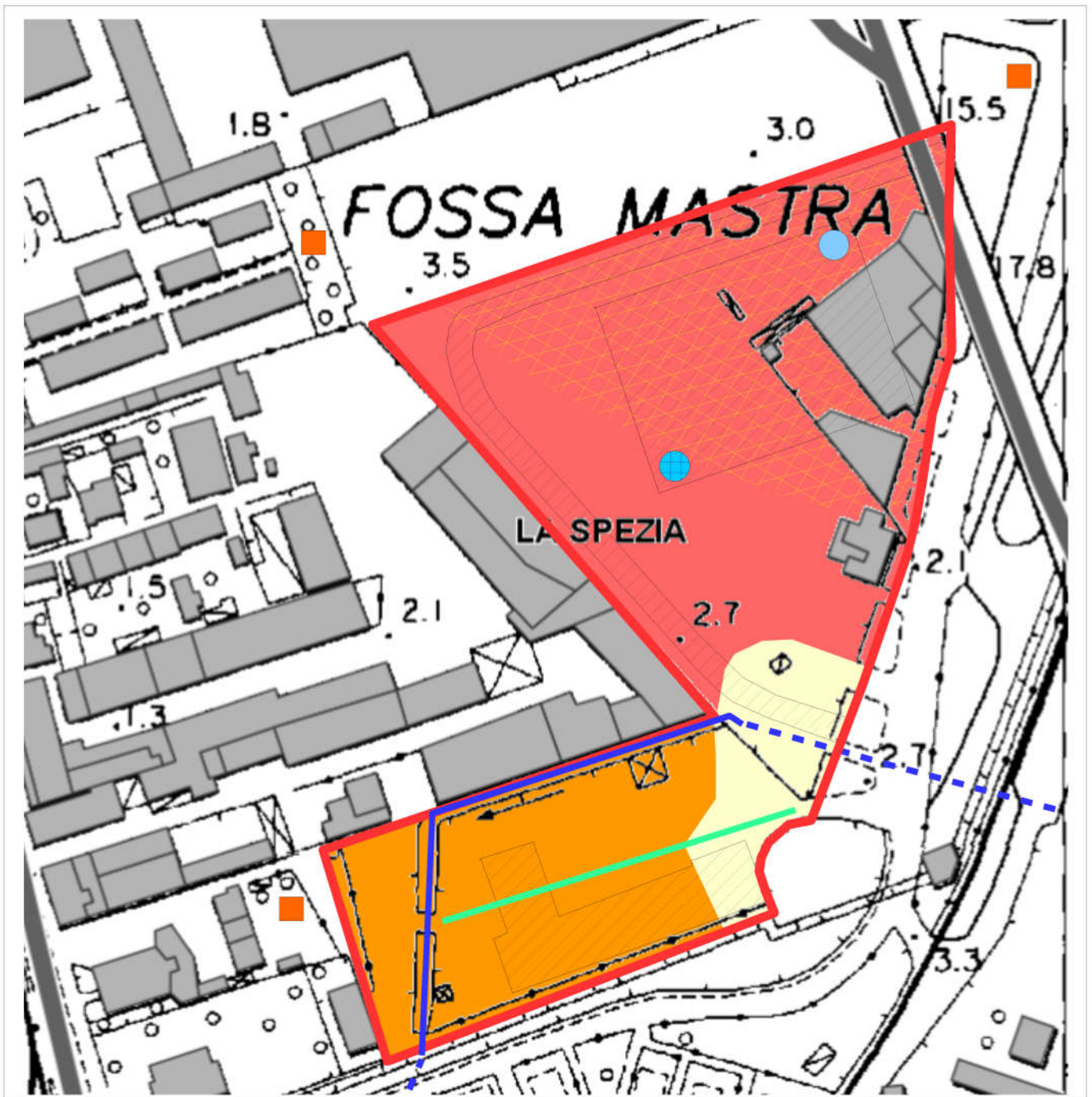
**Tav.
10/bis**

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5




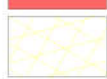



DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA


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




LEGENDA

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

 Sondaggi geotecnici a carotaggio continuo, adibiti a piezometri e down-hole.

 Tomografie sismiche onde P/S

 HVSr

 Reticolo idrografico superficiale (linea tratteggiata: tratti intubati; linea continua: tratti a cielo aperto - Relazione Idraulica)



Tav. 11

CARTA DI SINTESI
SCALA 1:2000

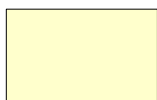
Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5



DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI
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 di raccordo tra la collina e la pianura, caratterizzata da una copertura sedimentaria di spessore dell'ordine di circa 10 m costituita da depositi lagunari, posta su breccie tettoniche quarzitiche e filladiche alterate da processi idrotermali seguite da un substrato appartenente al basamento triassico fortemente alterato e fratturato a profondità maggiori di 26 metri (ULT "E2.a2" "B3.r5")
- circolazione idrica profonda, probabilmente idrotermale, per fessurazione e fratturazione dell'ammasso con un livello freatico superficiale posto a circa -2 m da p.c.;



AREA "B"

- 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 depositi lagunari (alternanze di limi e argille, da moderatamente consistenti a consistenti con presenza di materiale torboso, e sabbie da poco a moderatamente addensate con presenza di frammenti di dimensioni maggiori) con spessori maggiori di 30 m, interessati da un sistema multifalda (ULT "F.s3-4.t4" "E3.a2-3.t1");
- circolazione idrica profonda, con falde artesiane e sospese, con locali contrasti di permeabilità;
- probabile aggressività delle acque sotterranee per composizione solfato-calcica (da valutare in fase di monitoraggio);
- portanza dei terreni superficiali bassa, con possibili fenomeni geotecnici legati a disomogeneità laterali e alla presenza di falda artesiane;
- possibilità di liquefazione per granulometrie dei depositi saturi comprese nei fusi granulometrici riportati dalla normativa (NTC 2018);
- presenza di una fascia di rispetto del reticolo idrografico;
- classificazione del suolo di fondazione secondo le NTC 2018: categoria C.



AREA "C"

AREA "C"/ FASCIA "b"

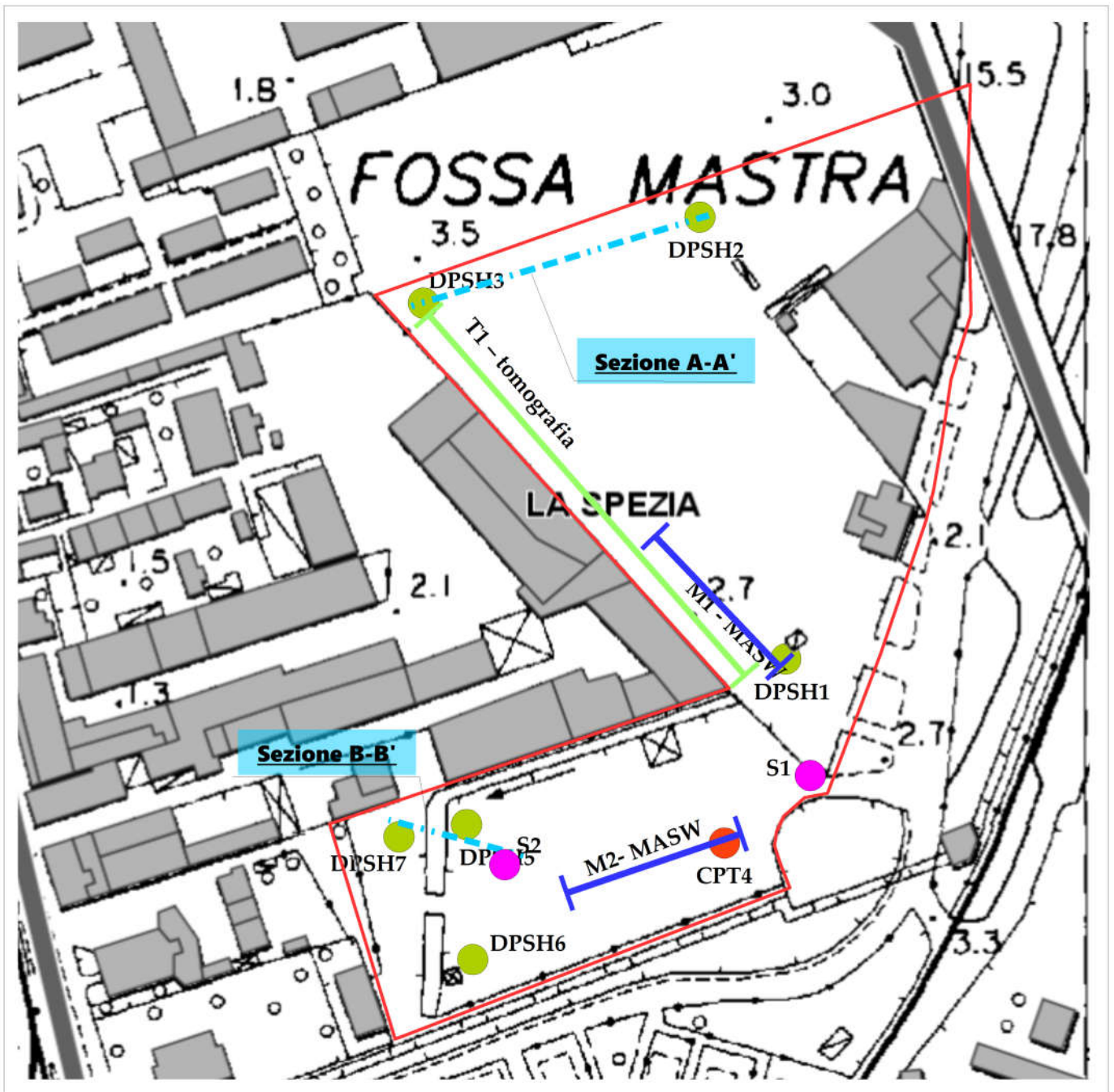


- zona a molto bassa suscettività al dissesto, in cui l'uso del territorio è condizionato in senso geologico da elementi eliminabili con interventi di medio-alta difficoltà ed onerosità;
- area pianeggiante costituita in prevalenza da limi e argille da poco a moderatamente consistenti con presenza di materiale torboso (ULT "F.s4-5.t4")
- circolazione idrica profonda, con falde artesiane e sospese, con locali contrasti di permeabilità;
- probabile aggressività delle acque sotterranee per composizione solfato-calcica (da valutare in fase di monitoraggio);
- portanza dei terreni superficiali bassa, con possibili fenomeni geotecnici legati a disomogeneità laterali, alla presenza di falda artesiane;
- classificazione del suolo di fondazione secondo le NTC 2018: categoria C;
- presenza di un'area perfluviale inondabile al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni, perimetrate a seguito di verifiche a carattere locale o ricadenti in aree storicamente inondate (FASCIA b).

**Tav.
11/bis**

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5





LEGENDA

- Sondaggi a carotaggio continuo S1 - S2
- Prove penetrometriche dinamiche DPSH
- Prove penetrometriche statiche CPT
- Tomografia sismica T1
- Stese sismiche tipo MASW
- - - Sezioni geologiche interpretative

Tav. 12

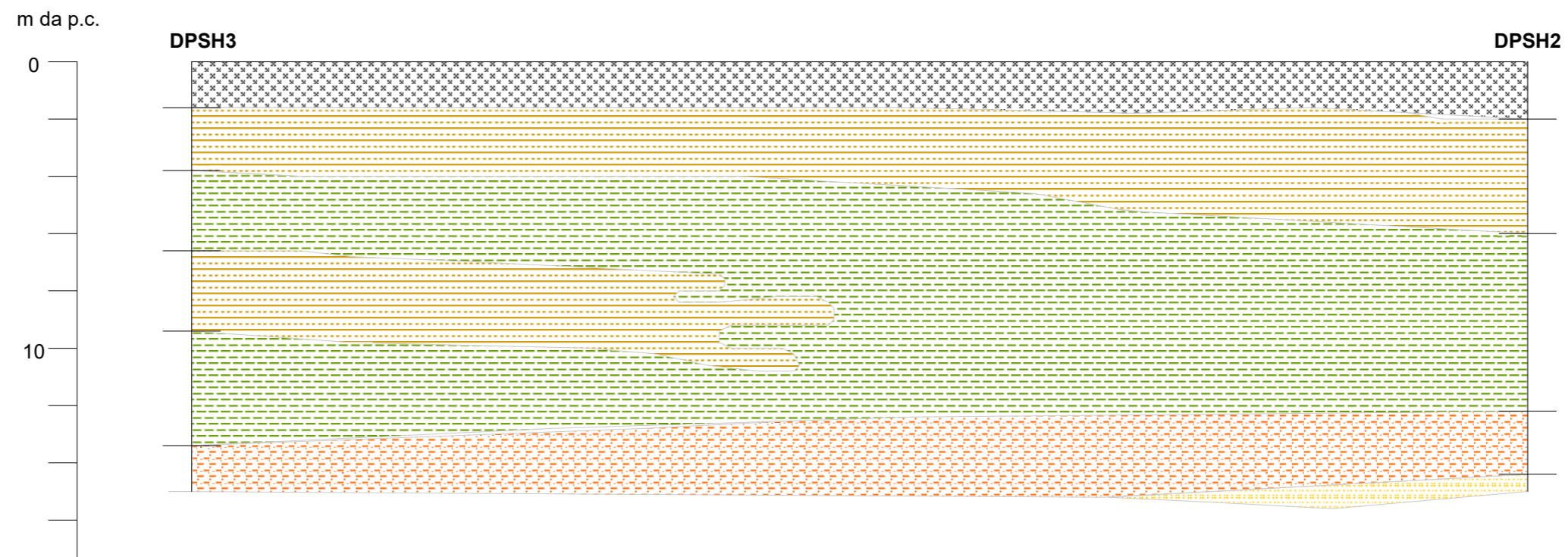
**COROGRAFIA CON UBICAZIONE
DELLE SEZIONI GEOLOGICHE
INTERPRETATIVE SCALA 1:2000**

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5



DOTT. GEOL. CHIARA NOGHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

VIALE ITALIA SNG
0/0 GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA - A-A' (SCALA ORIZZONTALE 1:400 - SCALA VERTICALE 1:200)

LEGENDA



Asfalto e Terreno di riporto



Limi argillosi debolmente sabbiosi



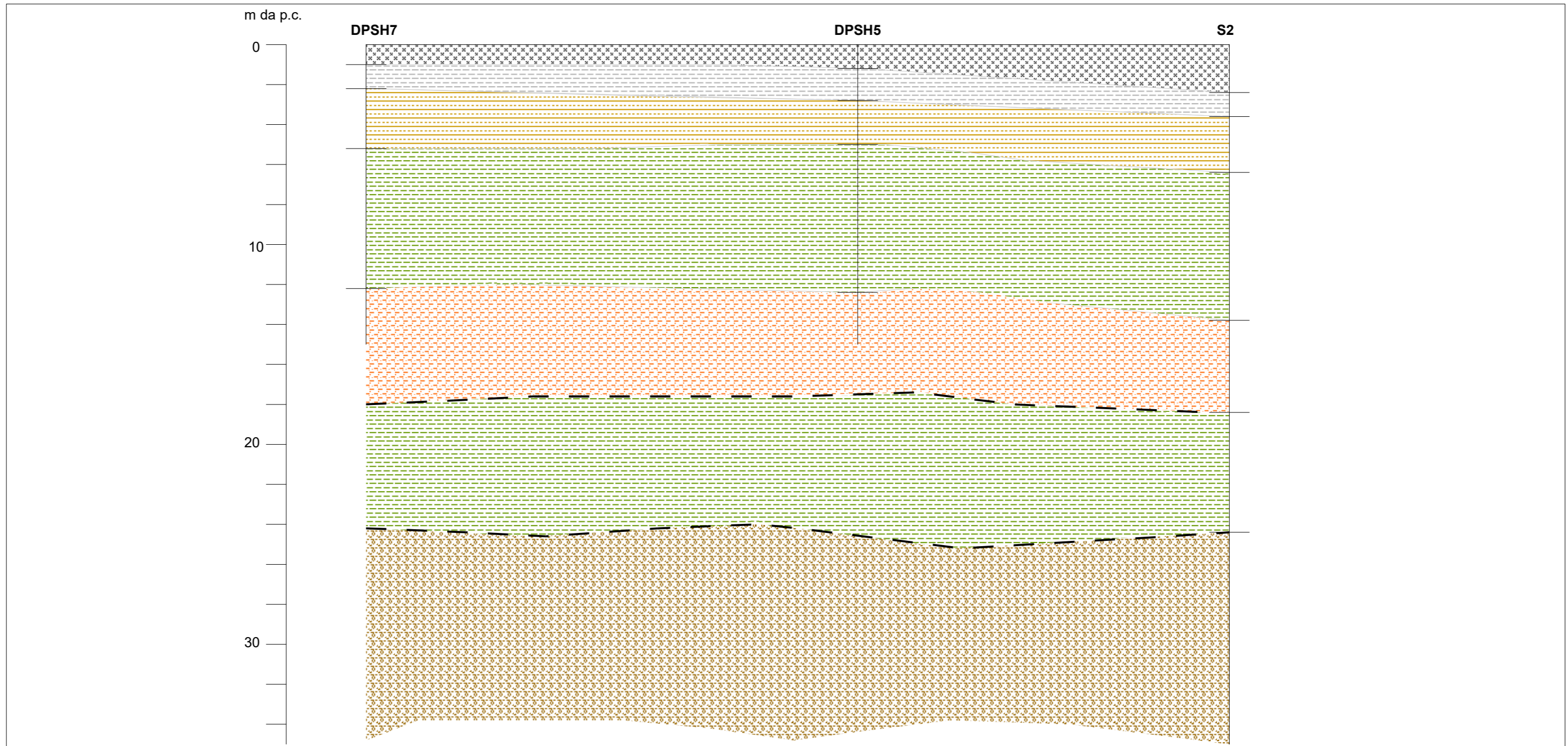
Limi argillosi e limi sabbiosi



Limi con sabbie



Sabbie limose



SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA – B-B' (SCALA 1:200)

LEGENDA



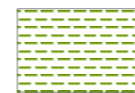
Asfalto e Terreno di riporto



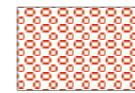
Limi e limi sabbiosi



Sabbie e sabbie limose con elementi ghiaiosi



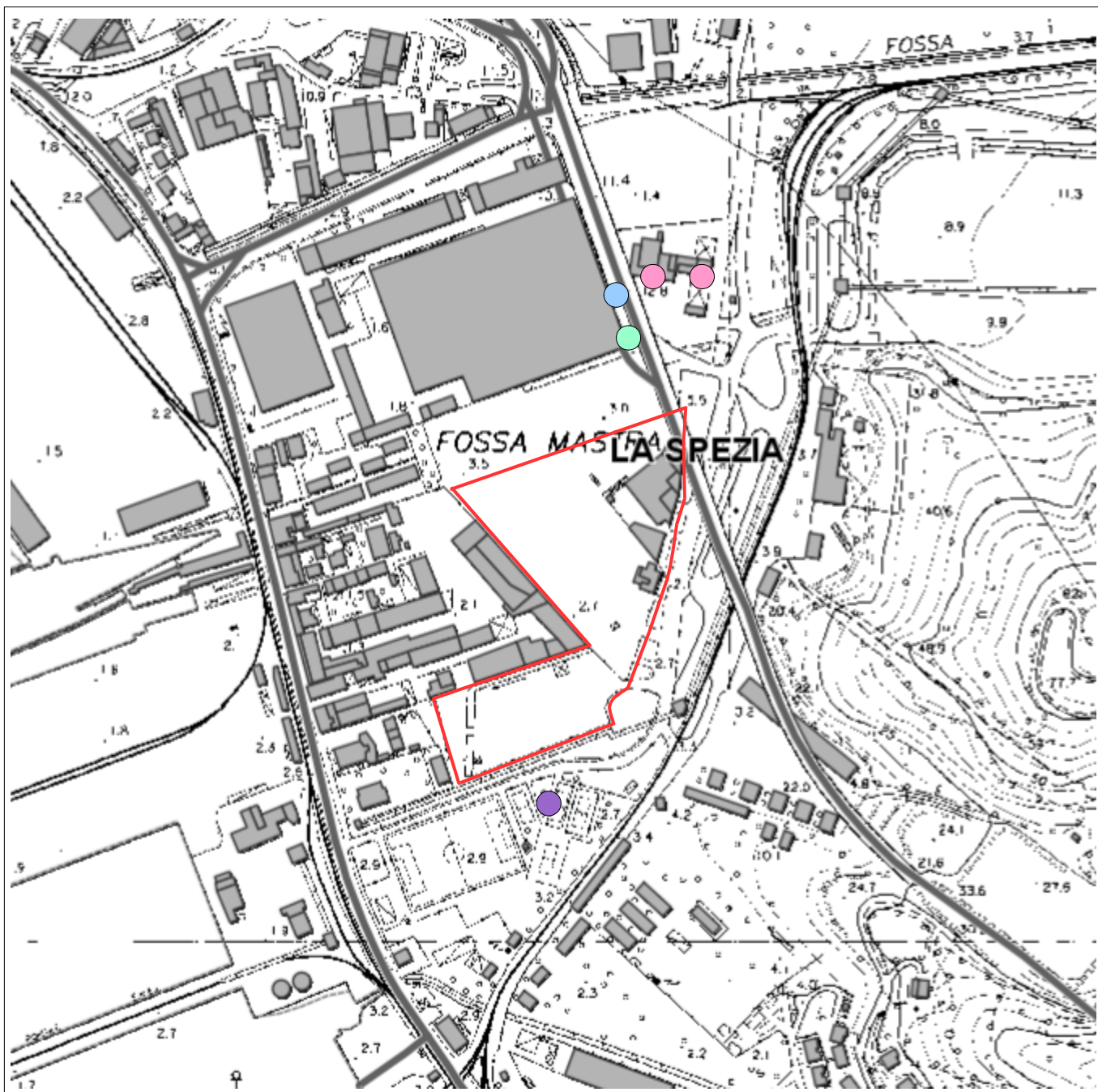
Limi sabbiosi e limi argillosi con livelli torbosi e frammenti conchiliari



Sabbie limose, sabbie medio-fni con passate grossolane con ghiaie quarzitiche a clasti arrotondati ed alterati



Alternanze di sabbia con ghiaie e limi sabbiosi, debolmente argillosi, di colore marrone rossastro.



