Città di Rapallo

RIQUALIFICAZIONE DEL GOLFO DI RAPALLO
con ripristino delle vie d'acqua di accesso
al Molo dei Primeri ed al Molo Duca degli Abruzzi

CUP J63H19000210002 - LOTTO 1

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

ELABORATO:	RELAZIONE GEOLOGICA
ALL. 2.2	

RIF: 18-050

REVISIONI	DATA	OGGETTO
00	09/2020	
01	11/2020	VCT-161-20 RC 01 del 31/10/20
02		
03		

RED.: AF VER.: AR APPR.: GR

CAPOGRUPPO:

Dott. Geol. Debellis Giovanni

Geol. GIOVANNI DEBELLIS
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
T: +39 338-6079760 F: 0187-816486
gvdebellis@gmail.com
g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

MANDANTI:

MarTech
Marine Technical Systems
Viale Trieste, 65/i - 09123 Cagliari - Italy
Tel. +39 070 6848202 - Fax +39 070 6404743
www.martech.it e-mail: info@martech.it

SarLand Srls
ingegneria e architettura

COMMITTENTE:

Il R.u.p.

Geom. Marco GROSSO

Il presente progetto, o parte di esso, non può essere riprodotto in alcuna forma, in alcun modo e per nessuno scopo, senza autorizzazione.

Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Sommario:

1. PREMESSE
2. INTERVENTI A PROGETTO
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DI AMBITO
4. INQUADRAMENTO NORMATIVO E VINCOLISTICO
5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO
6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO
7. MORFOLOGIA, SEDIMENTOLOGIA ED EVOLUZIONE DELLA SPIAGGIA SOMMERSA
8. CONSIDERAZIONI SULLA DINAMICITA' COSTIERA
9. EVOLUZIONE STORICA DEL LITORALE
10. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL GOLFO DI RAPALLO
11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI
12. CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO
13. RISPONDENZA ALLA NORMATIVA SISMICA
14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A coda: REPORT DELLE INDAGINI E RAPPORTI DI LABORATORIO

ALLEGATO 1: Carta Geologica di ambito – Scala 1:3.500

ALLEGATO 2: Carta Geomorfologica di ambito – Scala 1:3.500

ALLEGATO 3: Carta Idrogeologica di ambito – Scala 1:3.500

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

1. PREMESSE

Il progetto di cui il seguente elaborato traguarda l'obbiettivo di definire, sotto i profili tecnici di carattere definitivo, gli interventi di riqualificazione ambientale, di protezione civile e di maggior fruizione dell'ambito del Golfo di Rapallo, pesantemente danneggiato a seguito degli intensi eventi meteo-marini del 29/30 Ottobre 2018.

2. INTERVENTI A PROGETTO

La proposta progettuale identifica e verifica i diversi interventi attraverso i quali si propone, in due stralci tecnico-funzionali, di traguardare obbiettivi di riqualificazione ambientale dell'intero Golfo di Rapallo e la sua migliore protezione rispetto ad eventi meteo-marini che negli ultimi anni stanno particolarmente investendo questo ambito.

Il primo insieme di interventi avrà l'obbiettivo di perseguire una maggiore sicurezza e protezione dell'intero perimetro interno al golfo.

Per fare ciò, si propone:

- Il prolungamento di ≈ 10 metri e contestuale rifiorimento della struttura della cosiddetta Diga degli Ampoixi, presso il margine orientale dell'imboccatura. In questo modo, come dimostrato dallo studio meteo-marino, sarà possibile creare condizioni di maggiore sicurezza rispetto all'azione del moto ondoso (modellizzato a diversi tempi di ritorno) presso i comparti di Via Avenaggi, fino al Castello di Rapallo, tipicamente soggetti ad ingressione e allagamenti da parte anche di perturbazioni non particolarmente intense. Sulla punta della struttura verrà posizionata, come da prescrizione del Ministero della Difesa – MARIFARI, la luce di segnalazione verde.
- Realizzare n° 1 pennello in uscita dalla struttura fociva del Torrente San Francesco, rispettivamente in destra orografica. Questo elemento permetterà di canalizzare gli apporti presso i settori mediani del Golfo e consentirà, soprattutto, una più efficace diffrazione del moto ondoso da Scirocco, che tipicamente crea ingressione marina sulla passeggiata di Rapallo.
- Ampliamento della spiaggia naturale localizzata nel nucleo del Golfo di Rapallo. L'accrescimento dell'arenile, oltre a creare ovvie condizioni di maggiore fruibilità turistica, permetterà, innanzitutto, un importante incremento delle condizioni di sicurezza e

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

protezione dal moto ondoso della porzione sommitale Nord-occidentale del perimetro marino cittadino.