LEGENDA

- Sondaggi a carotaggio continuo **S1 - S2** ubicati nell'area della Caserma dei Vigili del Fuoco spinti alla profondità di 25 metri.
- Sondaggio a carotaggio continuo **S2D** sito nell'area della Darsena di Pagliari , eseguito nell'ambito del progetto di realizzazione del capannone, spinto alla profondità di 32 m.
- Sondaggio a carotaggio continuo **SB1** sito nelle immediate vicinanze del raccordo autostradale spinto alla profondità di 40 m.
- Sondaggio a carotaggio continuo **S1bis**, sito nelle immediate vicinanze del raccordo autostradale spinto alla profondità di 50 m.

Tav. 15

Planimetria generale con ubicazione
dei sondaggi geognostici esistenti
nell'intorno dell'area di indagine
Scala 1:5000

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5



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

VIALE ITALIA S/N
6/D GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



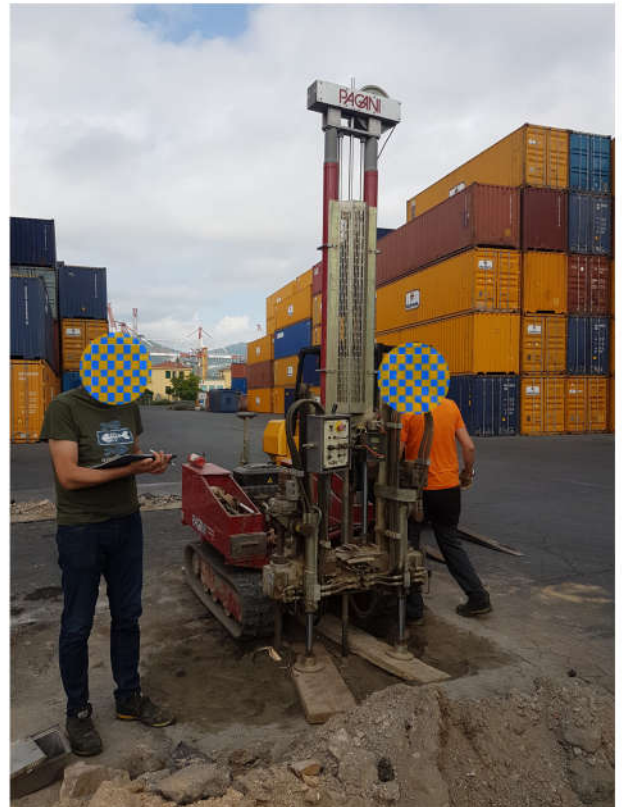
DPSH 1



DPSH 2



DPSH 3



CPT 4



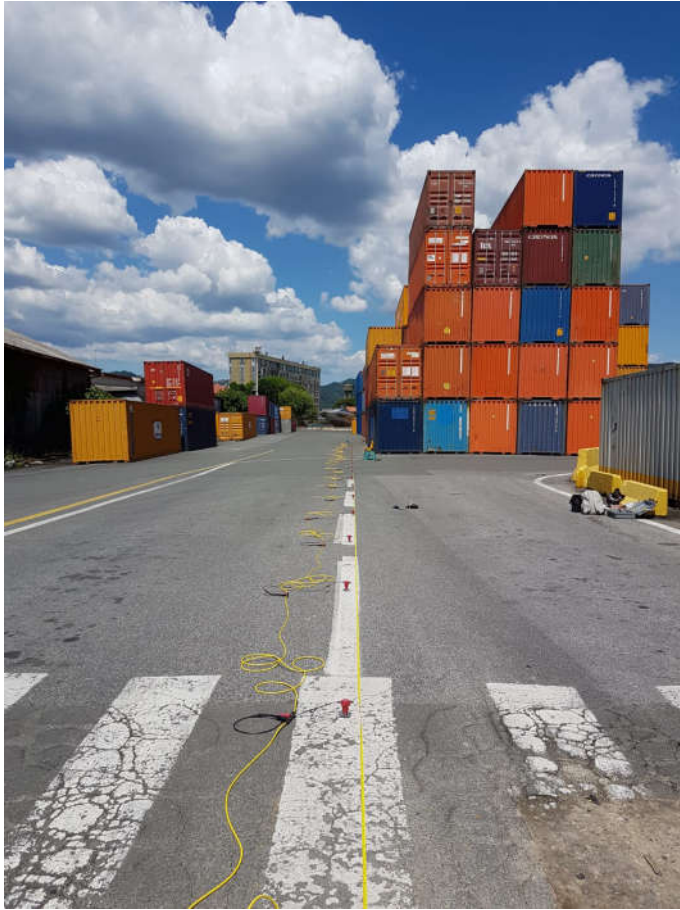
DPSH 5



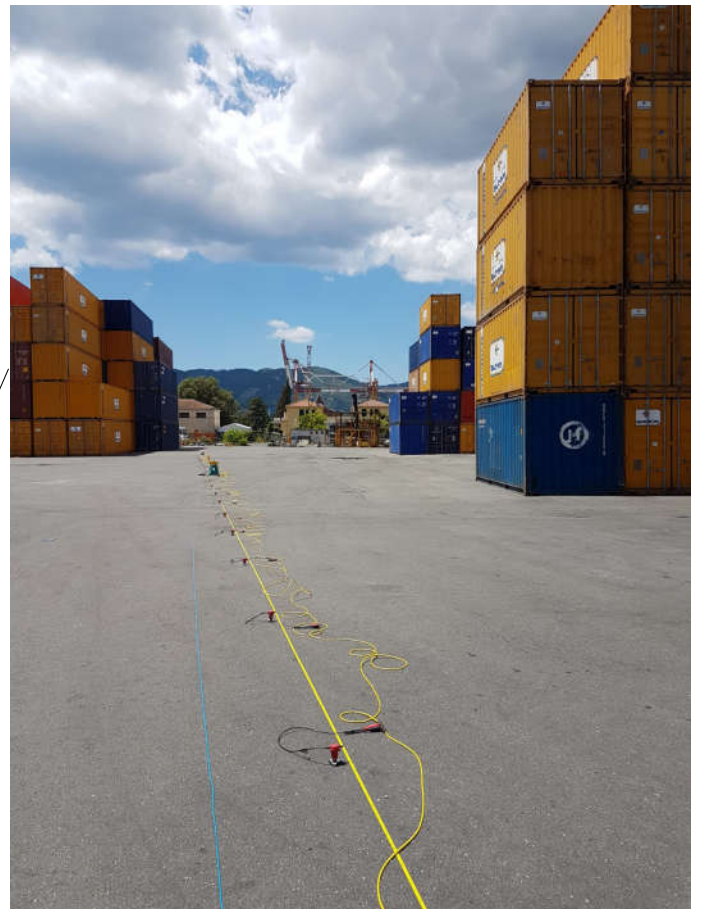
DPSH 6



DPSH 7



STESA SISMICA M1
(tipo MASW) – 24 canali
Interasse geofoni: 2,5 m



STESA SISMICA M2
(tipo MASW) – 24 canali
Interasse geofoni: 2,5 m

DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI

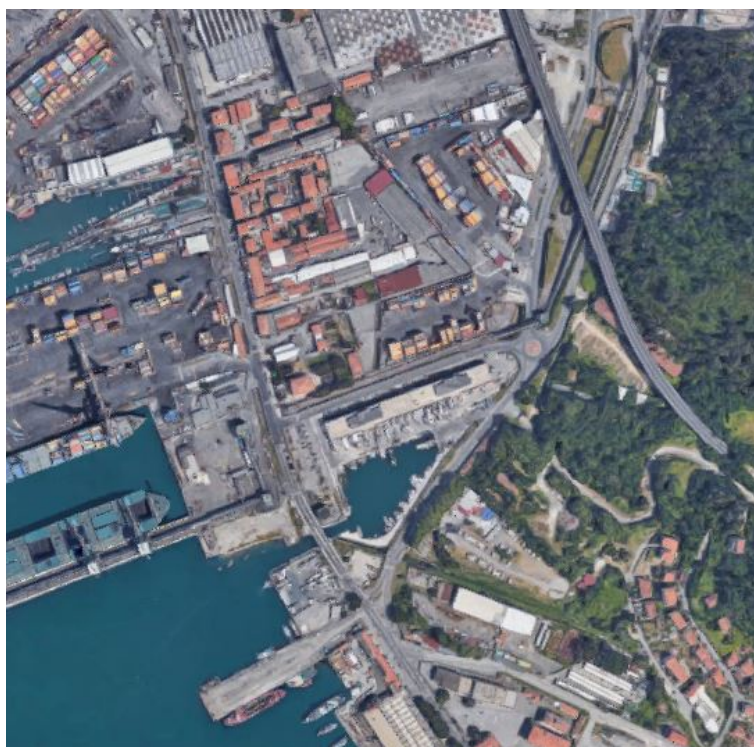
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

ALLEGATO 1

Data: settembre 2018

Committente: TARROS spa – GF srl – NORA spa

**Sondaggi Geognostici
a carotaggio continuo**



Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]

RACCOLTA CERTIFICATI DI PROVA

Dal n°240/2018 al 241/2018
emessi ad Arezzo il 24-9-2018

Intestatario certificati: **Nora s.p.a.**

Conferma ordine n°52/18CO del 11-9-2018

Categoria: **Sondaggi geognostici**

Cantiere: **Deposito Containers Tarros Loc. Fossamastra – La Spezia**

Sigla Commessa: **52/18**

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°4 fogli esclusa la copertina

Il Responsabile di sito
Geol. D. Senesi

Il Direttore del Laboratorio
Ing. M. Goretti

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

Cantiere: Area dep. container Tarros Loc. Fossamastra - La Spezia

Committente: Nora s.p.a.

Data inizio perforazione: 12-9-2018

Data fine perforazione: 17-9-2018

Sondaggio: S1

Richiedente: Geol. C. Nocchi

Lunghezza (m): 35.0 m

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	
3.1			Pavimentazione stradale Elementi litoidi eterogenei, eterometrici Dmax>10 cm, in matrice limoso-sabbiosa biancastra ed avana (Terreno di riporto)											
5.3			Torba frammistata a limo sabbioso con resti lignei nerastra e marrone scura, con passaggi centim. di limo argilloso, con passaggi di ghiaia nella parte bassa			100				24				
9.3			Ghiaia eterometrica con ciottoli con clasti preval. quarziticici spesso molto alterati e degradati Dmax>10 cm, Dmed 4-5 cm in matrice limoso-sabbiosa, avana e marrone-ocra, talvolta abbondante (clasti 60-90%)	c.i.	SPT 7.0 m 17-19-26									
13.0			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti preval. quarziticici, angolari e subangolari, Dmax>10 cm, Dmed 3-4 cm, spesso alterati, in abbondante matrice limoso-argillosa e limoso-sabbiosa marrone-rossastra e marrone-ocra, a tratti prevalente (clasti 30-80%)	SPT c.d.	10.2 m 12-26-20									
19.5			Ghiaia eterometrica con ciottoli , con clasti preval. quarziticici, spesso alterati e degradati, angolari, Dmax>10 cm, Dmed 3-4 cm, in matrice limoso-sabbiosa biancastra ed avana, raramente abbondante (clasti 60-90%)	c.i.	SPT 18.0 m 26-27-22									
			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti preval. quarziticici, subangolari, Dmax>10 cm, Dmed 3 cm, in matrice limoso-sabbiosa, spesso abbondante talvolta prevalente (clasti 30-80%)											

Diametro perforazione (mm): 101

Diametro rivestimenti (mm): 127

Macchina perforatrice: Comacchio MC900

Metodo di perforazione: aste e carotiere

Responsabile di sito: Geol. D. Senesi

Note: al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto con diametro pari ad 80 mm, condizionato come nello schema riportato

Direttore laboratorio: Ing. M. Goretti

n° pagine certificato: 2

Pagina 1

Sondaggio: S1

Cantiere: Area dep. container Tarros Loc. Fossamastra - La Spezia

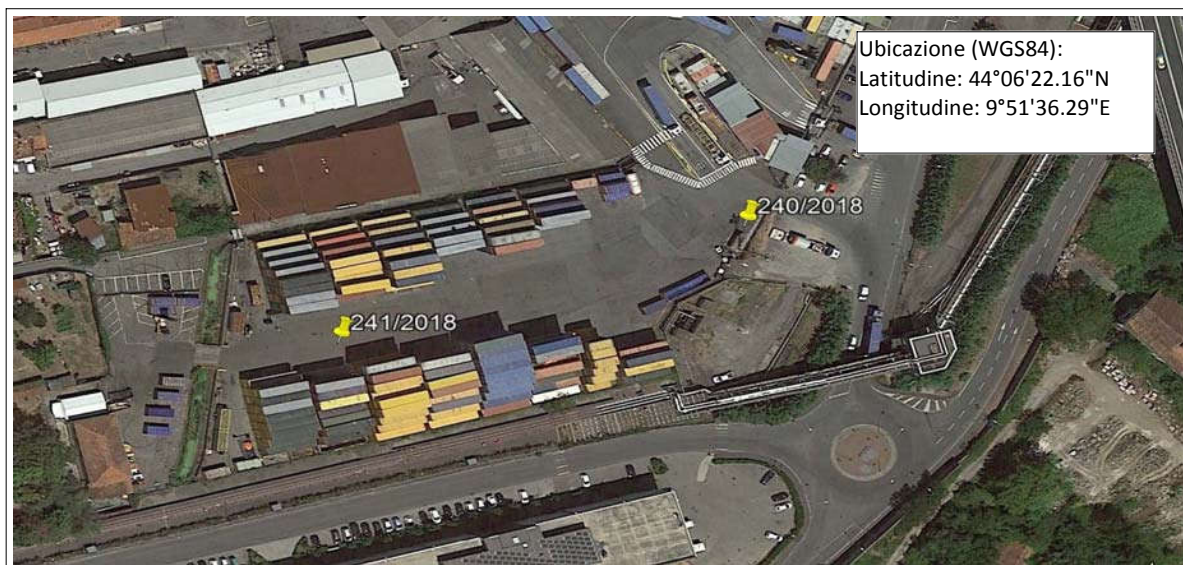
Richiedente: Geol. C. Nocchi

Committente: Nora s.p.a.

Lunghezza (m): 35.0 m

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

Profondità (m)	Quota (m.s.l.m.)	Litologia	Descrizione litologica	Campioni	S.P.T.	Pocket Penetrometer (KPa)				Pocket Vane Test (KPa)				Piezometro
						100	200	300	400	50	100	150	200	
25.9														
28.0			Quarziti , in strati disarticolati ed in elementi eterometrici, molto alterate e degradate frammiste a filladi destrutturate, marrone-ocra											
30.7			Quarziti , in strati disarticolati ed in elementi eterometrici degradate, marrone scure e marroni											
35.0			Filladi , rossastre e grigio chiare, a tratti di aspetto scaglioso piu' frequentemente destrutturate, degradate, intercalate a quarziti in strati sottili spesso disarticolate											



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

Cantiere: Area dep. container Tarros Loc. Fossamastra - La Spezia

Committente: Nora s.p.a.

Data inizio perforazione: 18-9-2018

Data fine perforazione: 20-9-2018

Sondaggio: S2

Richiedente: Geol. C. Nocchi

Lunghezza (m): 35.0 m

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	
2.4			Pavimentazione stradale Elementi litoidi eterogenei, eterometrici Dmax>10 cm, in matrice limoso-sabbiosa biancastra ed avana (Terreno di riporto)											
3.6			Limo con sabbia argillosa torbosa , con rari resti antropici nella parte alta e minuti frammenti conchiliari (Terreno di riporto?)											
6.3			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti eterogenei sia arrotondati che subangolari, Dmax>10 cm, Dmed 2-3 cm, in scarsa matrice sabbioso-limosa grigia (clasti 80-90%)											
7.1			Limo sabbioso argilloso con resti torbosi e vegetali , marrone scuro, con passaggi centim. di sabbie organogene avana											
8.8			Sabbie organogene avana											
11.1			Sabbia medio-fine e fine limosa e con limo , grigia, nella parte bassa passaggi centim. di limo argilloso nerastro											
11.1			Limo con argilla ed argillosa debolm. torboso, debil., sabbioso e sabbioso, con rari resti torbosi, grigio											
11.1			Argilla con limo grigia e verdastra. Passaggio (12.8-13.2) torboso organogeno											
13.7			Sabbia medio-fine leggermente cementata marrone											
14.9			Limo argilloso sabbioso avana. Passaggio (14.3-14.5 m) di argilla con limo											
17.7			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti preval. quarzitici, arrotondati, spesso alterati, Dmax>10 cm, Dmed 2-3 cm, in matrice limoso-sabbiosa e limoso-argillosa, marrone-ocra, spesso abbondante talvolta prevalente (clasti 30-80%). Passaggi di limo con argilla (15.5-15.6; 16.1-16.2 m)											
18.3			Sabbia medio-fine con limo marrone-ocra, avana e grigia											
20.0			Limo con argilla ed argilloso organico debolm. torboso, con rari e minuti frammenti conchiliari, grigio scura											
20.6			Limo sabbioso debolm. argilloso con abbond. e minuti frammenti conchiliari											
21.5			Sabbia fine limosa grigio-nerastra											

Diametro perforazione (mm): 101

Diametro rivestimenti (mm): 127

Macchina perforatrice: Comacchio MC900

Metodo di perforazione: aste e carotiere

Responsabile di sito: Geol. D. Senesi

Note: al termine della perforazione il foro di sondaggio è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto con diametro pari ad 80 mm, condizionato come nello schema riportato

Direttore laboratorio: Ing. M. Goretti

n° pagine certificato: 2

Pagina 1

Sondaggio: S2

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

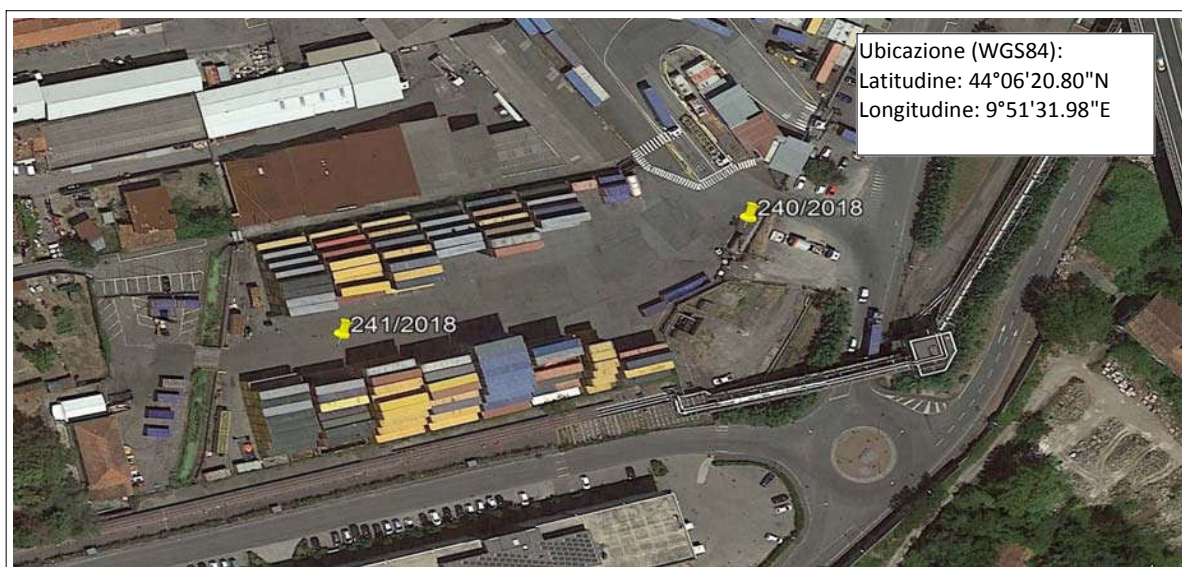
Cantiere: Area dep. container Tarros Loc. Fossamastra - La Spezia

Richiedente: Geol. C. Nocchi

Committente: Nora s.p.a.