Il nuovo arenile verrà contenuto lateralmente da due pennelli soffolti, per evitare che il sedimento divaghi verso la foce del T. Boate ed il Molo dei Primeri, rispettivamente.

- Predisposizione di una rete di collettamento, laminazione e primo trattamento (sedimentazione) dei deflussi della rete delle acque bianche comunali che, ad oggi, scaricano nel golfo presso la "Spiaggia dei Cavallini" e lungo la scogliera di protezione della passeggiata a mare. Questa misura permetterà una migliore officiosità della rete comunale, limitando i periodici allagamenti che, in occasione di piogge intense, interessano il centro urbano.

Il secondo filone di attività a progetto verterà al miglioramento delle condizioni ambientali dell'intero golfo che, a seguito degli intensi eventi meteo-marini del 29 e 30 Ottobre 2018, ha subito gravissimi danneggiamenti sia alle strutture di protezione, sia a carico dell'intero fronte mare e dei fondali interni.

Le analisi in precedenza esperite e la campagna ambientale in esecuzione, in conformità ed attuazione del D.M. n° 173/2016, hanno e stanno fornendo precise indicazione di tipo chimico, fisico ed ecotossicologico sui sedimenti presenti all'interno del Golfo (nel seguito dell'elaborate articolate). In particolare, si prevede il dragaggio di circa 15.000 m^3 di sedimento dal perimetro interno del Golfo: si tratta di apporti solidi caratterizzati da granulometria principalmente medio - fine (sabbie limose e limi) non idonee dal punto di vista fisico ad attività di ripascimento. Sono, inoltre, stati rilevate potenziali contaminazioni nei sedimenti: si procederà, dunque, al dragaggio di tali sedimenti e al loro conferimento in apposito sito di destinazione.

Quanto sopra descritto risulta esplicato nell'allegata documentazione di progetto, che costituisce parte integrante e sostanziale della presente.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DI AMBITO

Il sito oggetto di intervento si trova nel Comune di Rapallo (GE), presso il nucleo della città, in corrispondenza delle seguenti coordinate (baricentro dell'area, Sistema di Riferimento Gauss Boaga):

- Longitudine: 9.23284 E
- Latitudine: 44.34666 N

Il sito in esame è reperibile, dal punto di vista corografico, all'interno del settore nord-orientale del Foglio C.T.R. n° 231070.

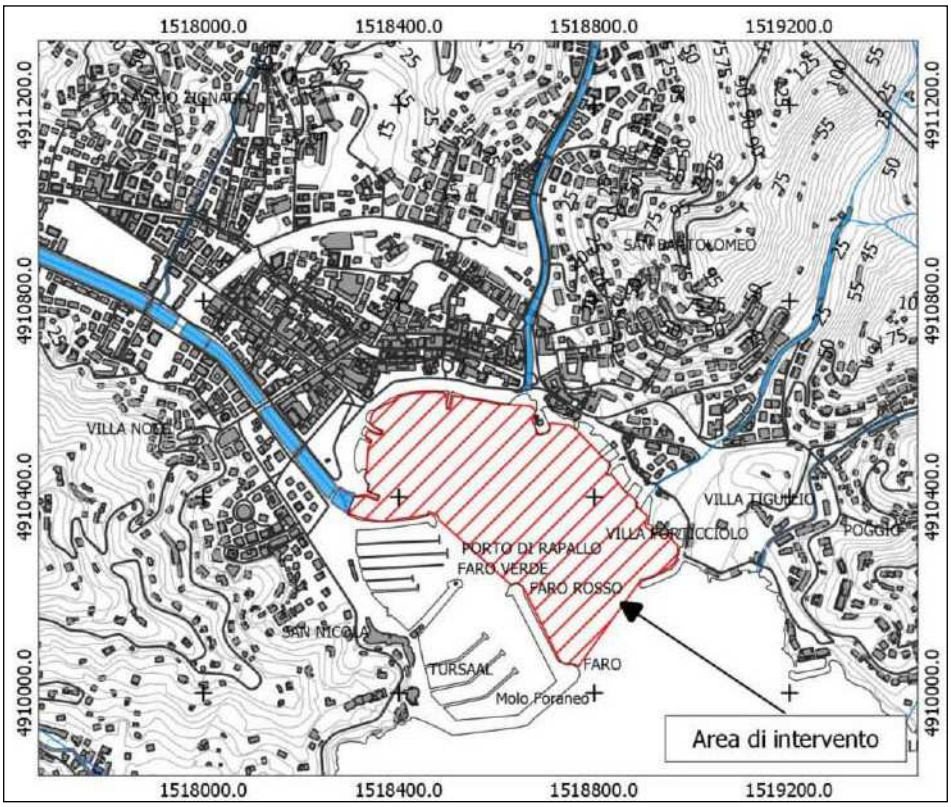


Figura 1: inquadramento cartografico con indicazione dell'area in studio (Carta Tecnica Regionale - Scala 1:15.000. Sistema di riferimento Gauss Boaga).