Lunghezza (m): 35.0 m

Profondità (m)	Quota (m.s.l.m.)	Litologia	Descrizione litologica	Campioni	S.P.T.	Pocket Penetrometer (KPa)				Pocket Vane Test (KPa)				Piezometro
						100	200	300	400	50	100	150	200	
23.3			Limo argilloso e con argilla debolm. sabbioso e sabbioso, grigio chiaro, con passaggio di argilla con limo (22.1-22.4m)						350				164	
24.3							190				84			
25.1			Argilla con limo , a tratti organica, grigia e grigio-nerastra											
26.1			Sabbia medio-fine con limo grigio chiara ed avana					290					136	
26.7			Ghiaia medio-fine con calsti Dmed 2-3 cm, in abbond. matrice sabbioso-limosa grigio chiara ed avana (clasti 60-80%).					280					128	
27.3			Passaggio (25.7-25.9 m) di limo sabbioso											
			Limo argilloso, sabbioso nella parte alta , marrone-ocra											
29.0			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, clasti preval. quarziticci, subarrotond. Dmax10 cm, Dmed 3 cm, in abbondante matrice limoso-argillosa, spesso prevalente (clasti 20-80%)					170					88	
30.1														
			Limo con argilla debolm. sabbioso marrone-rossastro											
31.5			Limo sabbioso e con sabbia ghiaioso marrone-rossastro, clasti Dmed 2 cm (clasti10-40%)					230					108	
31.9								200					96	
			Limo con argilla debolm. ghiaioso fine, marrone-rossastro											
33.0			Ghiaia eterom. clasti Dmed 2 cm in abbond. matrice limoso-sabbiosa (clasti 50-60%)											
33.9								220					104	
			Limo argilloso e con argilla, sabbioso parte alta											
35.0			Ghiaia eterom. con clasti Dmed 3 cm, in abbond. matrice limoso-sabbiosa spesso preval. (clasti 30-60%)					230					116	
			Limo argilloso debolm. sabbioso e sabbioso, marrone-											



Documentazione fotografica



Sondaggio S1



Sondaggio S2



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



S1 c5 20.0 m – 25.0 m



S1 c6 25.0 m – 30.0 m



S1 c7 30.0 m – 35.0 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



S2 c5 20.0 m – 25.0 m



S2 c6 25.0 m – 30.0 m



S2 c7 30.0 m – 35.0 m

DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI

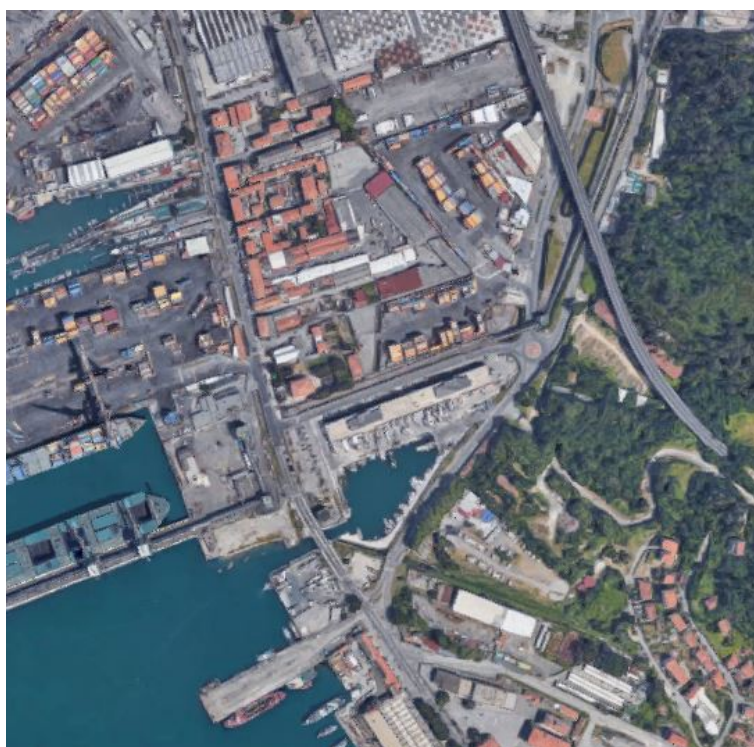
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

ALLEGATO 2

Data: 12 giugno 2018

Committente: TARROS spa – GF srl – NORA spa

**Prove Penetrometriche Dinamiche/Statiche
DPSH – CPT**



Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

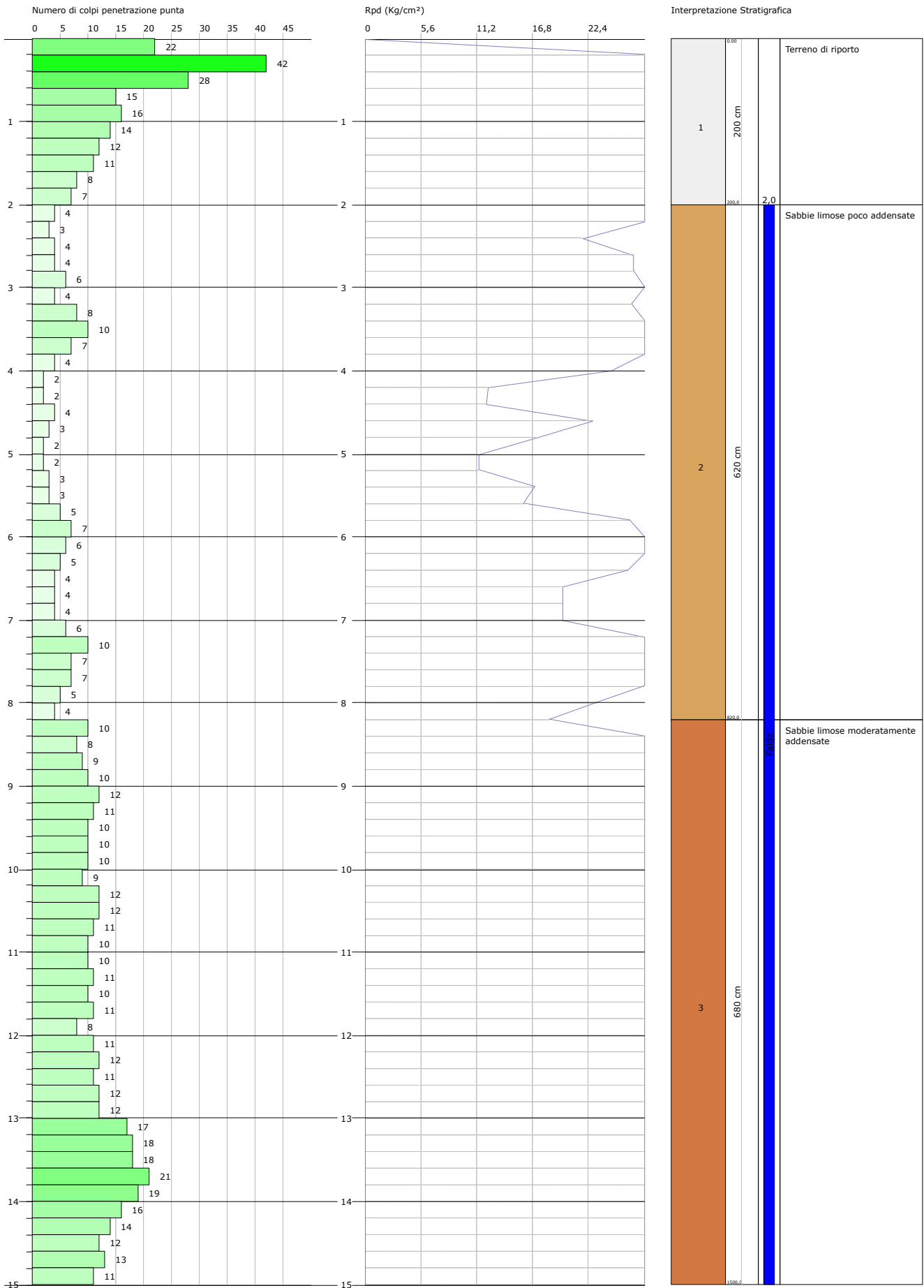
Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH01
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: TARROS spa - GF srl - NORA spa
 Descrizione: P.U.O. - Distretto di trasformazione API5 e subdistretto API 5A - Progetto per la trasformazione dell'area Tarros
 Località: Fossamastra - La Spezia

Data: 12/06/2018

Scala 1:65

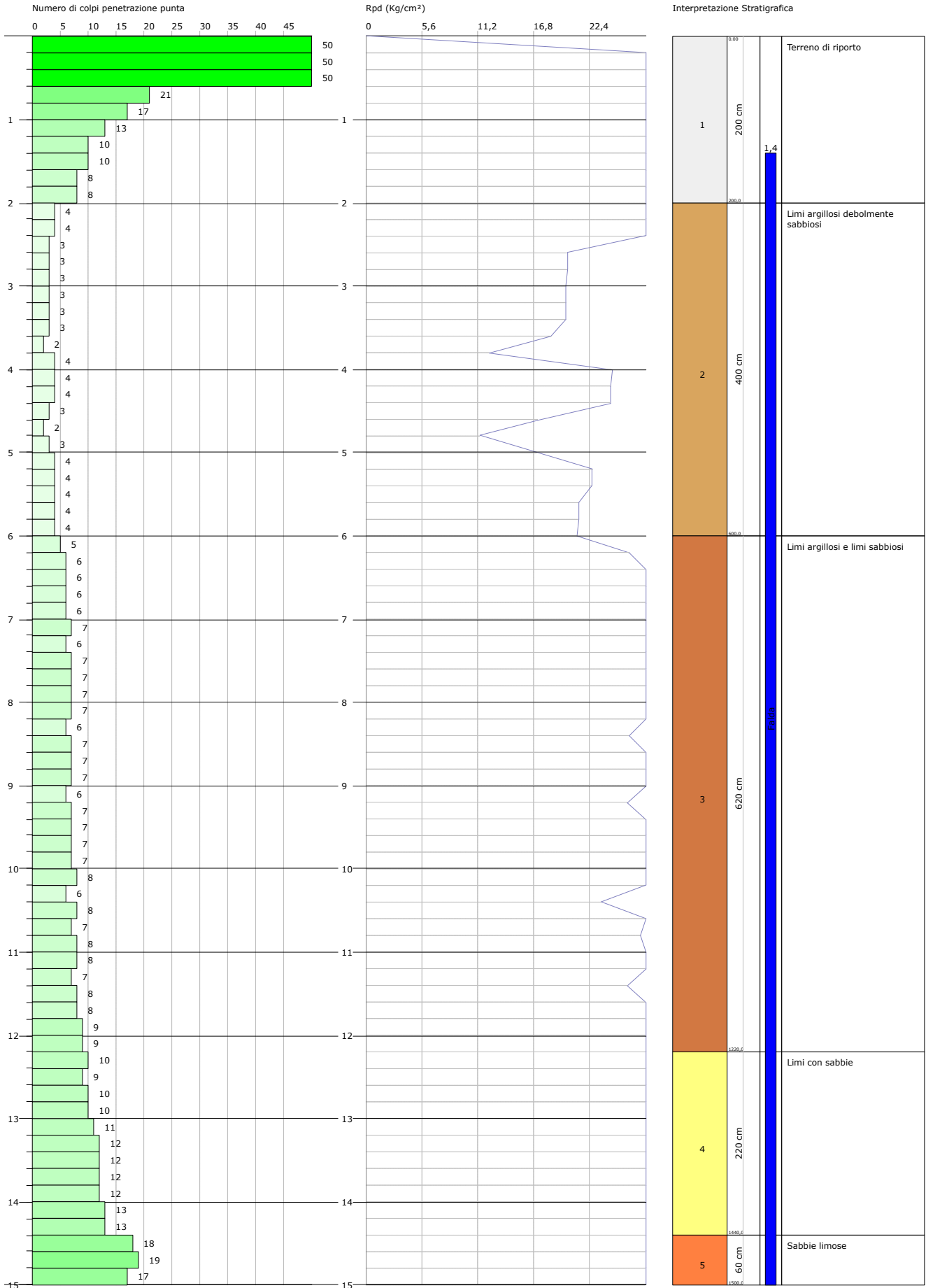


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH02
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: TARROS spa - GF srl - NORA spa
 Descrizione: P.U.O. - Distretto di trasformazione API5 e subdistretto API 5A - Progetto per la trasformazione dell'area Tarros
 Località: Fossamastra - La Spezia

Data: 12/06/2018

Scala 1:65

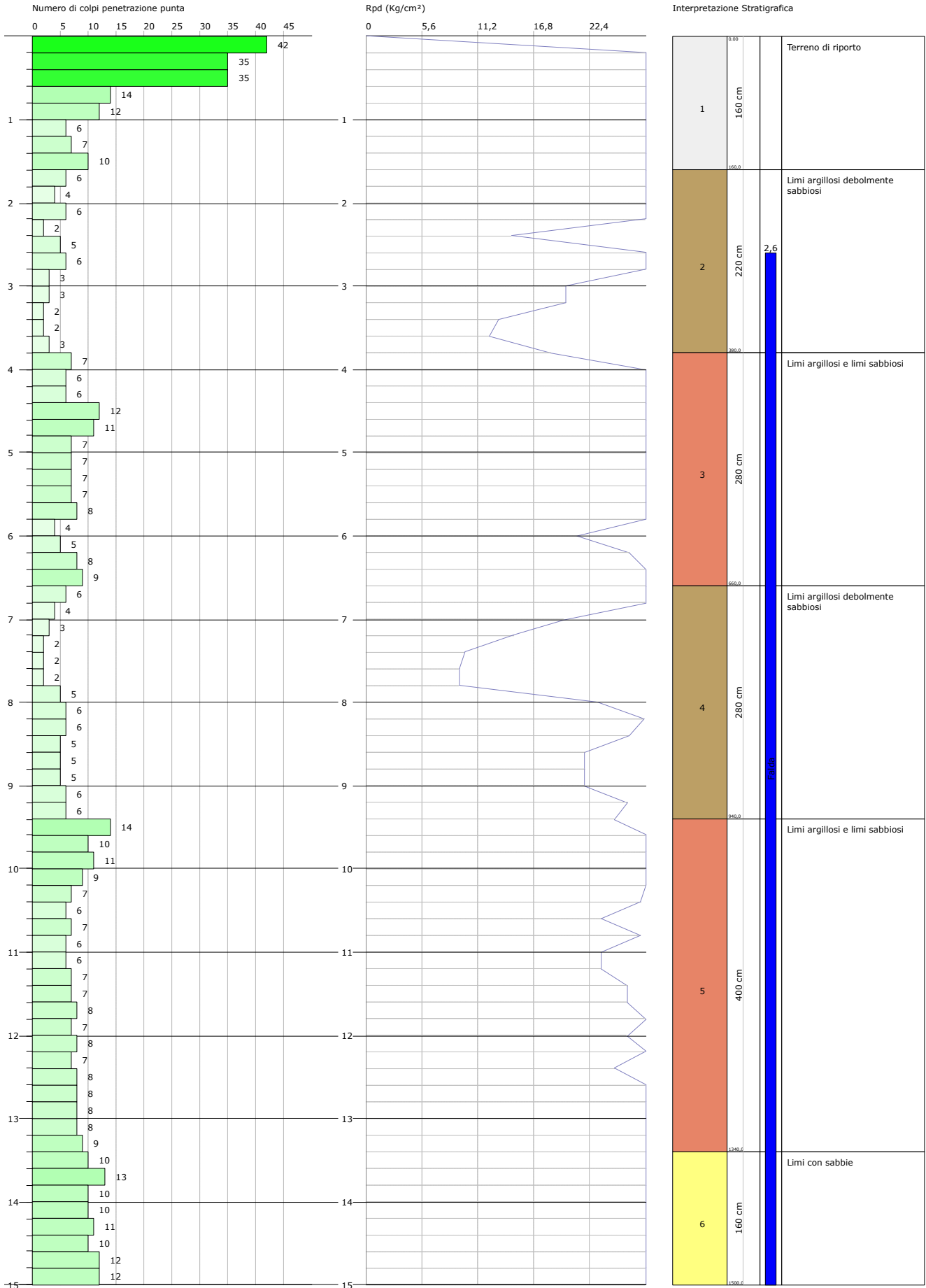


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH03
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: TARROS spa - GF srl - NORA spa
 Descrizione: P.U.O. - Distretto di trasformazione API5 e subdistretto API 5A - Progetto per la trasformazione dell'area Tarros
 Località: Fossamastra - La Spezia

Data: 12/06/2018

Scala 1:65

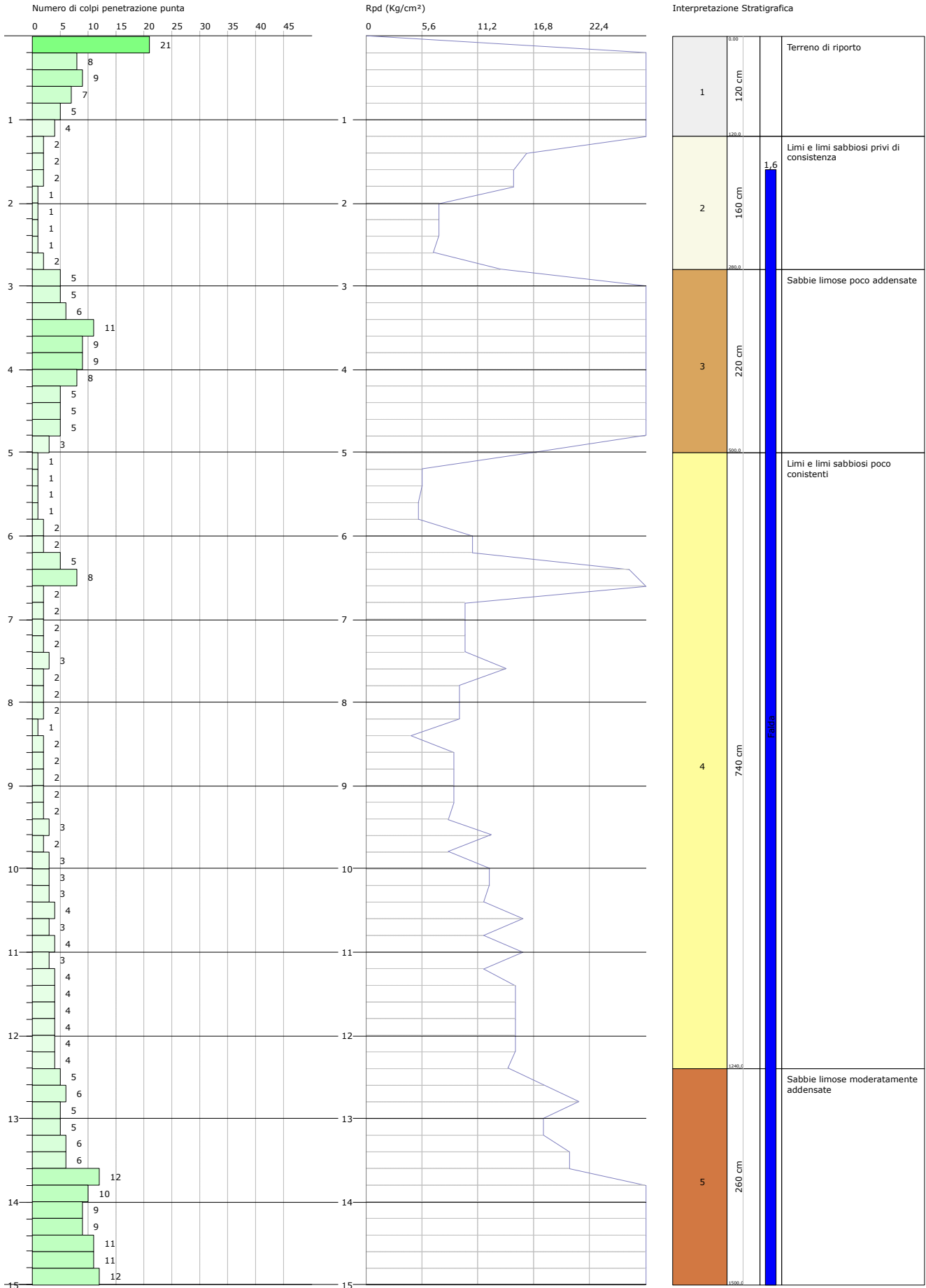


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH05
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: TARROS spa - GF srl - NORA spa
 Descrizione: P.U.O. - Distretto di trasformazione API5 e subdistretto API 5A - Progetto per la trasformazione dell'area Tarros
 Località: Fossamastra - La Spezia