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

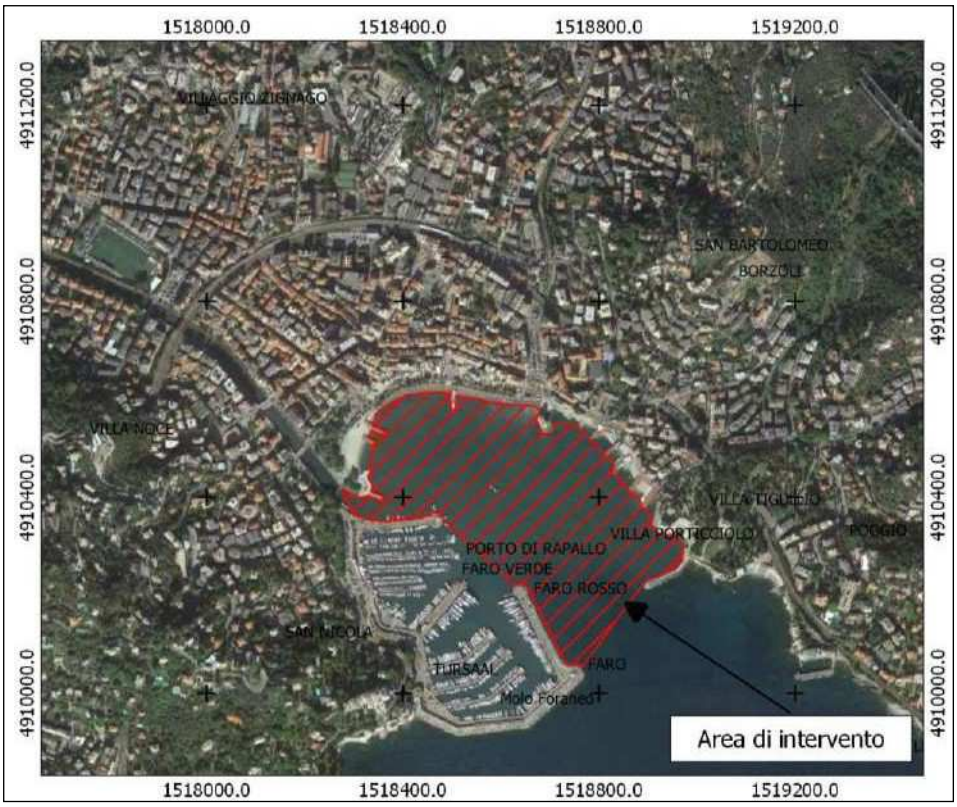


Figura 2: inquadramento su ortofoto con indicazione dell'area in studio (Fonte GoogleShapes Scala 1:15.000; Sistema di riferimento Gauss Boaga).

Il contesto costiero presso cui si è sviluppato il nucleo storico di Rapallo è rappresentato da uno stretto golfo di forma vagamente elissoidica, in posizione apicale a Nord del triangolo formato dai due segmenti di costa che costituiscono l'ambito del Tigullio.

Dimensionando geometricamente il Golfo di Rapallo, approssimandolo, quindi, ad un ellissoide, si osserva come l'asse maggiore, orientato in direzione NW-SE, misuri circa 730 m mentre, ortogonalmente, quello minore si attesti sui 570 m circa.

Le dimensioni naturali dell'imboccatura di accesso al golfo sono state, negli ultimi decenni, ristrette a seguito della realizzazione, presso il margine Sud – occidentale, del porto privato *Carlo Riva* che, di fatto, ne dimezza l'ampiezza. Sul lato orientale l'ingresso al golfo risulta ulteriormente limitato dalla presenza di un pennello-diga (detto degli "*Ampoixi*"), in contrapposizione alla diga foranea del porto; l'accesso libero residuo, a fronte delle antropizzazioni sviluppate nel tempo, è pari a circa 210 m.

Dai punti di vista corografico, morfologico e sedimentologico, la piccola baia che si sviluppa tra la diga Ampoixi e la darsena del Castello dei Sogni risulta essere legata alla dinamica del golfo di Rapallo, più che alla costa alta di Sant'Ambrogio; pertanto, la darsena suddetta può essere considerata il

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

riferimento di chiusura orientale del paraggio, mentre ad occidente il limite è costituito dalla diga foranea del porto Carlo Riva.

La linea di riva all'interno del golfo è, per la sua quasi totalità, di derivazione antropica o, localmente, rocciosa. Si osserva solamente, nel settore nord-occidentale del golfo a partire dalla sponda sinistra orografica della struttura fociva del Torrente Boate, un'esigua striscia di spiaggia sabbiosa che si estende longitudinalmente per circa 137 metri, per poi essere limitata verso Est dalle scogliere radenti a protezione della passeggiata a mare di Rapallo. Limitatissimi arenili si trovano anche in adiacenza del Castello di Rapallo e lungo gli stabilimenti localizzati su Via Avenaggi.

Lo sviluppo totale del tratto di costa compreso nel contesto oggetto di progetto, ovvero il tratto cittadino che dal porto Carlo Riva raggiunge la diga degli Ampoixi, misura circa 1,5 km, di cui circa 290 m occupati da spiagge; il restante sviluppo della linea di costa in studio vede la presenza di settori totalmente antropizzati attraverso scogliere di protezione (lungo la passeggiata) e pennelli con diversa orientazione, posizionati a protezione del nucleo cittadino.

Per quanti attiene, invece, agli apporti in ingresso al Golfo di Rapallo, le portate ed i volumi di trasporto solido vengono recapitati quasi totalmente dai quattro corsi d'acqua principali sfociano all'interno del golfo stesso: il Torrente Boate (26 km^2), il Torrente San Francesco (6 km^2), il Rio Tuia (3.4 km^2) ed il Rio Carchea (1.6 km^2); sono, poi, presenti bacini minori che afferiscono all'ambito costiero cittadino (come ad esempio in Rio Cereghetta ed il Rio Fanga), nonché il complesso della rete bianca cittadina.

4. INQUADRAMENTO NORMATIVO E VINCOLISTICO

❖ Piano di Bacino della Regione Liguria – Ambito 15

- **<u>Suscettività al dissesto.</u>**

  Il contesto territoriale del Golfo di Rapallo oggetto di studio vede la presenza di settori classificati, per la maggior parte, all'interno della Suscettività al Dissesto molto bassa (Pg0) e, in misura minore, bassa (Pg1). Presso i margini occidentali, inoltre, è sovrapposto il tematismo relativo ai Riporti Antropici (B2). Il limite orientale dell'area, presso il Molo degli Ampoixi, rientra, invece, all'interno dei settori di territorio normati all'interno del Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero, riportato nel seguito dell'elaborato.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