Data: 12/06/2018

Scala 1:65

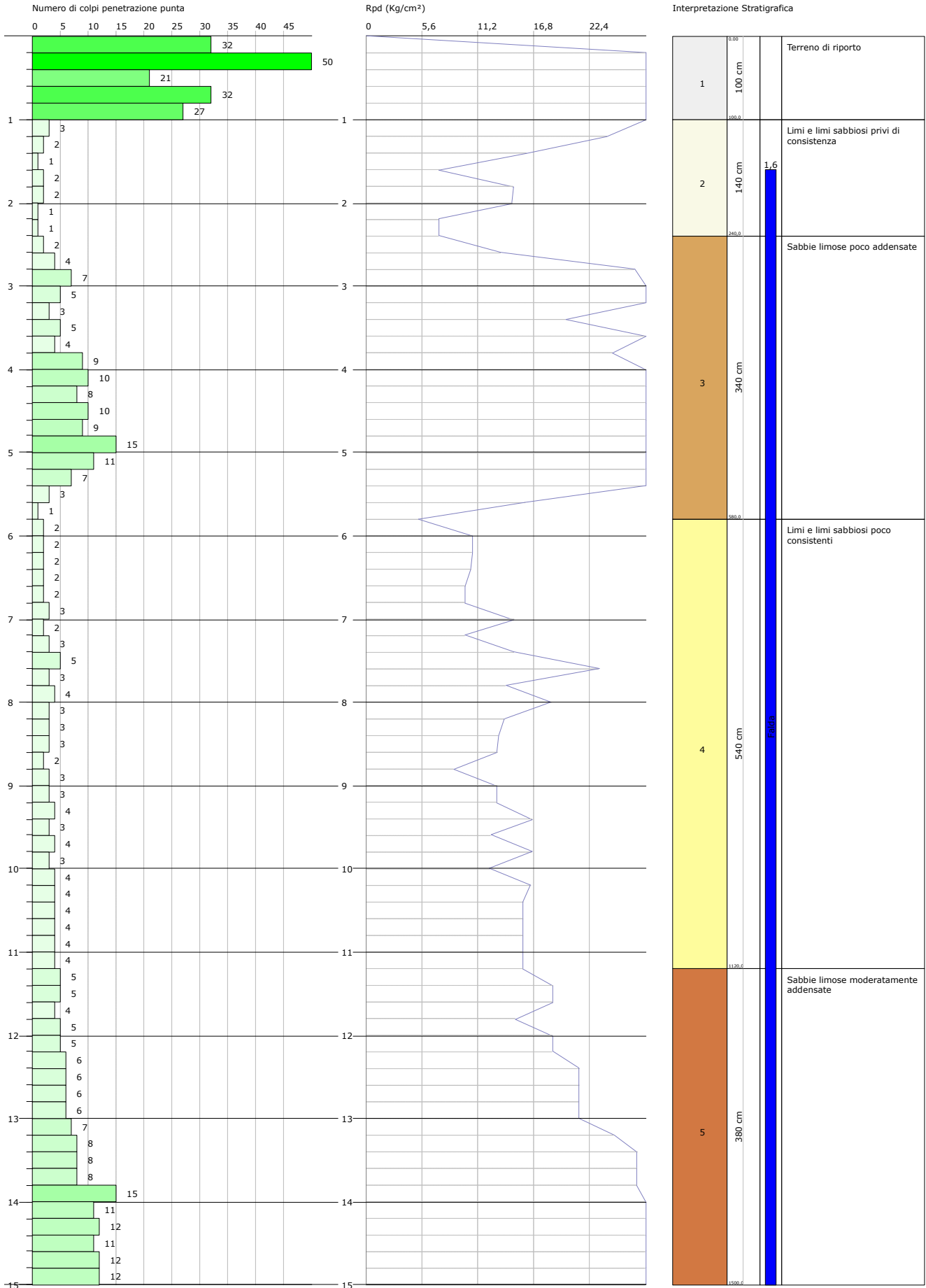


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH06
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: TARROS spa - GF srl - NORA spa
 Descrizione: P.U.O. - Distretto di trasformazione API5 e subdistretto API 5A - Progetto per la trasformazione dell'area Tarros
 Località: Fossamastra - La Spezia

Data: 12/06/2018

Scala 1:65

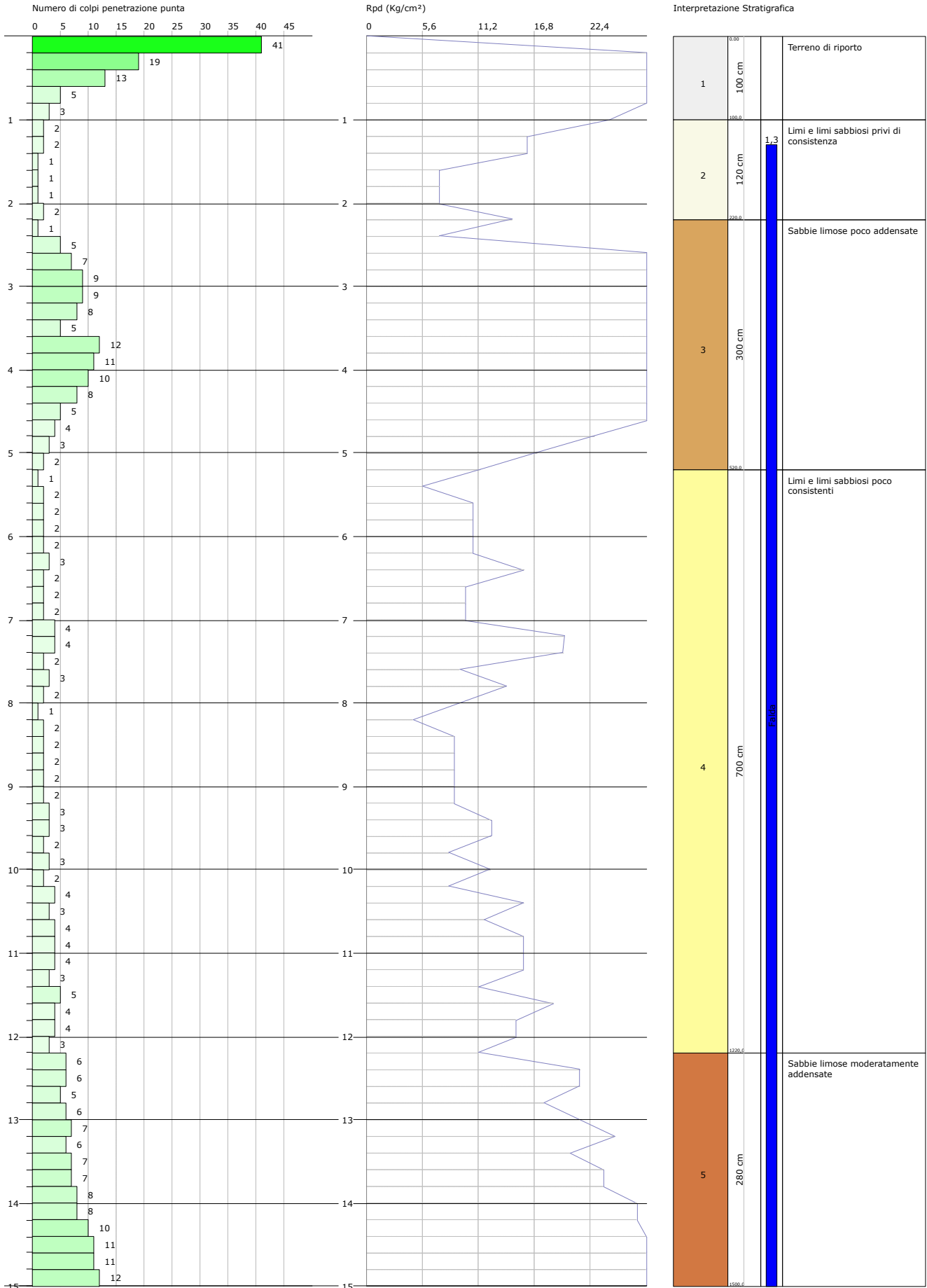


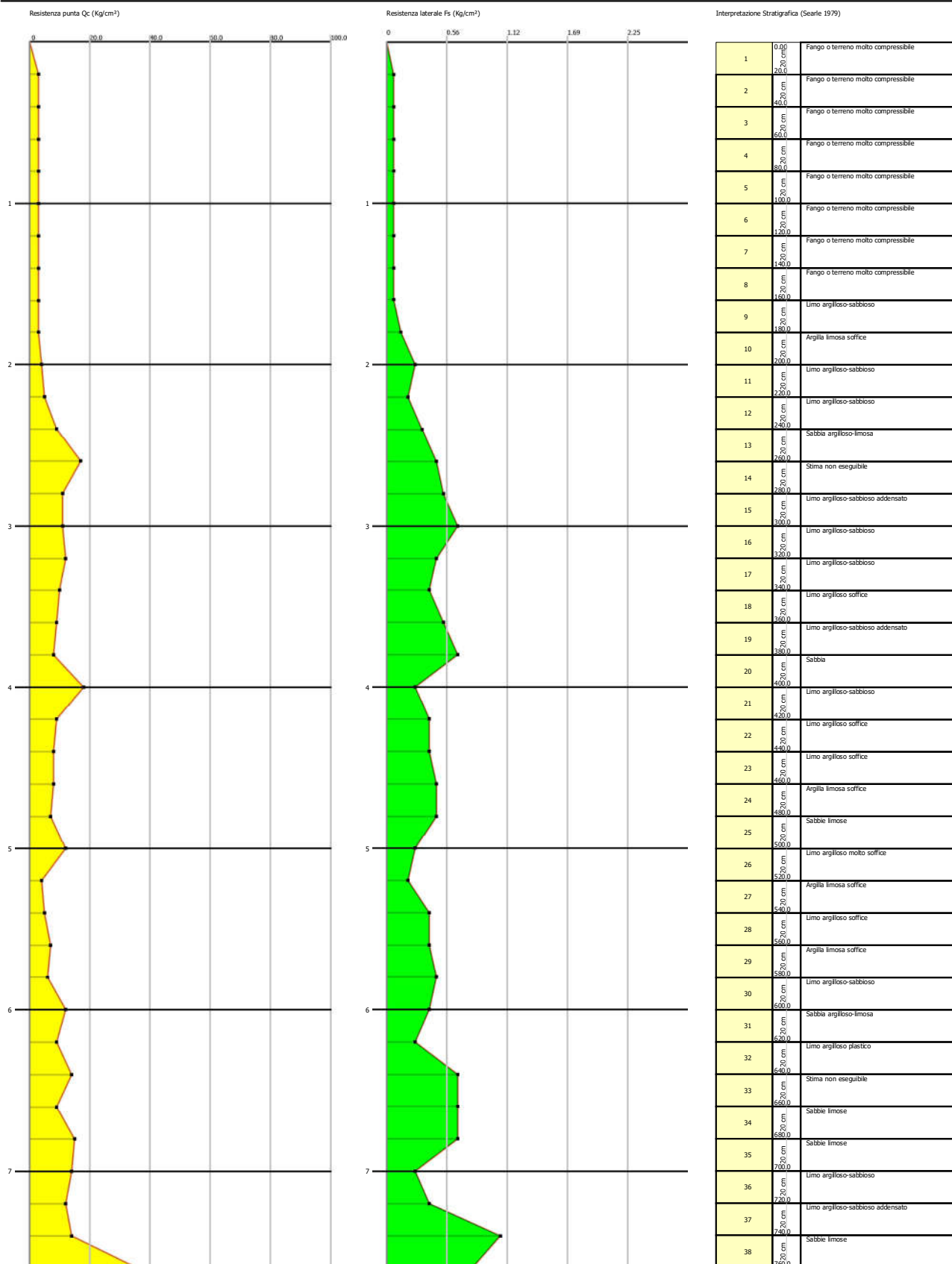
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH07
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

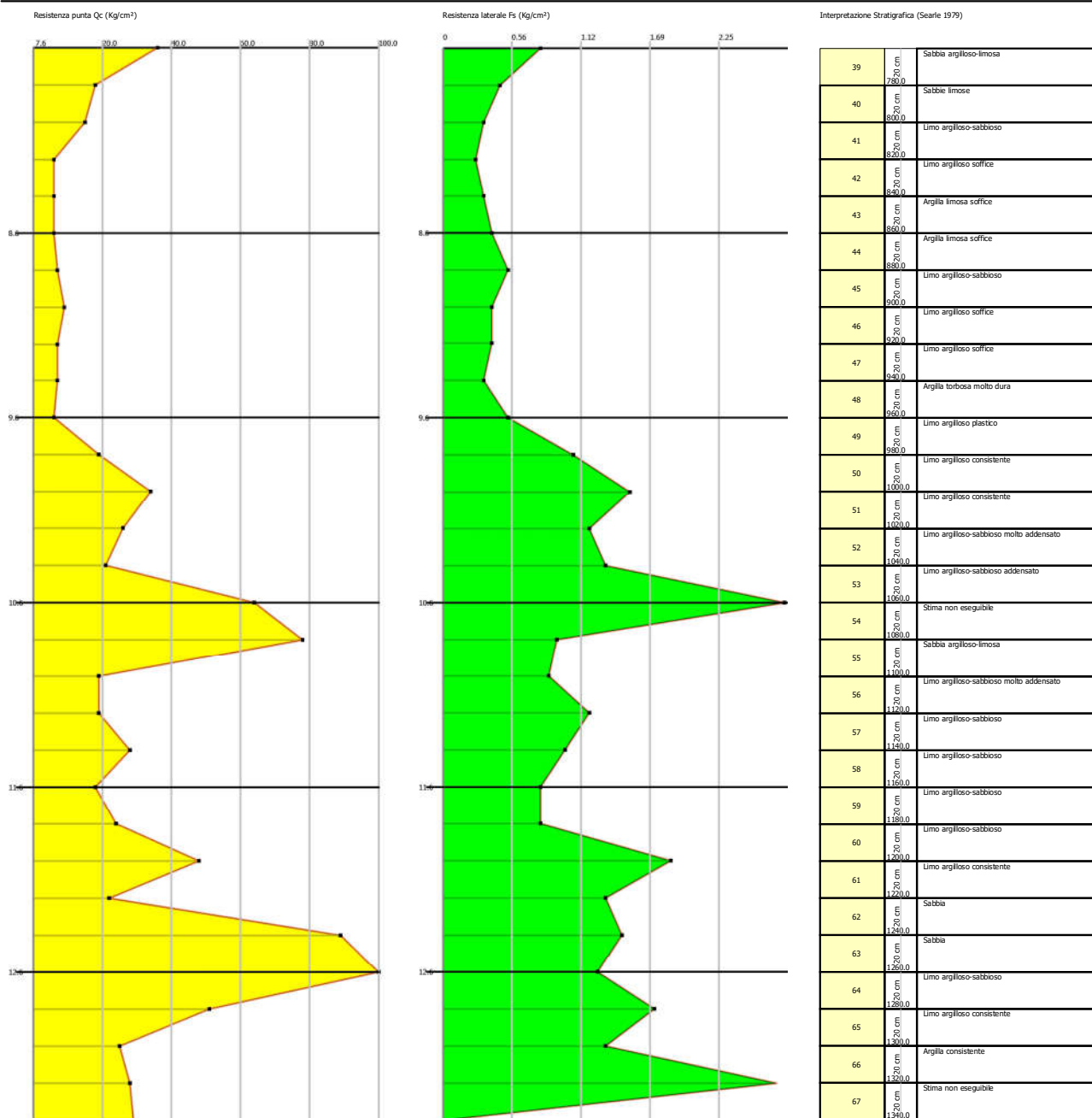
Committente: TARROS spa - GF srl - NORA spa
 Descrizione: P.U.O. - Distretto di trasformazione API5 e subdistretto API 5A - Progetto per la trasformazione dell'area Tarros
 Località: Fossamastra - La Spezia

Data: 12/06/2018

Scala 1:65







DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI

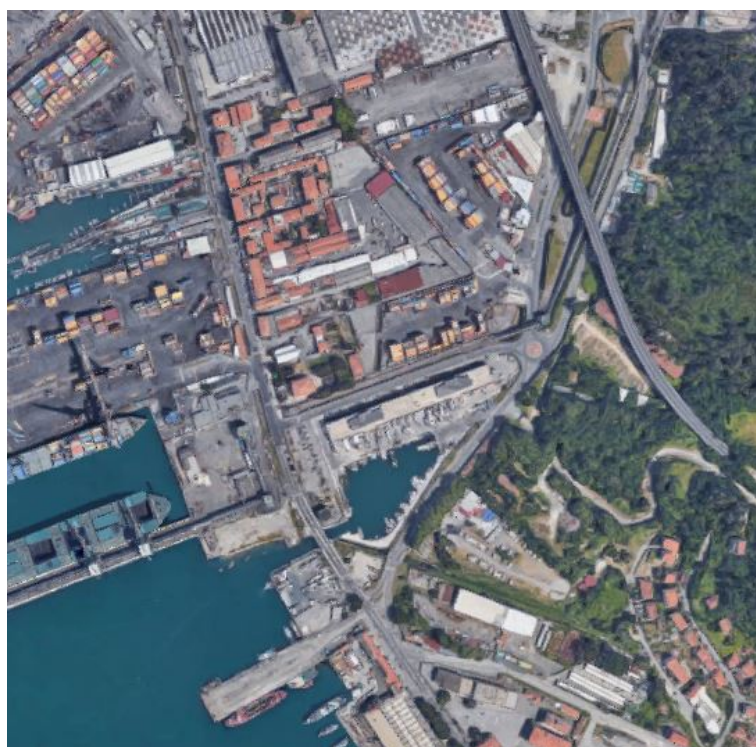
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

ALLEGATO 3

Data: 23 giugno 2018

Committente: TARROS spa – GF srl – NORA spa

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



Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]

Dati generali

Committente	TARROS spa – GF srl – NORA spa
Cantiere	Ex deposito containers Tarros
Località	Fossamastra
Zona	La Spezia
Data	23/06/18

STESA SISMICA – M1

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	2,5
Periodo di campionamento [msec]	1

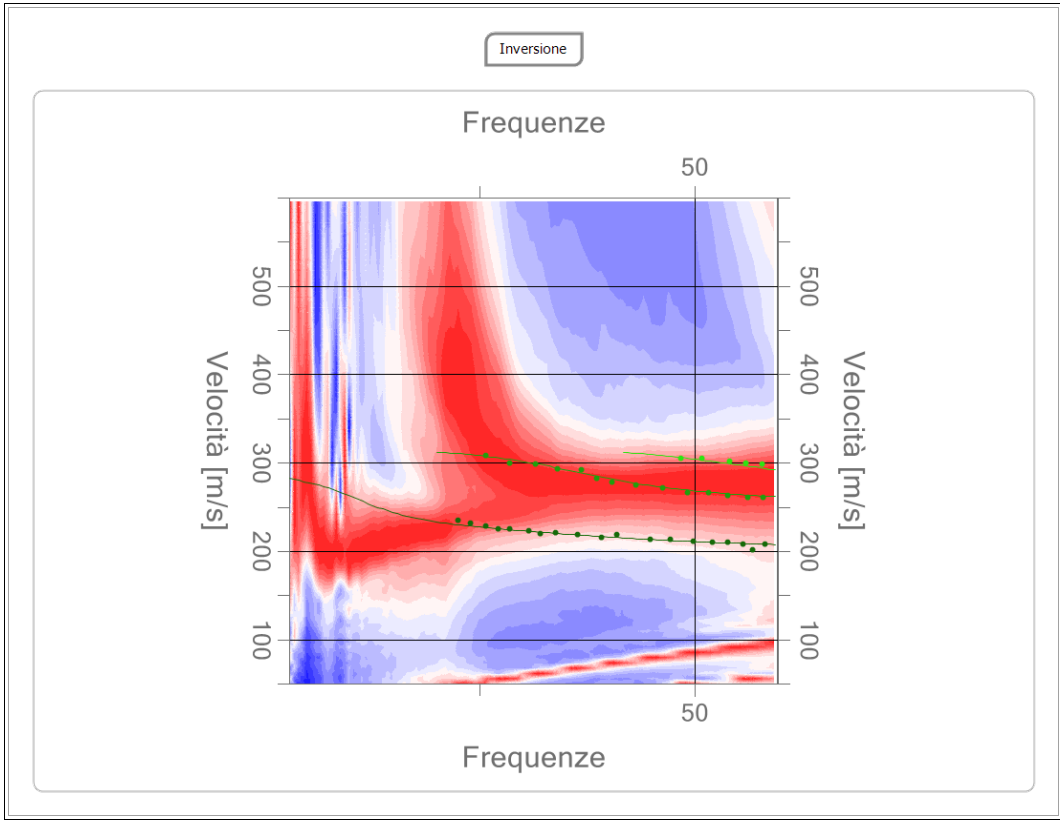
Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	50
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	600
Intervallo velocità [m/sec]	1