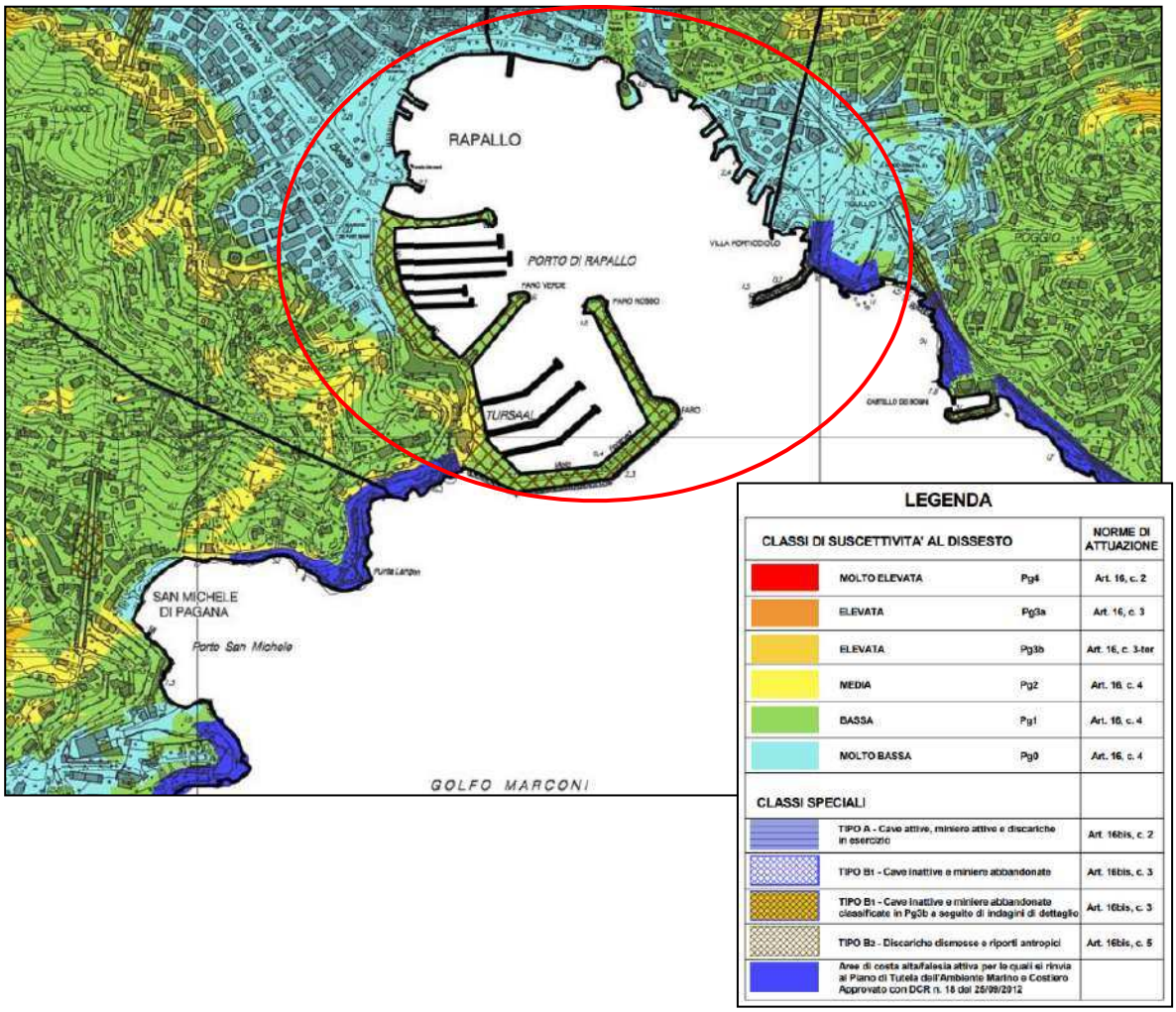


Figura 3: carta della Suscettività al Dissesto con indicazione dell'area in studio (Piano di Bacino_Ambito 15).

- **<u>Carta del reticolo idrografico significativo e delle fasce di inondabilità.</u>**

  Presso il Golfo di Rapallo sfociano i principali reticoli idrografici del territori comunale, in particolare le aste idrografiche del Torrente Boate, San Francesco e del Rio Tuia.

  Ad oggi, la perimetrazione delle Fasce di Inondabilità vede la presenza di settori di territorio (in particolare quelli centro-occidentali) interessati da pericolosità idraulica legata a fenomeni con Tr = 500 anni (Fascia C) e Tr = 200 anni (Fascia B). La porzione centro-orientale del perimetro, invece, rientra nella fascia a pericolosità idraulica molto alta (Fascia A), legata ad eventi con Tr = 50 anni presso l'asta del Torrente San Francesco.

Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

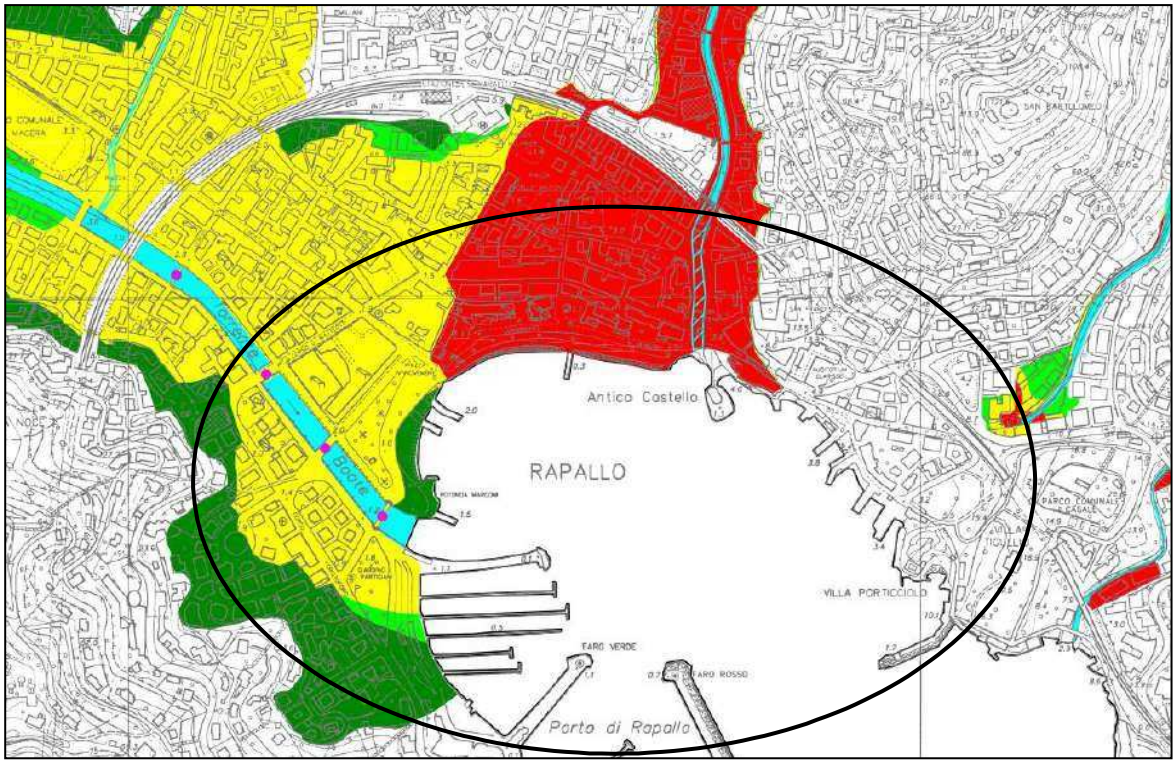




Figura 4: carta delle Fasce di Inondabilità con indicazione dell'area in studio (Piano di Bacino_Ambito 15).

- **<u>Vincolo idrogeologico</u>**

I settori di territorio adiacenti alla linea di costa, compresi i moli, i pennelli e le dighe <u>NON</u> risultano sottoposti a vincolo idrogeologico.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

❖ Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero

Gli interventi attuabili nel Golfo di Rapallo sono assoggettati, secondo L'art. 41 Legge Regionale N° 20/2006, al Piano Di Tutela Dell'ambiente Marino e Costiero della Regione Liguria; quest'area rientra nel Paraggio Costiero 07 "Rapallo" – Ambito Costiero 15 (Unità Fisiografica UF_22, da Punta di Portofino a Punta di Sestri Levante), limitato ad est dal Castello dei Sogni e ad ovest da Punta Longon. In particolare, la Carta dei Regimi Normativi distingue, all'interno del Golfo di Rapallo, ambiti ricadenti in 3 distinte classi:

- le spiagge (tra la foce del Boate e Piazza IV Novembre e quelle tra l'Auditorium delle Clarisse e il settore settentrionale di Villa Porticciolo) ricadono in zone di fascia dinamica FDA (area a pericolosità alta) e FDB (area a pericolosità media);

- la costa alta, a partire dalla zona di Parco Casale verso oriente, ricade in fascia di falesia attiva FAB 1.

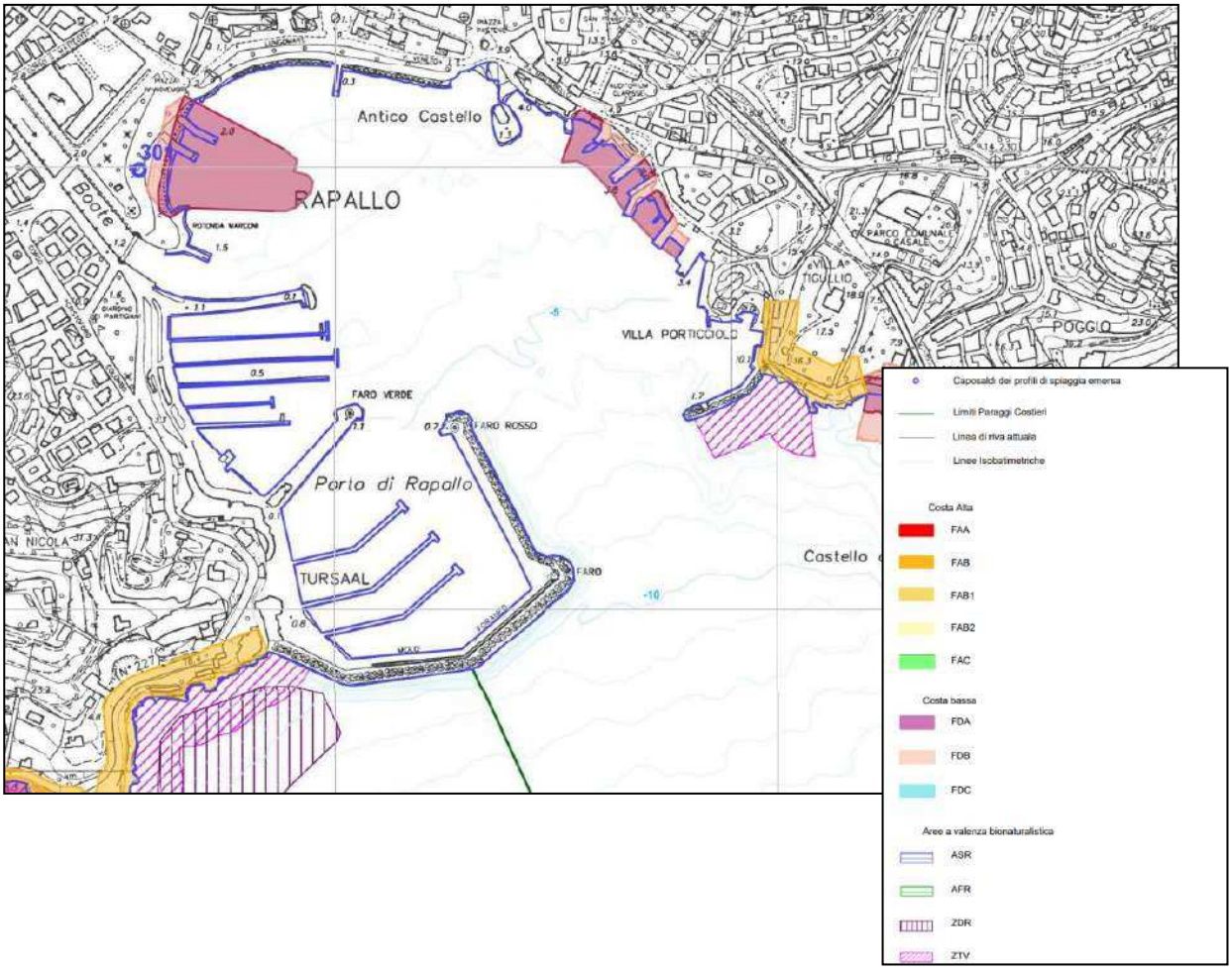


Figura 5: inquadramento vincolistico tratto dalla Carta dei Regimi Normativi a corredo del Piano di Tutela dell'Ambiente Marino e Costiero PT15-C09.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Secondo le disposizioni di cui all'art.8 comma 2 delle Norme di Attuazione, nella fascia dinamica FDA, che si estende dalla profondità di chiusura della spiaggia sommersa al limite del run-up massimo per onde di qualsiasi provenienza con un tempo di ritorno di 1 anno, non è consentita la realizzazione di opere riflettenti il moto ondoso, come definite all'articolo 5 comma 1 lett. o.

Nel caso di opere riflettenti già esistenti, nelle more dell'applicazione delle misure di intervento vincolanti di cui all'articolo 6 comma 5, sono consentiti interventi di modifica a condizione che diminuiscano gli effetti di riflessione del moto ondoso e che l'impronta dell'opera non sia ampliata verso mare.