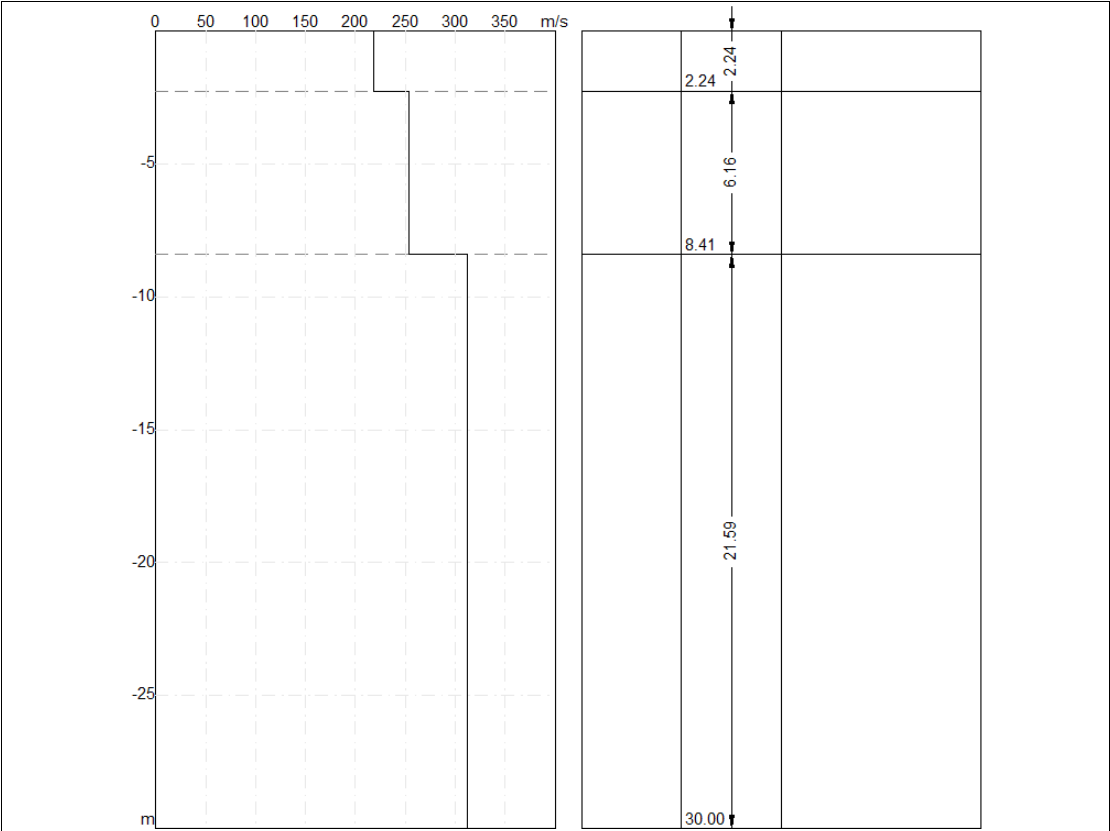
Inversione

Layer	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	2,24	2,24	1.800,0	0,3	No	408,6	218,4
2	8,41	6,16	1.860,0	0,3	Si	515,4	253,8
3	oo	oo	1.960,0	0,3	Si	605,7	311,6

Percentuale di errore 0.009 %
 Fattore di disadattamento della soluzione 0.010



Sismostratigrafia



Risultati

Vs,eq [m/sec] (H=30,00 m)	288,87
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.

STESA SISMICA – M2

Tracce

N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	2048.0
Interdistanza geofoni [m]	2,5
Periodo di campionamento [msec]	1

Analisi spettrale

Frequenza minima di elaborazione [Hz]	3
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	60
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1

Inversione

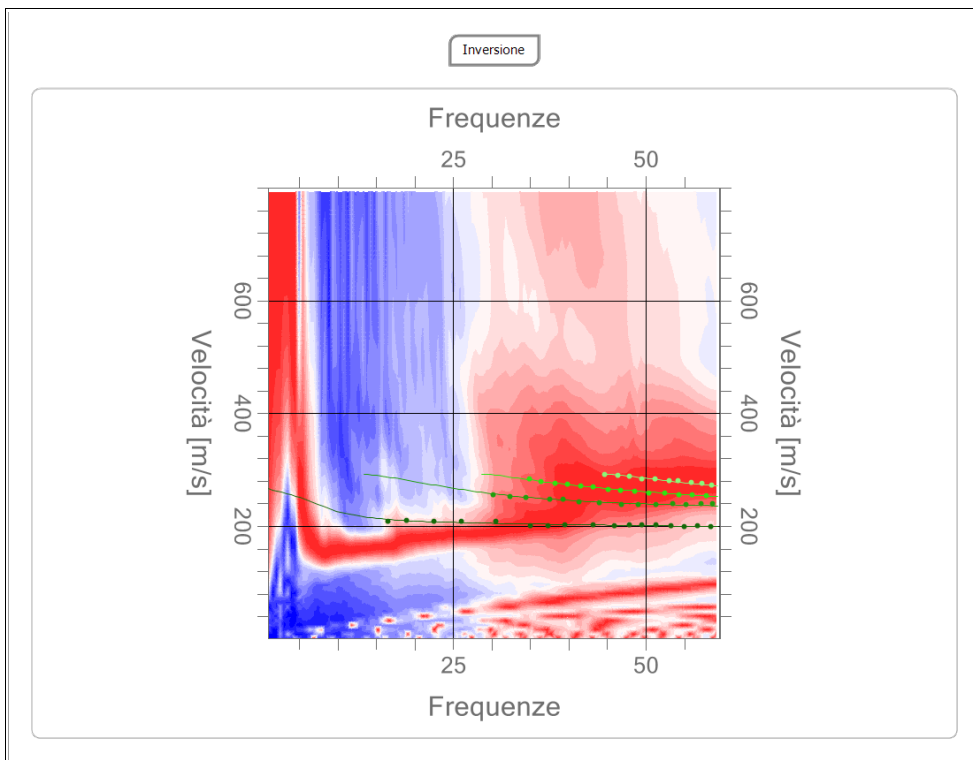
Layer	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1,04	1,04	1.850,0	0,3	No	374,9	200,4
2	4,71	3,67	1.910,0	0,3	Si	452,0	222,5
3	9,71	5,00	1.870,0	0,3	Si	473,7	233,3
4	13,48	3,78	1.930,0	0,3	Si	486,8	260,2
5	oo	oo	1.950,0	0,3	Si	546,4	292,1

Percentuale di errore

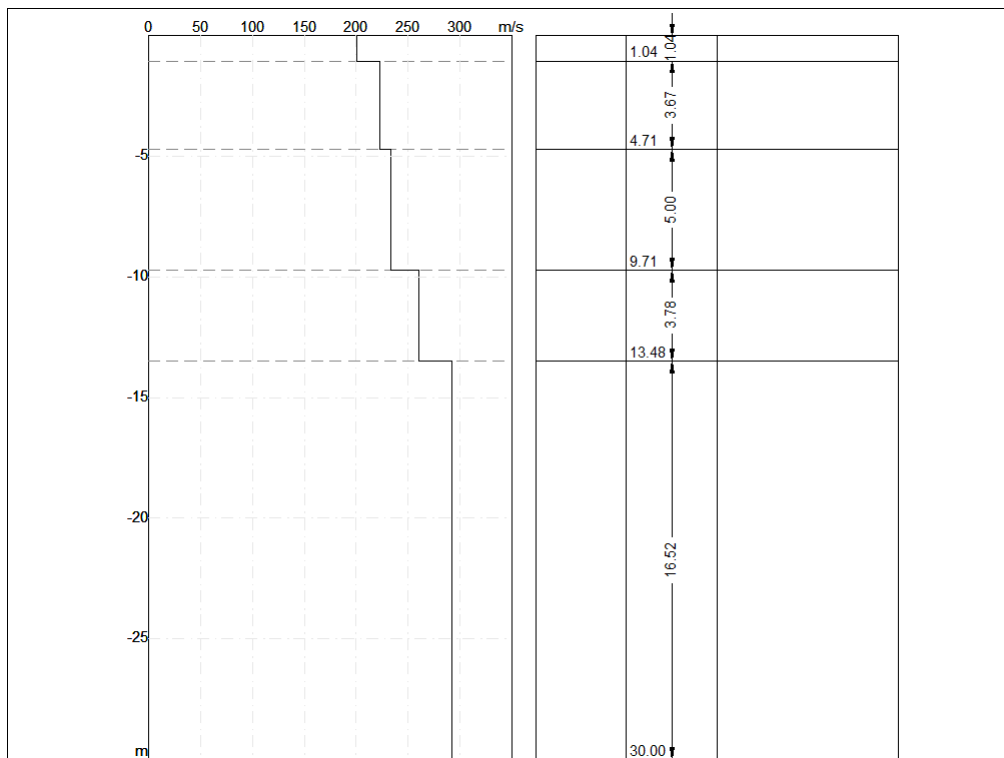
0.004 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.007



Sismostratigrafia



Risultati

Vs,eq [m/sec] (H=30,00 m)	262,77
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.

Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

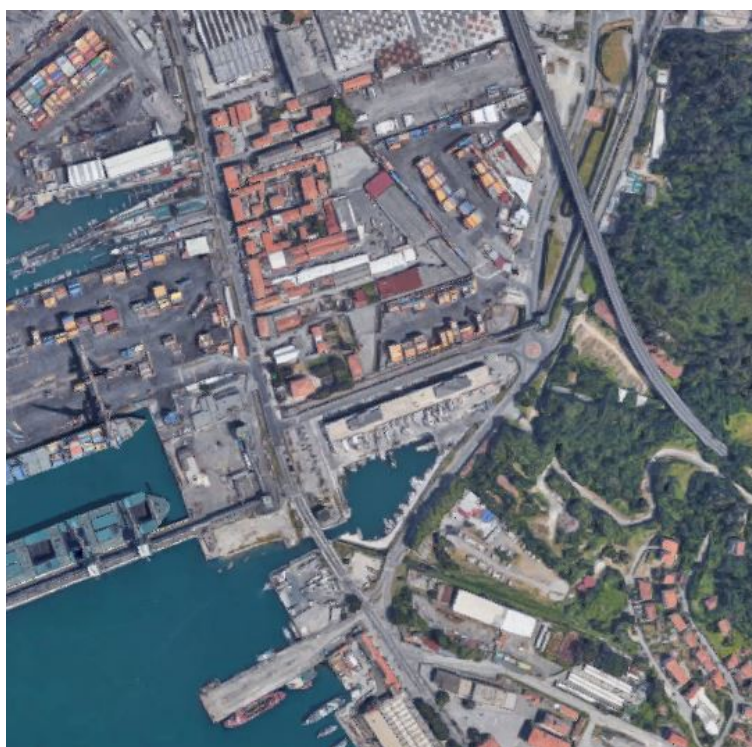
Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]

ALLEGATO 4

Data: settembre 2018

Committente: TARROS spa – GF srl – NORA spa

Tomografia Sismica

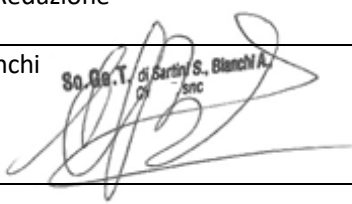
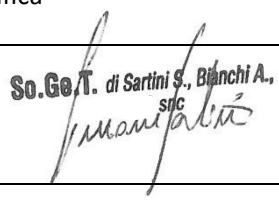


Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]

Rapporto n°2018101			
Committente	Nora SPA		
Tipo di indagine	Indagine sismica a rifrazione		
Data esecuzione misure	26 settembre 2018	Data emissione rapporto	01 ottobre 2018



Redazione	Verifica
Dott. Alessandro Bianchi  <small>So.Ge.T. di Sartini S. Bianchi A. snc</small>	Dott. Simone Sartini  <small>So.Ge.T. di Sartini S. Bianchi A. snc</small>

Sommario

1. Scopo dell'indagine	3
2. Tecnica sismica a rifrazione (SRT)	4
2.1. Introduzione al metodo	4
2.2. Inversione dei dati sismici a rifrazione	6
2.3. Risultati delle indagini sismiche	8
3. Allegato 1 - Tabelle dei tempi e dromocrone del profilo Sp1	10

1. Scopo dell'indagine

Le indagini oggetto della presente relazione sono state commissionate e progettate per la ricostruzione sismostratigrafica di un'area posta in adiacenza di via Privata Enel nel Comune di La Spezia (Sp). In particolare, è stata eseguita una tomografia simica in Onde P.

L'ubicazione della suddetta indagine è consultabile nella tavola allegata TAV.1. In Figura 1 è visibile la planimetria dello stato attuale con l'ubicazione della stesa sismica. Oggetto della presente relazione, dopo una breve illustrazione del metodo, sono i risultati a cui si è pervenuti.

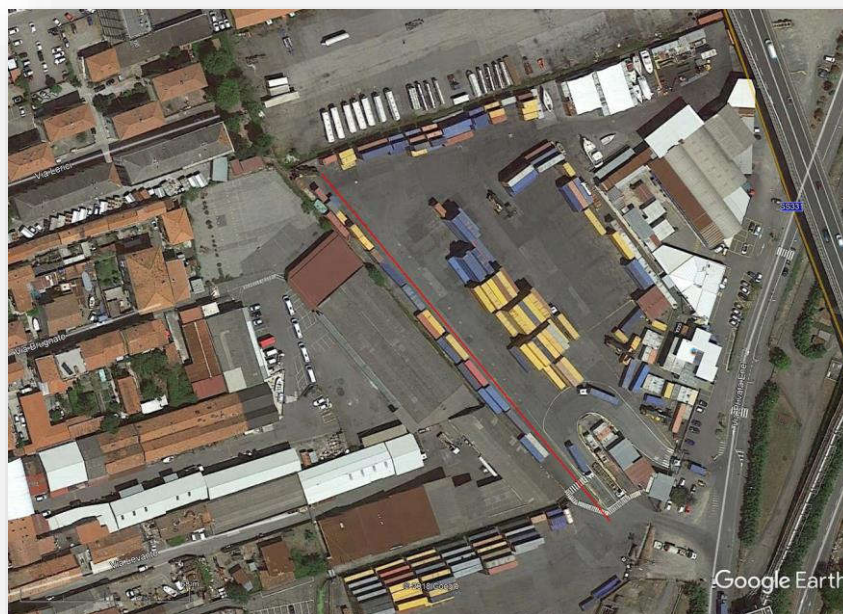


FIGURA 1: PLANIMETRIA STATO ATTUALE CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

2. Tecnica sismica a rifrazione (SRT)

2.1. Introduzione al metodo

La tecnica sismica a rifrazione è diffusamente applicata in ambito ingegneristico e trova applicazione nella determinazione delle caratteristiche visco-elastiche dei mezzi naturali e nell'individuazione di variazioni litologico-stratigrafiche e di velocità di propagazione delle onde sismiche.

Le velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo e nei materiali in genere sono proporzionali a diversi fattori tra i quali la densità, lo stato tensionale del materiale o della formazione, l'eventuale grado di fratturazione. La conoscenza della distribuzione delle velocità di propagazione consente di assegnare ai campi di variazione di quest'ultima la presenza di geomateriali differenti o anomalie presenti nelle sezioni o nei volumi indagati.

La prova sismica SRT consente di determinare sezioni bidimensionali di velocità delle onde di compressione P e di taglio SH, in un deposito di terreno, attraverso la misurazione dei tempi di percorrenza di tali onde lungo percorsi tra i punti sorgenti di energia e i sensori disposti in superficie.

Le sezioni d'indagine, attraverso un apposito programma di elaborazione, vengono suddivise per passi successivi in celle quadrate o rettangolari, (di dimensioni variabili in dipendenza delle spaziature adottate tra i sensori e del passo tra i diversi punti di scoppio), e per ciascuna di esse secondo un procedimento iterativo di convergenza si calcola il tempo necessario all'impulso sismico per attraversarle. Questa procedura rende possibile ricostruire la velocità sismica del mezzo nella sezione di interesse. Poiché le velocità di propagazione delle onde di compressione P e di taglio S sono proporzionali a diversi fattori tra i quali la densità, la composizione del materiale, lo stato tensionale della formazione, l'eventuale grado di fratturazione, è possibile dedurre una distribuzione dei vari materiali presenti.

Il potere risolutivo della tecnica tomografica è legato essenzialmente:

- al numero ed alla distribuzione delle misure nella sezione indagata;
- alla lunghezza d'onda della perturbazione sismica, la quale a sua volta dipende dalla velocità e dalla frequenza principale di oscillazione delle onde sismiche;

- all'orientamento ed alla distribuzione delle eventuali discontinuità ed alla stratificazione del sottosuolo;
- al rapporto tra la distanza di separazione tra i sensori e quindi alla lunghezza dello stendimento in superficie.

L'indagine è stata condotta secondo le seguenti specifiche:

- acquisizione dati con array a 37 geofoni;
- *set-up* costituito da 12 punti di energizzazione superficiali con 9 scoppi intermedi, 1 centrale e 2 offset esterni;
- distanza intergeofonica di 5.0 metri.

Per la generazione delle onde P è stata utilizzata una mazza da 8 Kg incidente verticalmente su una piastra di alluminio accoppiata con il terreno.

2.2. Inversione dei dati sismici a rifrazione

Lo schema d'interpretazione utilizzato è basato su un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata che consiste nel processare i tempi di primo arrivo mediante i metodi dei "Fronti d'onda" (Brückl 1987; Jones and Jovanovich 1985) e del Plus-minus (Hagedoorn 1959), fondati su una regressione del campo dei tempi di primo arrivo (Brückl 1987). Tale metodologia può essere considerata un'ottimizzazione dell'algoritmo del GRM (*Generalized reciprocal method*, Palmer, 1980), capace di risolvere l'immagine dei rifrattori con andamenti topografici molto accidentati. Il software di interpretazione utilizzato è il Rayfract™ della *Intelligent Resources Inc.* (Canada). Questo utilizza un codice di calcolo per la modellazione tomografica che realizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodo di calcolo ai minimi quadrati attraverso la tecnica di *Delta t-v* (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala e stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.

In generale, il tempo di percorrenza di un'onda sismica lungo un percorso S attraverso un mezzo bidimensionale (2D) può essere scritto come

$$t = \int_S u[r(x, y)] \quad 1.$$

dove $u(r)$ è il campo delle lentezze (l'inverso delle velocità) e r è il vettore posizione. Discretizzando il campo di lentezze $u(r)$ con m celle equidimensionali ognuna caratterizzata da una lentezza costante u_k ($k=1, 2, \dots, m$) la dromocrona i -esima delle n disponibili può essere scritta come

$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k \quad 2.$$

dove l_{ik} rappresenta la porzione dell' i -esima dromocrona nella cella k -esima. Considerando tutte le dromocrone disponibili si ottiene il seguente sistema

$$t = M \cdot u \quad 3.$$

dove t è il vettore dei dati sperimentali (tempi di primo arrivo letti sui sismogrammi), M è la matrice rettangolare contenente le porzioni dei percorsi nelle varie celle e u è il vettore delle lentezze (incognite del problema). Il problema inverso da risolvere è pertanto

$$u = \tilde{M}^{-1} \cdot t \quad 4.$$

dove \tilde{M}^{-1} è la matrice inversa generalizzata. Poiché i percorsi sismici dipendono dalle lentezze, la matrice M dipende anche dalle lentezze e quindi il problema inverso (4) è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L'equazione da considerare è pertanto la seguente

$$J \cdot \Delta u = \Delta t \quad 5.$$

dove $\Delta t = t - t(u_0)$ è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale u_0 ; Δu è la perturbazione del modello iniziale; e J è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle lentezze nelle celle $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$.