Nella fascia dinamica FDB (art.8 comma 3), che si estende dalla profondità di chiusura della spiaggia sommersa al limite del run-up massimo per onde di qualsiasi provenienza con un tempo di ritorno di 50 anni, *fermo restando che alla realizzazione di ogni nuovo manufatto si può procedere secondo modalità tali da limitare al massimo i fenomeni di riflessione del moto ondoso e i manufatti esistenti siano resi ove possibile meno riflettenti*, non è consentita la realizzazione di opere marittime di difesa costiera parallele alla costa, sia aderenti sia distaccate. Sono fatti salvi gli interventi di manutenzione di opere marittime esistenti di difesa costiera parallele alla costa finalizzati alla tutela della pubblica e privata incolumità, nonché gli interventi di ripristino che non comportino aumento delle dimensioni preesistenti dell'opera.

Come definito dall'art.9 comma 2 delle Norme di attuazione, infine, le aree di costa alta ricadente in fascia ad alta suscettività al dissesto (FAB 1) comprendono i tratti di falesia attiva (dal livello del mare al ciglio della stessa) che, per le caratteristiche meccaniche e fisiche del tipo di roccia e anche a seguito di studi di maggior dettaglio, hanno alta probabilità di dissesto. In queste aree vige la norma associata alla PG3 del corrispondente Piano di Bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico.

Si riportano, seppur esterni al perimetro di progetto, i regimi normativi relativi ai settori adiacenti al Golfo di Rapallo, al fine di descrivere con maggior dettaglio la macroarea in cui la progettazione stessa si inserisce:

- Zone a trasformazione vincolata – ZTV (art. 11 comma 1 lettera c): tratti di costa rocciosa di particolare importanza per la biodiversità (habitat "1170 Scogliere" di cui alla Direttiva CE/92/43) da preservare dalle trasformazioni antropiche); rientrano in questa zona a) il tratto di mare ad est della diga Ampoixi prospiciente Villa Tigullio e presso il Castello dei Sogni, e b) fuori dal paraggio, il tratto di mare ad ovest della diga foranea del porto, subito sottocosta.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Secondo quanto riportato dall'Art 14 comma 1, nei tratti di costa rocciosa di cui all'articolo 11, comma 1 lett. c, non sono consentiti:

a) porti, porti turistici ed approdi turistici;

b) opere marittime radicate alla costa, ad eccezione delle opere finalizzate alla difesa dell'abitato dall'erosione marina;

c) ripascimenti ad eccezione di quelli necessari per la manutenzione di spiagge esistenti in equilibrio con le condizioni idrodinamiche locali e che impieghino materiali aventi comprovata stabilità.