Poiché il problema è parzialmente sovradeterminato (per alcune celle si hanno molti percorsi) e parzialmente sottodeterminato (per alcune celle non è disponibile nessun percorso) esso è stato risolto con la tecnica dei minimi quadrati smorzati, cioè è stata minimizzata la seguente funzione errore

$$\varphi = \|J \cdot \Delta u - \Delta t\|^2 + \lambda \|L_2 u\|^2 \quad 6.$$

dove λ è il fattore di smorzamento e la matrice L_2 è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso una soluzione la più regolare possibile (*smoothest solution*).

L'affinamento della soluzione supportata con il metodo *Delta t-v* è avvenuta attraverso un ulteriore processo finale tomografico implementato da G.T. Schuster et alii, (*Wavepath eikonal travelttime inversion: Theory*, 1993, Geophysics, Volume 58, Issue 9, pp. 1314-1323) e Watanabe (*Seismic travelttime tomography using Fresnel volume approach*, Expanded Abstracts of 69th SEG Annual Meeting, SPRO12.5, 1999) denominato procedimento tomografico WET (*Wavepath Eikonal Travelttime*).

Nonostante esista sempre un grado di incertezza nel processo interpretativo l'immagine, essendo quantitativa, se adeguatamente associata ad uno studio geologico dell'area, fornisce un notevole contributo alla conoscenza geologica e idrogeologica della zona. Infatti a differenza delle indagini geognostiche (penetrometrie, sondaggi, ecc.) che forniscono una conoscenza puntuale della stratigrafia, una tomografia sismica, permette una ricostruzione spaziale continua degli strati litologici.

Per non incorrere in errori interpretativi talvolta anche notevoli, è sempre consigliabile adottare diverse metodologie di indagine (studio geologico, indagine geognostica, indagine geofisica, ecc.), così da avere più informazioni, di origine diversa, da interpretare e di conseguenza un minor margine di errore dato dall'interpretazione stessa.

2.3. Risultati delle indagini sismiche

Per la corretta lettura dei risultati, si rimanda alla TAV. 2 in cui è riportata la tomografia sismica in onde P del profilo denominato Sp1.

La tomografia in oggetto evidenzia una sismo stratigrafia in cui le velocità aumentano gradualmente con la profondità e risultano comprese tra 600 m/s e circa 2400 m/s.

Sono riconoscibili due sismostrati:

- Il primo e più superficiale, presenta uno spessore di circa 13 metri ed una velocità compresa tra 600 m/s e 1400 m/s;
- il secondo si estende fino ad una profondità di circa 30 metri con velocità compresa tra 1400 m/s e 2400 m/s.

Elenco allegati

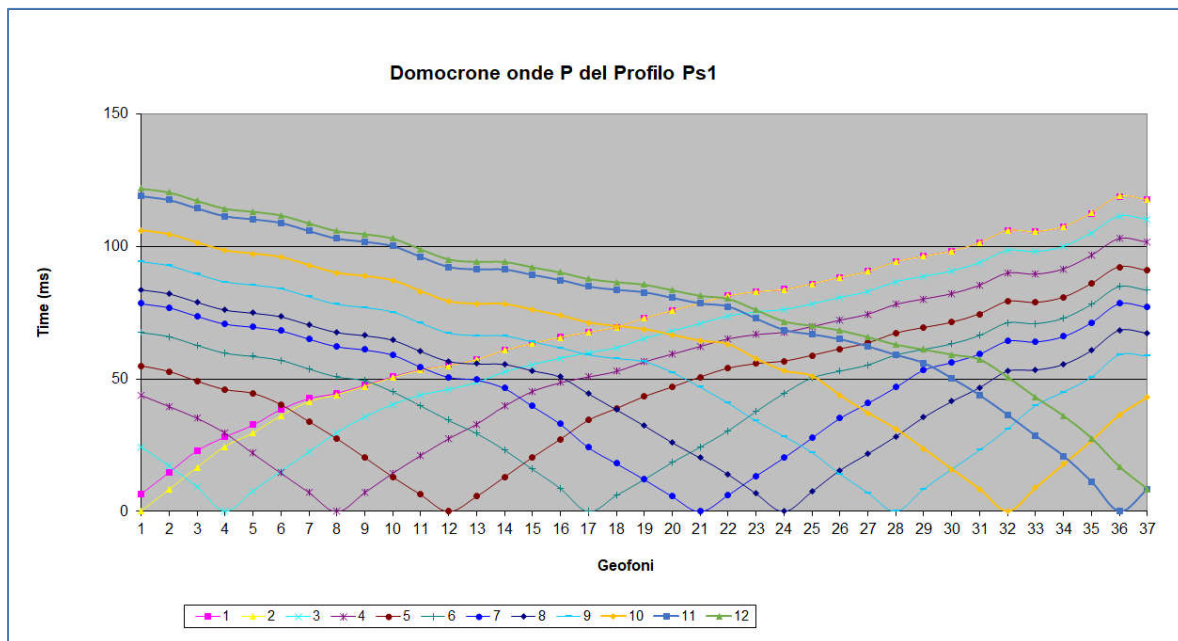
- Allegato 1: Tabelle dei tempi e dromocrone dei profili Sp1
- Tav. 1: Planimetria dell'area di indagine
- Tav. 2: Tomografia sismica del profilo Sp1 per onde P

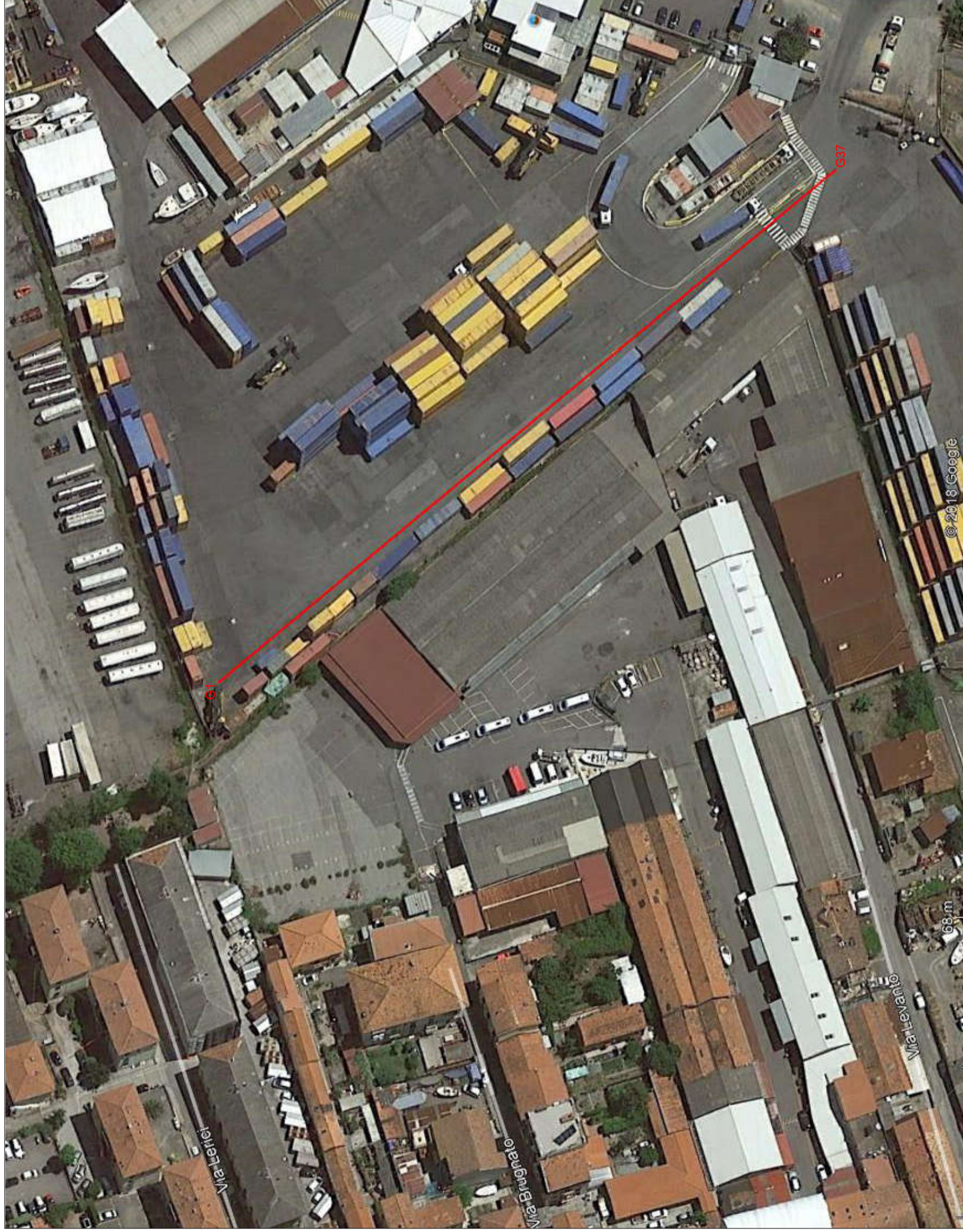
3. Allegato 1 - Tabelle dei tempi e dromocrone del profilo Sp1

Tabella tempi primo arrivo tomografia sismica Ps1 per onde P

Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)
0	-5	6.72	0	0	0	0	15	24.399	35	0	43.934	55	0	54.936	80	0	67.571
5	14.869		5	8.165		5	17.026		5	39.714		5	52.936		5	66.012	
10	23.048		10	15.545		10	9.283		10	35.292		10	49.185		10	62.751	
15	38.218		15	24.399		15	0		15	29.011		15	46.007		15	59.796	
20	32.702		20	29.559		20	7.695		20	22.009		20	44.573		20	58.575	
25	38.604		25	36.005		25	15.113		25	14.592		25	40.369		25	57.088	
30	42.641		30	41.37		30	22.367		30	7.344		30	33.983		30	53.853	
35	44.62		35	43.934		35	29.701		35	0		35	27.553		35	58.841	
40	47.712		40	47.189		40	35.608		40	7.211		40	20.407		40	49.4	
45	50.844		45	50.422		45	40.339		45	14.511		45	13.096		45	45.242	
50	53.562		50	53.251		50	43.884		50	21.179		50	6.409		50	39.956	
55	55.134		55	54.936		55	46.007		55	27.553		55	0		55	34.43	
60	57.335		60	57.182		60	48.639		60	33.003		60	5.665		60	29.53	
65	60.865		65	60.764		65	52.59		65	39.796		65	12.996		65	23.291	
70	63.397		70	63.310		70	55.359		70	45.349		70	20.43		70	16.034	
75	65.736		75	65.67		75	57.821		75	48.646		75	27.259		75	8.812	
80	67.628		80	67.571		80	59.796		80	50.841		80	34.43		80	0	
85	69.521		85	69.489		85	61.731		85	52.894		85	38.839		85	6.083	
90	72.536		90	72.89		90	65.19		90	56.483		90	43.374		90	12.104	
95	75.757		95	75.715		95	68.042		95	59.422		95	46.964		95	18.513	
100	78.535		100	78.498		100	70.853		100	62.313		100	50.724		100	24.303	
105	81.341		105	81.307		105	73.681		105	65.192		105	54.034		105	30.505	
110	82.809		110	82.978		110	75.262		110	66.778		110	55.293		110	37.765	
115	83.793		115	83.763		115	76.151		115	67.673		115	56.733		115	44.601	
120	85.91		120	85.882		120	78.272		120	69.799		120	58.9		120	50.44	
125	88.327		125	88.3		125	80.692		125	72.221		125	61.343		125	53.016	
130	90.561		130	90.534		130	82.928		130	74.459		130	63.694		130	55.335	
135	94.235		135	94.21		135	86.605		135	78.137		135	67.285		135	58.887	
140	96.313		140	96.289		140	88.638		140	80.219		140	69.38		140	61.253	
145	98.3		145	98.278		145	90.675		145	82.209		145	71.374		145	63.269	
150	101.441		150	101.428		150	93.825		150	85.361		150	74.53		150	66.441	
155	105.962		155	105.023		155	98.444		155	89.994		155	79.24		155	71.242	
160	105.499		160	105.584		160	98.026		160	93.578		160	78.851		160	70.95	
165	107.426		165	107.514		165	99.963		165	94.516		165	80.736		165	72.963	
170	112.543		170	112.633		170	105.085		170	96.638		170	85.919		170	78.119	
175	118.875		175	118.969		175	111.43		175	102.984		175	92.268		175	84.879	
180	117.532		180	117.626		180	110.088		180	101.641		180	90.925		180	83.537	

Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)	Shot (m)	Position (m)	Time (ms)
100	0	78.498	115	0	83.763	135	0	94.21	155	0	106.023	175	0	118.969	185	0	121.829
5	76.985		5	82.264		5	92.714		5	104.547		5	117.532		5	120.391	
10	73.782		10	79.073		10	89.525		10	101.363		10	114.348		10	117.205	
15	70.853		15	76.151		15	86.605		15	98.444		15	111.43		15	114.29	
20	69.671		20	74.977		20	85.433		20	97.275		20	110.261		20	113.121	
25	68.271		25	73.594		25	84.051		25	95.886		25	108.886		25	111.745	
30	65.184		30	70.526		30	80.987		30	92.84		30	105.829		30	108.688	
35	62.313		35	67.673		35	78.137		35	89.994		35	102.984		35	105.843	
40	61.076		40	66.457		40	76.265		40	88.789		40	101.779		40	104.538	
45	59.154		45	64.774		45	75.257		45	87.138		45	100.133		45	102.993	
50	54.627		50	60.554		50	71.091		50	83.034		50	96.054		50	98.913	
55	50.724		55	56.733		55	67.285		55	79.24		55	92.268		55	95.127	
60	49.694		60	55.79		60	66.358		60	78.33		60	91.368		60	94.228	
65	46.589		65	55.597		65	66.216		65	78.229		65	91.319		65	94.179	
70	39.815		70	53.203		70	63.95		70	76.028		70	89.277		70	92.137	
75	33.056		75	50.807		75	61.737		75	73.861		75	87.344		75	90.194	
80	24.303		80	44.601		80	59.087		80	71.242		80	84.879		80	87.739	
85	18.221		85	38.52		85	57.706		85	69.994		85	83.686		85	86.547	
90	12.199		90	32.487		90	56.457		90	68.735		90	82.116		90	85.582	
95	5.79		95	26.089		95	52.512		95	66.565		95	80.623		95	83.495	
100	0		100	20.299		100	46.871		100	64.38		100	78.507		100	81.388	
105	6.202		105	14.097		105	40.889		105	63.076		105	77.341		105	80.239	
110	13.452		110	6.847		110	34.128		110	57.562		110	72.781		110	75.983	
115	20.299		115	0		115	28.344		115	53.857		115	68.887		115	71.704	
120	27.755		120	7.503		120	22.253		120	51.014		120	66.819		120	70.052	
125	35.198		125	15.549		125	14.181		125	43.716		125	65.022		125	68.314	
130	40.868		130	21.817		130	7.076		130	37.132		130	62.267		130	65.773	
135	46.871		135	28.344		135	0		135	31.094		135	59.072		135	62.959	
140	53.452		140	35.605		140	8.931		140	23.669		140	55.98		140	61.097	
145	56.29		145	41.573		145	15.856		145	15.872		145	50.25		145	59.165	
150	59.49		150	46.797		150	23.073		150	8.331		150	43.819		150	57.298	
155	64.38		155	53.057		155	31.094		155	0		155	36.369		155	50.649	
160	64.11		160	53.527		160	39.839		160	9.938		160	28.491		160	43.067	
165	68.114		165	55.575		165	48.019		165	17.769		165	20.834		165	36.027	
170	71.285		170	60.773		170	50.548		170	26.704		170	11.168		170	27.609	
175	78.507		175	68.487		175	59.072		175	36.369		175	0		175	16.813	
180	77.182		180	67.449		180	58.634		180	42.995		180	8.388		180	8.445	





LEGENDA

Stesa simica



So.Ge.T. s.n.c. di Sartini S., Bianchi A.
via per S. Alessio 1733/C, 55100 Lucca

P.I./ C.F. 02115540466 e.mail: info@soget.biz
web: www.soget.biz - Tel e Fax +39 0583 343380

Oggetto:

Planimetria dell'area di indagine

Cliente:

Nora SPA

Elaborazione:

A. Bianchi

Acquisizione:

S. Sartini, A. Bianchi

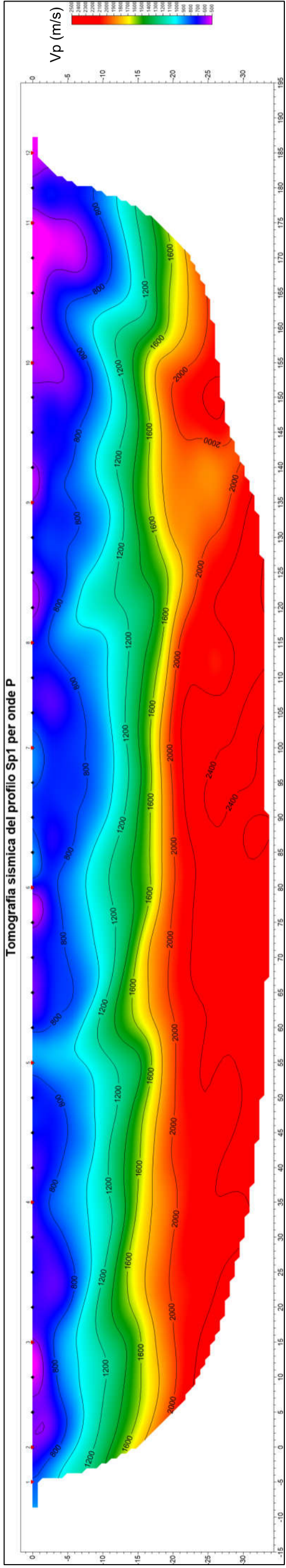
Approvazione:

S. Sartini, A. Bianchi

Revisione: 00

Scala 1:1000

TAV.1



So.Ge.T. s.n.c. di Sartini S., Bianchi A.
 via per S. Alessio 1733/C, 55100 Lucca
 P.I./ C.F. 02115540466 e.mail: info@soget.biz
 web: www.soget.biz - Tel e Fax +39 0583 343380

Oggetto:

Tomografia sismica del profilo Sp1 per onde P

Cliente:

Nora SPA

Acquisizione:

S. Sartini, A. Bianchi

Elaborazione:

A. Bianchi

Approvazione:

S. Sartini, A. Bianchi

Revisione: 00

Scala 1:600

TAV.2

DOTT. GEOL. CHIARA NOCCHI

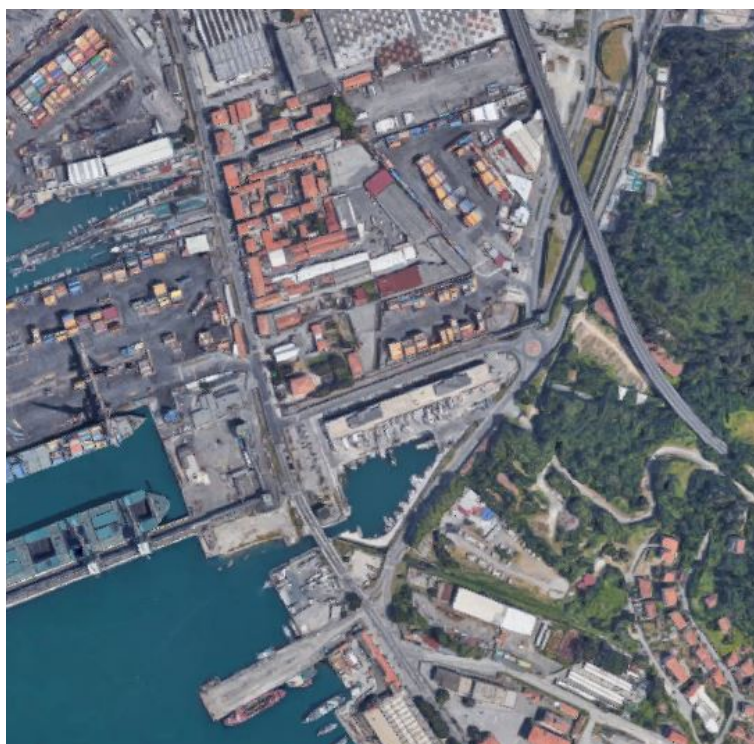
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

ALLEGATO 5

Data: giugno 2018

Committente: TARROS spa – GF srl – NORA spa

Verifica della Suscettibilità alla Liquefazione



Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]

**VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA
LIQUEFAZIONE DEI TERRENI INDOTTA DA AZIONE SISMICA – ULT F.s3-4.t4 – E3.a2-3.t1**

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)

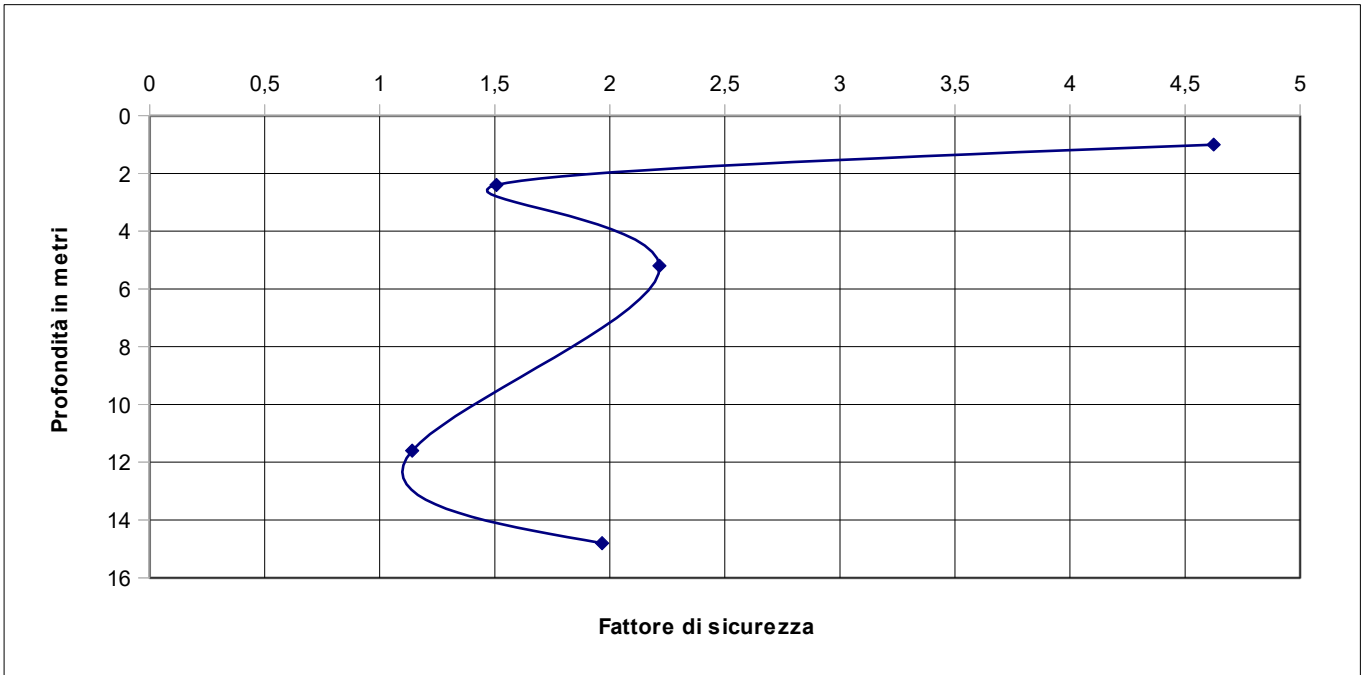
Magnitudo del sisma

Profondità falda in metri dal p.c.

Sovraccarico sulla verticale di misura (t/mq)

0,15
6,5
1,3
0

z	Y	Ysat	d ₅₀	zw	so	Uo	s'o	Nspt	N1	Na	rd	MSF	T	R	Fs	Suscettibilità
1	1,8	1,85	7	0	0,18	0	0,18	13	0	25,11	0,99	1,6	0,06	0,28	4,62	no falda
2,4	1,85	1,85	0,04	1,1	0,44	0,11	0,33	2	7,5	10,8	0,98	1,6	0,08	0,12	1,51	non liquefacibile
5,2	1,91	1,91	0,1	2,8	0,97	0,39	0,58	9	7,5	19,42	0,96	1,6	0,1	0,22	2,22	non liquefacibile
11,6	1,87	1,87	0,04	7,5	2,17	1,03	1,14	3	7,5	10,27	0,86	1,6	0,1	0,11	1,14	potenzial. liquefac.
14,8	1,93	1,93	0,1	6	2,79	1,35	1,44	11	7,5	16,25	0,78	1,6	0,09	0,18	1,97	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 $(N_{spt} (1,7/(s'_{o}+0,7))+N1)$
- N1 = Indice funzione della granulometria (uguale a 7,5 per $d_{50} \leq 0,25$ mm oppure 0 per $d_{50} > 0,25$ mm)
- 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 $z \leq 9,15$ m; rd =1,174-0,02667z per $9,15 < z \leq 23$ m; rd =0,774-0,008z per $23 < z \leq 30$ m; rd =0,5 per $z > 30$ m]
- MSF = Coefficiente correttivo funzione della magnitudo M del sisma [con valore $(M/7,5)^{-3,3}$ per $M \leq 7,5$ 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

F_s = Fattore di sicurezza (terreno cautelativamente considerato non liquefacibile per $F_s > 1,3$)

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 - ULT F.s3-4.14 – E3.a2-3.t1**

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)

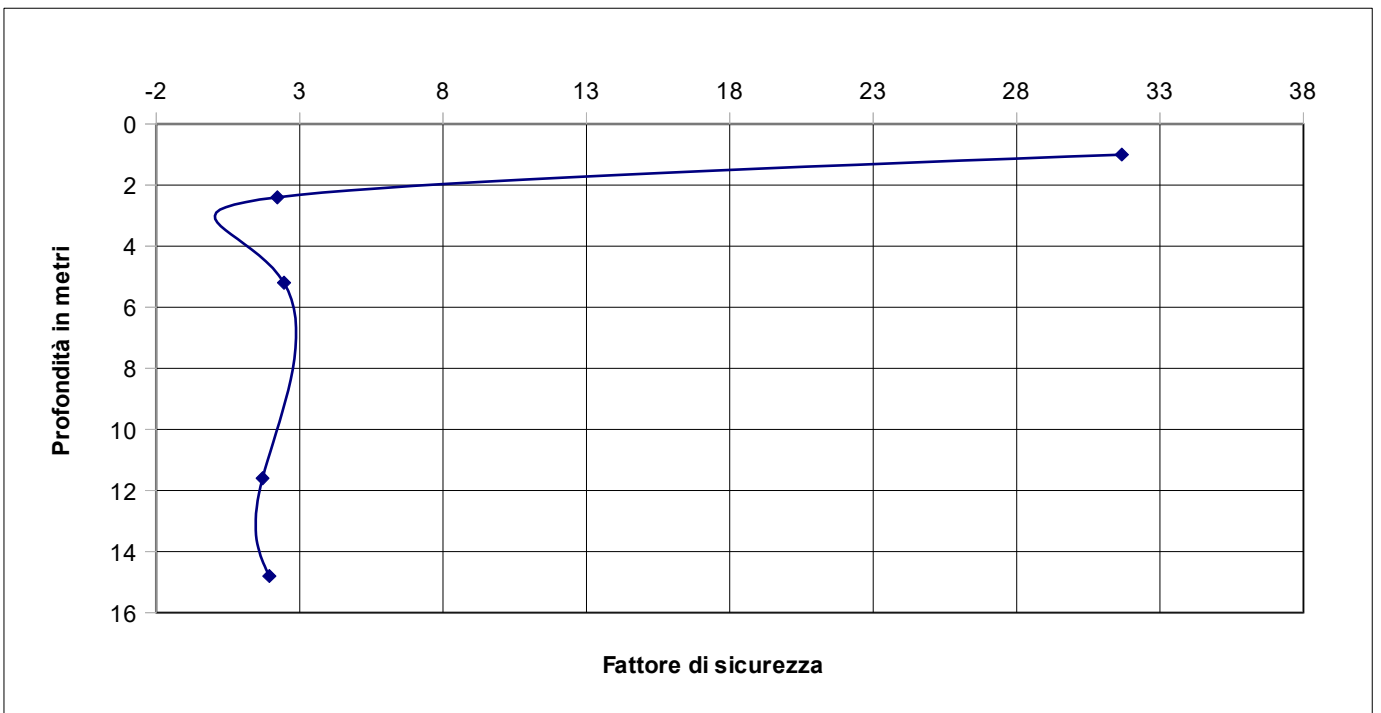
Magnitudo del sisma

Profondità falda in metri dal p.c.

Sovraccarico sulla verticale di misura (t/mq)

0,15
6,5
1,3
0

z	Y	Ysat	Dr	zw	so	Uo	s'o	Nspt	pc	N1	Na	rd	MSF	T	R	Fs	Suscettibilità
1	1,8	1,85	90%	0	0,18	0	0,18	13	5%	4,5	29,61	0,99	1,6	0,06	1,91	31,67	no falda
2,4	1,85	1,85	15%	1,1	0,44	0,11	0,33	2	78%	11,8	15,1	0,98	1,6	0,08	0,18	2,22	non liquefacibile
5,2	1,91	1,91	31%	2,8	0,97	0,39	0,58	9	25%	6,5	18,42	0,96	1,6	0,1	0,24	2,46	non liquefacibile
11,6	1,87	1,87	25%	7,5	2,17	1,03	1,14	3	78%	11,8	14,57	0,86	1,6	0,1	0,17	1,71	non liquefacibile
14,8	1,93	1,93	36%	6	2,79	1,35	1,44	11	25%	6,5	15,25	0,78	1,6	0,09	0,18	1,95	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 $F_s > 1,3$ (sabbie sciolte) o $F_s > 1,5$ (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 - ULT F.s3-4.t4 – E3.a2-3.t1**

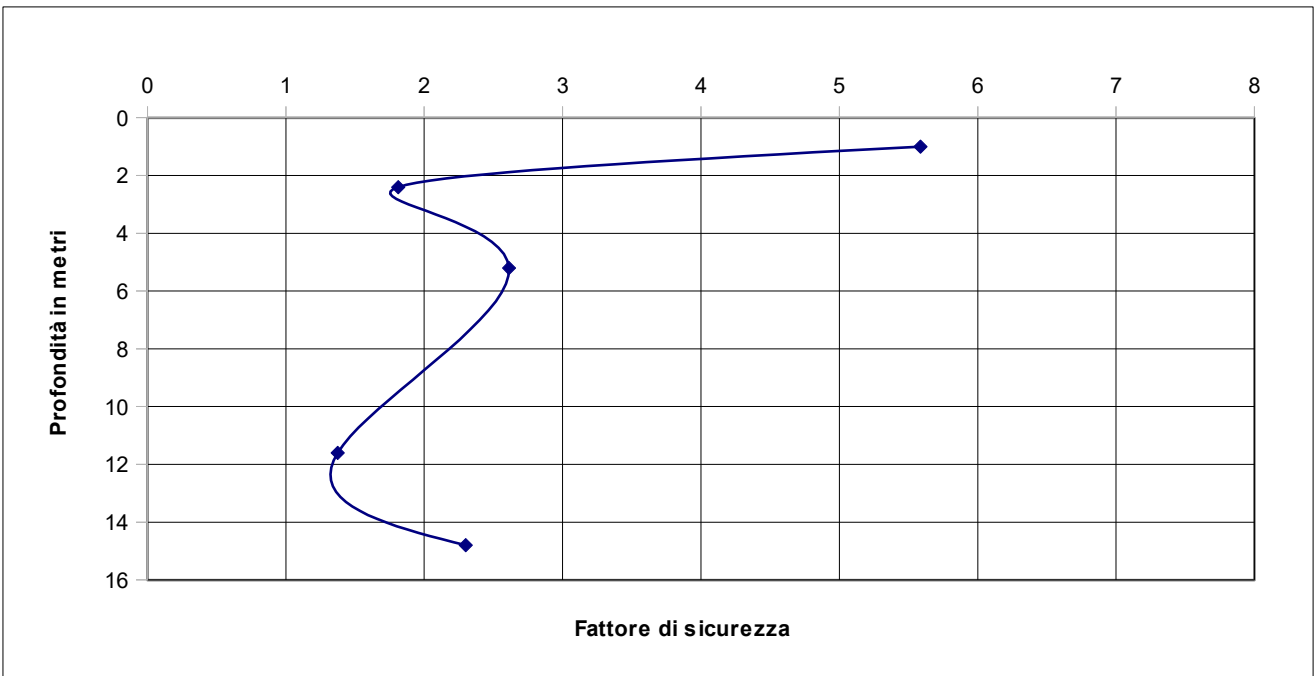
Metodo semplificato di Iwasaki et al. (1984)

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)	0,15
Magnitudo del sisma	6,5
Profondità falda in metri dal p.c.	1,3
Sovraccarico sulla verticale di misura (t/mq)	0

z	Y	Ysat	d ₅₀	zw	so	Uo	s'o	Nspt	N1	rd	MSF	T	R	Fs	Suscettibilità
1	1,8	1,85	7		0,18		0,18	13	-0,05	0,99	1,6	0,06	0,33	5,59	no falda
2,4	1,85	1,85	0,04	1,1	0,44	0,11	0,33	2	0,21	0,96	1,6	0,08	0,14	1,81	non liquefacibile
5,2	1,91	1,91	0,1	2,8	0,97	0,39	0,58	9	0,12	0,92	1,6	0,09	0,24	2,61	non liquefacibile
11,6	1,87	1,87	0,04	7,5	2,17	1,03	1,14	3	0,21	0,83	1,6	0,1	0,13	1,37	non liquefacibile
14,8	1,93	1,93	0,1	6	2,79	1,35	1,44	11	0,12	0,78	1,6	0,09	0,21	2,3	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)
- 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

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

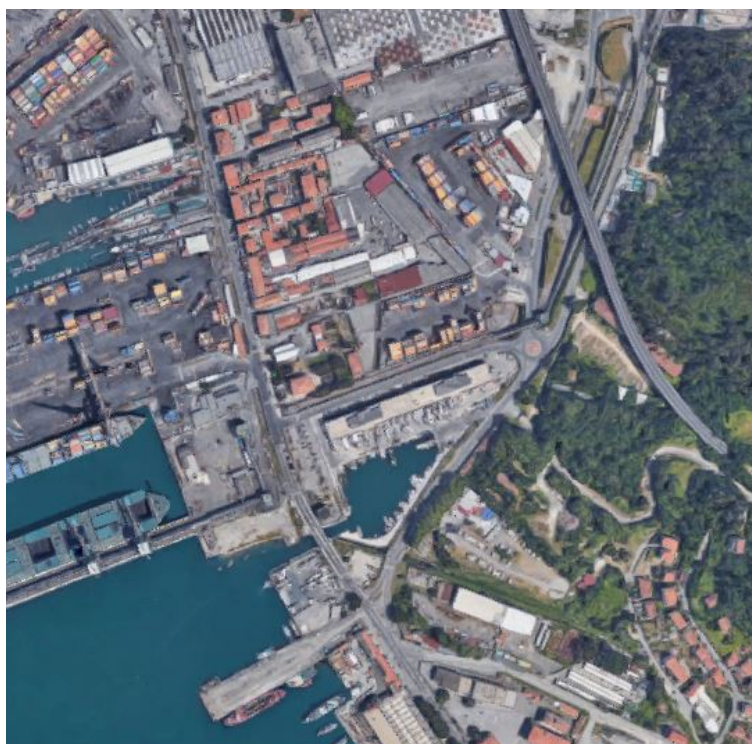
con z = profondità di calcolo (massimo 20 m)

Rischio di liquefazione - Molto Basso

ALLEGATO 6

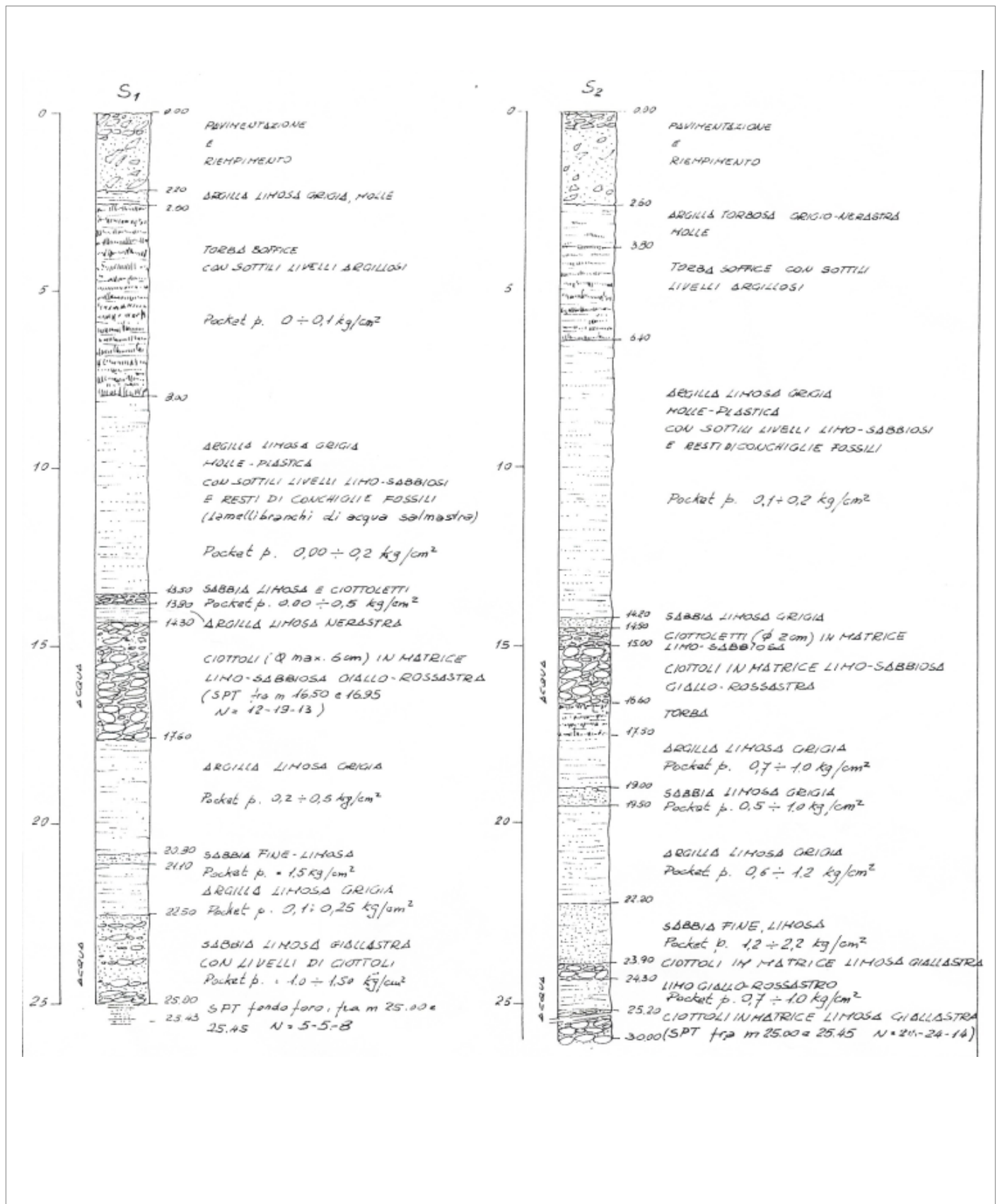
Committente: TARROS spa – GF srl – NORA spa

Dati Pregressi



Dott. Geol. Chiara Nocchi
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 639]

Dott. Geol. Valentina Gianella
[n. iscr. Albo dei Geologi della Liguria 617]



Sondaggi a carotaggio continuo S1 – S2 ubicati nell'area della Caserma dei Vigili del Fuoco spinti alla profondità di 25 metri.

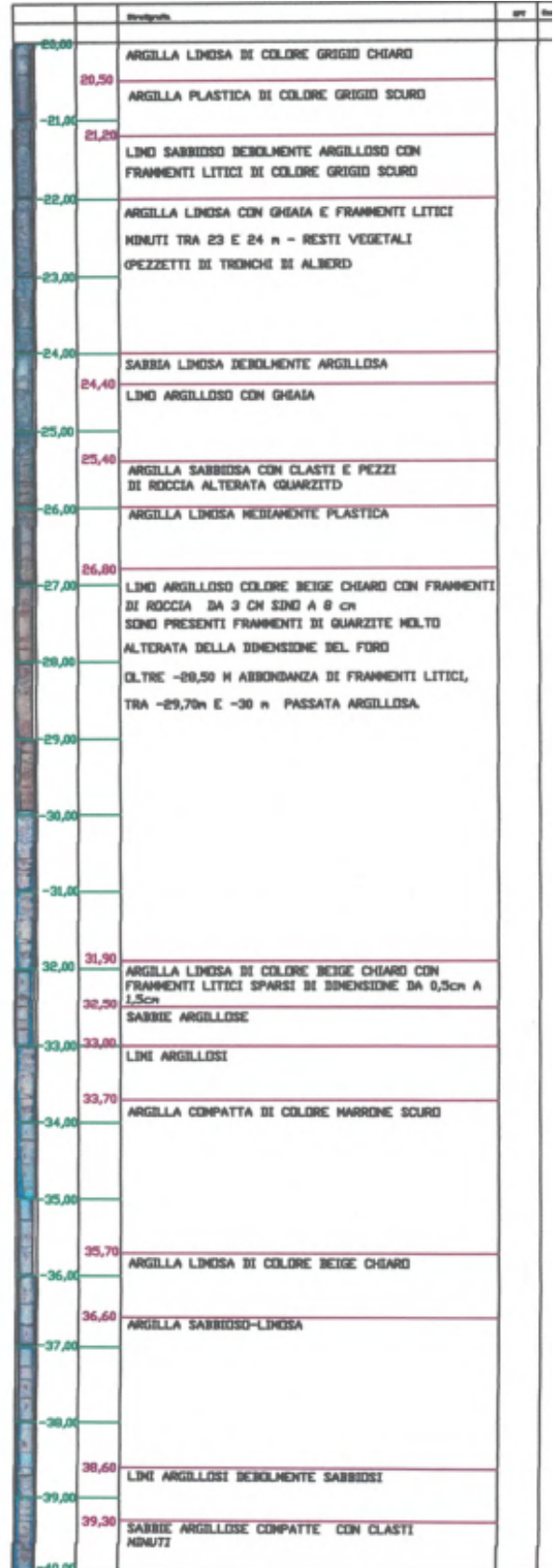
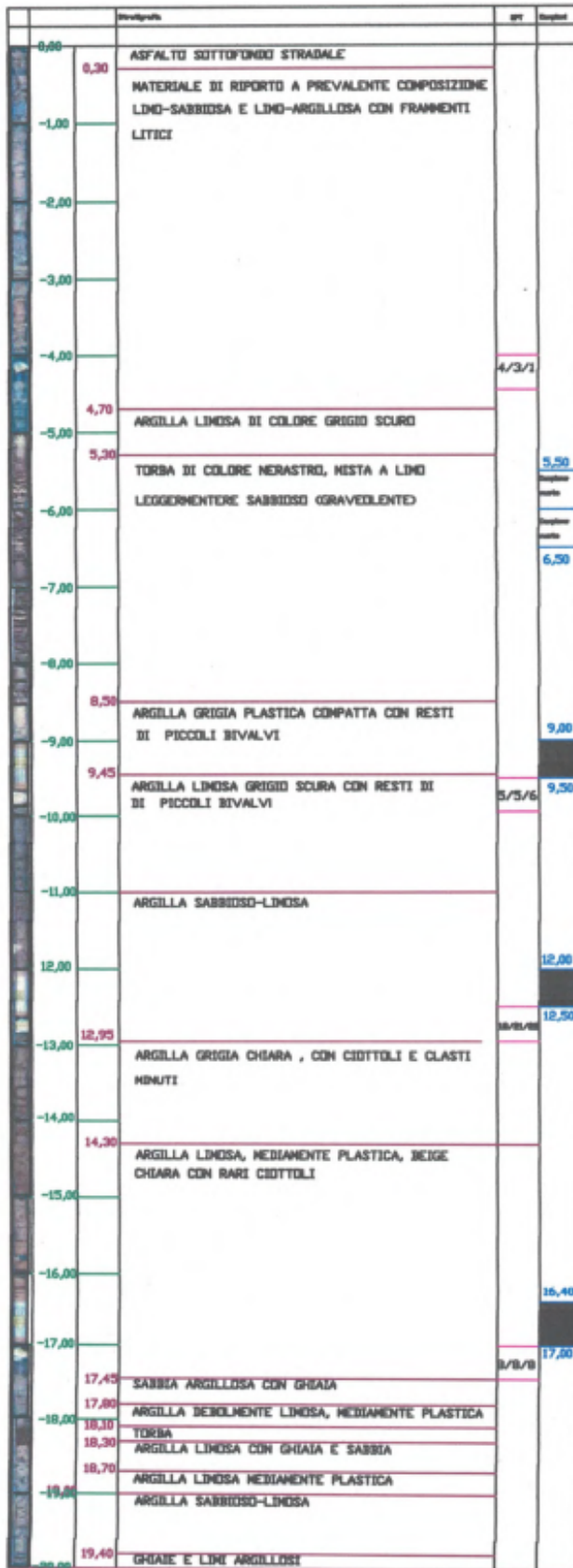
Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5

Sist. perf.	Uso car. serm.	Uso car. NT2	Quota di rifer.	Prof. da p.e.	Spess. strat.	% di car.	Liv. H ₂ O	Strat.	Classificazione
ROTAZIONE RIVERSAMENTO			0	0					
			1		2,7	90			Terreno di riporto eterogeneo (sabbia, ciottoli e clasti)
			2						
			3		2,7				
			4		1,6	85			Sabbia scura con piccoli ciottoli, clasti e resti vegetali
			6		4,2				Sabbia sciolta grigia con ghiaia
			6		6				Sabbia limosa di colore grigio
			7		7	1	100		Sabbia limosa grigia con piccoli ciottoli
			8		8	1	100		Sabbia limosa grigia con piccoli ciottoli
			9		9,5	1,5	95		Sabbia limosa di colore grigio
			10		10	2,6	100		Limo sabbioso argilloso grigio con resti fusti torbosi e resti di conchiglie
			12		12				Limo argilloso di colore grigio marrone
			13		13,6	1,6	100		Limo argilloso di colore grigio marrone
			14		14	1,5	100		Sabbia limosa marrone ocra con pochi ciottoli
			15		16				Sabbia sciolta o ghiaia grossa (H ₂ O in pressione + 0,5 ml da p.e.)
			16		16	1,5	70		Sabbia limosa di colore ocra grigio
			17		18,6	1	100		Sabbia limosa di colore ocra grigio
			18		17,6				
			19		19	2,2	95		Sabbia compatta di colore grigio ocra con piccoli ciottoli
			20		19,7				
			21		21	2,9	90		Limo con sabbia di colore grigio scuro con resti piccoli ciottoli e fusti torbosi
			22		22,6				
			23		23				
			24		24	2,7	95		Sabbia limosa compatta di colore ocra con clasti e ciottoli
			25		25,3				
			26		26,5	1,2	100		Limo sabbioso di colore rossastro ocra
			27		27				
			28		28				
			29		29	5,5	90		Sabbia limosa argillosa di colore ocra rossastro con clasti
			30		30				
			31		31				
			32		32				

Sondaggio a carotaggio continuo S2D sito nell'area della Darsena di Pagliari , eseguito nell'ambito del progetto di realizzazione del capannone, spinto alla profondità di 32 m.

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5

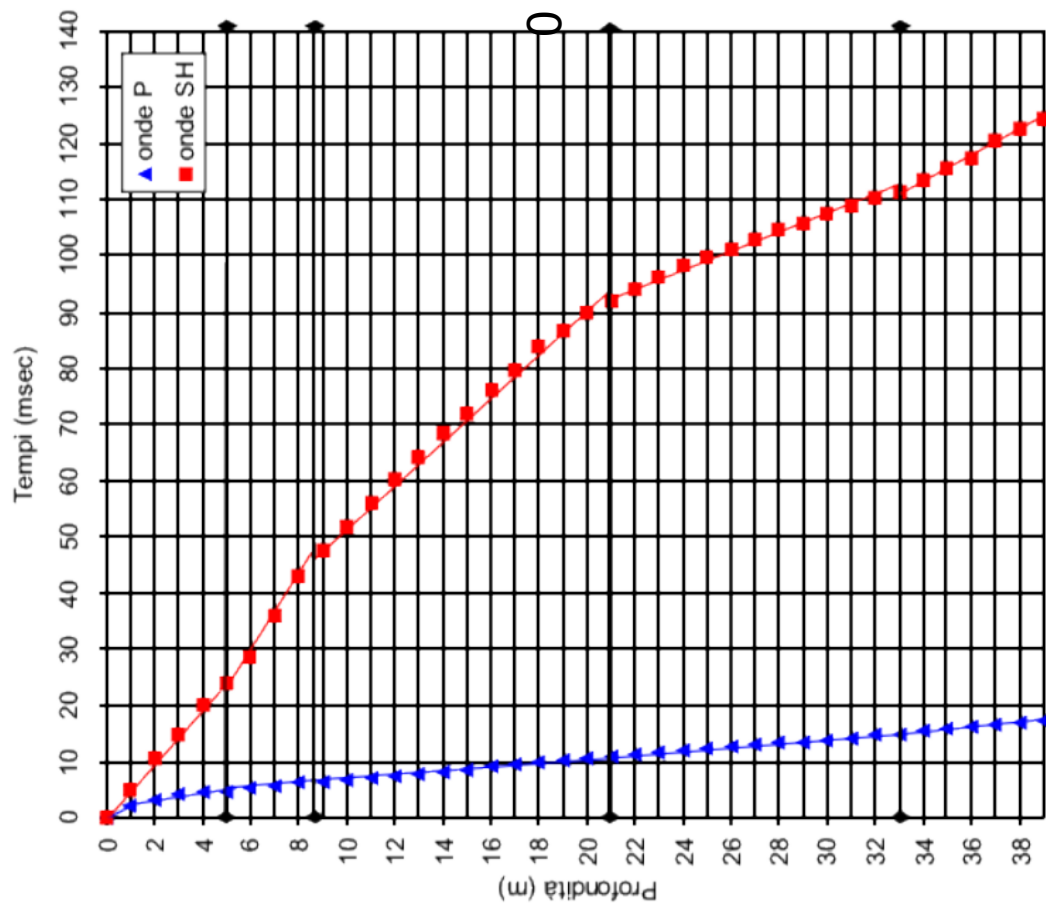
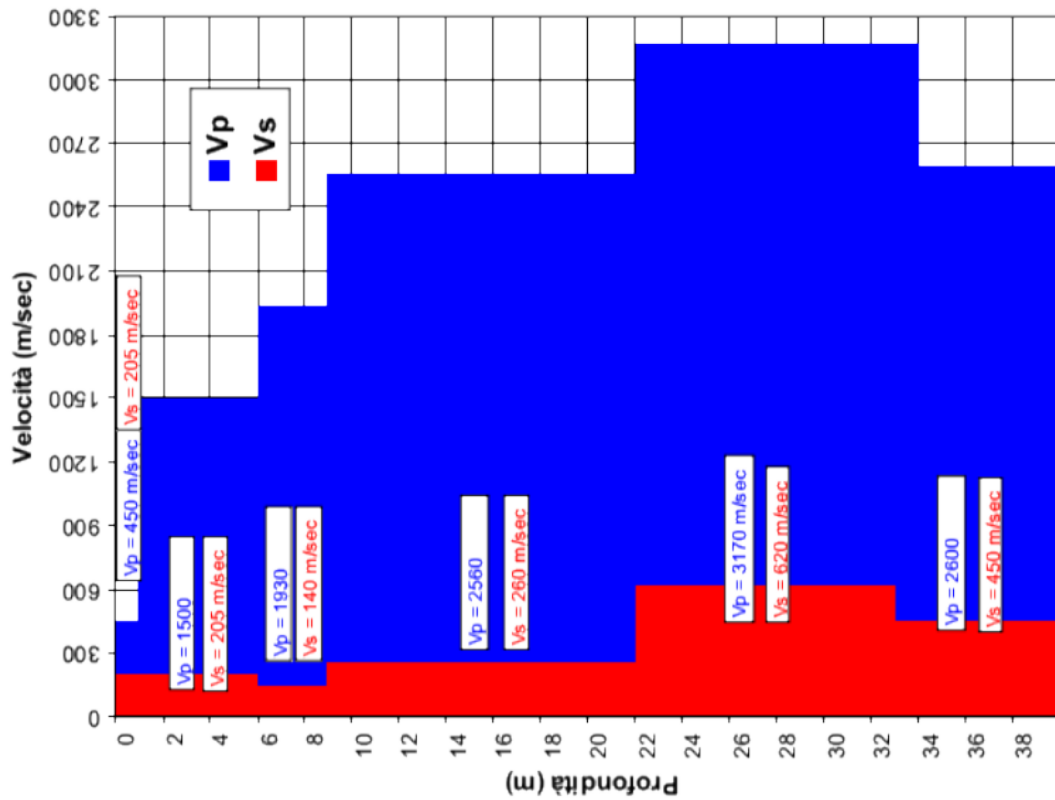
INGEO
STUDIO DI GEOLOGIA
DOTT. GEOL. CHIARA NOGHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA
VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



Sondaggio a carotaggio continuo SB1 sito nelle immediate vicinanze del raccordo autostradale spinto alla profondità di 40 m.

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5

INGEO
STUDIO DI GEOLOGIA
DOTT. GEOL. CHIARA NOGHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA
VIALE ITALIA SNC
C/O GALLERIA PORTO MIRABELLO
19121 LA SPEZIA



Down- Hole eseguita nel sondaggio a carotaggio continuo SB1 sito nelle immediate vicinanze del raccordo autostradale spinto alla profondità di 40 m.

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5

INGEO
STUDIO DI GEOLOGIA

DOTT. GEOL. CHIARA NOGHI
DOTT. GEOL. VALENTINA GIANELLA

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

Conc. Min. Infr. e Trasp. con Decreto n°5930 del 15/06/2011 Settore C

Cantiere: Via Valdilocchi - La Spezia

Committente: Comune di La Spezia

Data inizio perforazione: 18-9-2017

Data fine perforazione: 21-9-2017

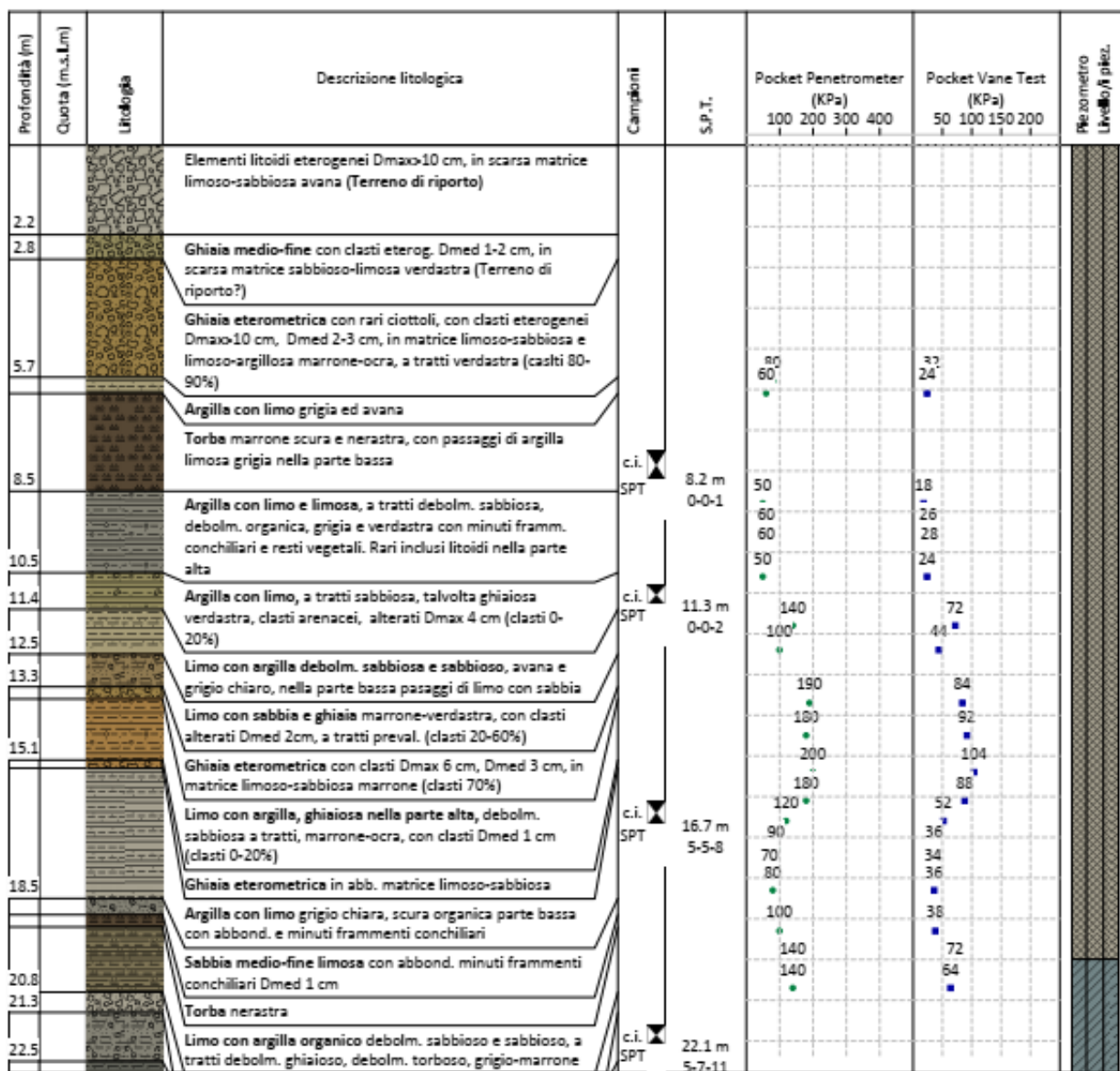
Sondaggio: S1bis

Richiedente: Geol. I Vujica

Lunghezza (m): 50.0

Scala grafica: 1:200

Inclinazione (°):



Sondaggio a carotaggio continuo S1bis, sito nelle immediate vicinanze del raccordo autostradale spinto alla profondità di 50 m.

Progetto Urbanistico Operativo
 P.U.O.
 Distretto di trasformazione API 5

Profondità (m)	Quota (m. s.l.m.)	Litologia	Descrizione litologica	Campioni	S.P.T.	Pocket Penetrometer (KPa)				Pocket Vane Test (KPa)				Piezometro
						100	200	300	400	50	100	150	200	
23.0			Limo sabbioso e con sabbia argilloso debolm. torboso		5-7-11									
24.2			Limo argilloso e con argilla, organico nella parte alta, debolm. sabbioso e sabbioso, grigio scuro e grigio chiaro											
25.3			Limo argilloso e con argilla, debolm. sabbioso e sabbioso nella parte alta, grigio chiaro											
26.2			Limo con argilla, ghiaioso e con ghiaia, grigio-marrone, clasti Dmed 3-4 cm (clasti 0-40%)	c.i. SPT	25.5 m									
26.8			Limo con argilla debolm. sabbioso, marrone		6-8-12									
29.5			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti eterogenei, sia subarrotond. che subangol., Dmax>10 cm, Dmed 3-4 cm, in matrice limoso-sabbiosa e limoso-argillosa, marrone-ocra (clasti 70-90%). Passaggio (27.7-27.9 m) di limo sabbioso argilloso											
30.0			Limo argilloso sabbioso, marrone-ocra											
30.4			Limo sabbioso e con sabbia argilloso marrone-ocra											
31.0			Ghiaia eterometrica con ciottoli, con clasti eterogenei, Dmax>10 cm, Dmed 4-5 cm, talvolta alterati, subarrotond. e subangol., in matrice limoso-sabbiosa	SPT	31.0 m									
33.2			Limo con argilla debolm. sabbioso e sabbioso, con passaggi di argilla con limo, marrone-ocra. Passaggio (33.5-33.6 m) di limo sabbioso	c.i.										
34.7			Sabbia media con limo e limosa marrone-ocra											
35.1			Ghiaia eterometrica con clasti eterog. Dmax 5 cm, Dmed 2	SPT	35.7 m									
36.3			Limo con sabbia e ghiaia marrone-ocra, con clasti eterog. molto alterati, a tratti preval. (clasti 10-60%)		18-21-24									
36.9			Limo con argilla debolm. sabbioso e sabbioso, marrone-ocra											
37.9			Limo sabbioso e con sabbia debolm. argilloso, marrone-ocra, a tratti debolm. ghiaioso e ghiaioso fine, con clasti Dmax 3 cm	c.i. SPT	39.8 m									
40.4			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti eterogenei, sia subarrotond. che subangolari, Dmax 8 cm, Dmed 2-3 cm, in matrice limoso-sabbiosa, marrone-ocra, a tratti abbondante, talvolta prevalente (clasti 40-80%)	SPT	43.0 m									
45.5			Limo sabbioso argilloso, marrone-ocra											
45.9			Ghiaia eterometrica con rari ciottoli, con clasti eterogenei, Dmax>10 cm, Dmed 2-3 cm, sia arrotond. che subangolari, in abbondante matrice limoso-sabbiosa e limoso-argillosa marrone-ocra, a tratti prevalente (clasti 20-80%). Nella parte bassa passaggi centim. di limo argilloso sabbioso	SPT	48.5 m									
49.0			Limo argilloso sabbioso ghiaioso, marrone-ocra, con clasti	c.d.	6-8-12									

Sondaggio a carotaggio continuo **S1bis**, sito nelle immediate vicinanze del raccordo autostradale spinto alla profondità di 50 m.

Progetto Urbanistico Operativo
P.U.O.
Distretto di trasformazione API 5