- Zone diportistiche regolamentate – ZDR (Art.11 comma 1 lettera d): si tratta di aree marine ove sussiste il degrado dell'habitat "*1120 Praterie di Posidonia*" di cui alla Direttiva CE/92/43, dovuto ad ormeggi e/o ancoraggi. In questa zona ricano le aree ad ovest della diga foranea del porto, fuori dal paraggio. Secondo quanto regolamentato dall'art. 15 comma 1, nelle zone diportistiche regolamentate di cui all'articolo 11, comma 1, lett. d, è vietato, nel periodo della stagione balneare, l'ancoraggio delle unità navali aventi lunghezza uguale o maggiore a 5 metri. Sono escluse dal divieto le unità navali che effettuano attività di pesca professionale o attività istituzionali di monitoraggio delle acque. L'ormeggio al gavitello è consentito solo attraverso tecnologie compatibili con il buono stato di conservazione degli habitat marini.

Inoltre, in accordo con la Carta delle criticità sulla qualità' delle acque e sulla biodiversità marino costiera, il lato orientale della diga Ampoixi e il tratto di mare a partire dall'Hotel Excelsior verso occidente sono definiti come *tratti di costa alta da preservare dalla trasformazione antropica*.

Il Piano di Tutela delle Acque (2019) classifica il tratto di costa che va dalla foce del Torrente Boate verso oriente, fino a circa l'ormai distrutto pontile meridionale dei Bagni Lido & Flora, ed il tratto di costa dal limite orientale della scogliera in sponda destra del torrente san Francesco fino circa Villa Porticciolo e da Villa Porticciolo alla diga Ampoixi come "*Aree protette lineari - tratto di balnezione*".

Con questa definizione, Regione Liguria individua le acque destinate alla balneazione e provvede, come previsto dal D.P.R. 8/06/1982 n. 470 (di attuazione della Direttiva n. 76/160/CEE, ora abrogata e sostituita dalla Direttiva 2006/7/CE del 15 febbraio 2006, recepita in Italia con il D.Lgs. n. 116/2008)

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

grazie all'Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente, ad eseguire i monitoraggi per la verifica della loro conformità.

Sulla base dei risultati ottenuti in ciascun anno, la Regione provvede ad individuare, prima dell'inizio della stagione balneare successiva, le zone idonee e le zone non idonee alla balneazione.

5. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

In accordo con la Carta Geologica Regionale (CGR) scala 1: 25000 tav. 231.1, 231.4 "Chiavari-Recco", il territorio emerso che delimita il Golfo di Rapallo presenta variegate caratteristiche geologico - strutturali: la piana alluvionale sulla quale insiste il centro storico e la maggior parte del tessuto cittadino moderno è costituita da depositi di tipo alluvionale di spessore pluridecametrico (fino a circa 25 m - *Brandolini et al., 2017*), intervallati a depositi di spiaggia, approssimandosi alla linea di costa, dove quest'ultimi divengono prevalenti; la presenza di depositi di spiaggia in contatto eteropico con i depositi alluvionali è correlata alle oscillazioni del livello medio mare durante l'Olocene (*Brandolini, 1994*). Terrazzi fluviali e marini, individuati in alcuni tratti dei rilievi che circondano la piana alluvionale, rilevabili, in particolare, alle quote comprese tra 15 e 80 m s.l.m.m., testimoniano la variazione del livello di base.

Il substrato roccioso che costituisce l'ossatura alla base dei settori pedemontani e collinari è riferibile ai Flysch del Monte Antola (*Campaniano superiore – Paleocene*), appartenente all'Unità del Monte Antola. Presso i settori pedemontani e collinari, il substrato roccioso risulta essere ricoperto da coltri eluvio-colluviali mediamente poco sviluppate, per la maggior parte di potenza compresa fra 1 a 3 m.

I Flysch di Monte Antola, dal punto di vista della tipologia sedimentaria alla base della loro diagenesi, vedono la presenza di calcari, calcari marnosi, calcareniti e marne con intercalazioni di argilliti grigio scure.

La stratificazione delle bancate calcareo - marnose presenta in generale una giacitura concorde lungo il comparto di affioramento nei tratti di costa rocciosa, seppur localmente risulti influenzata da fenomeni plicativi che influiscono debolmente sia sulla direzione degli strati, tendenzialmente parallela alla linea di costa, che sulla loro immersione, mantenendo tendenzialmente un'inclinazione ad alto angolo (60-85°).

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

I Flysch di Monte Antola sono stati infatti interessati da almeno tre eventi deformativi principali e, da un quarto meno evidente, che hanno generato sistemi di pieghe a grande scala.

La variazione locale della direzione di immersione della stratificazione fa sì che si vengano a creare condizioni dell'ammasso roccioso variabili da reggipoggio a franapoggio.

Il ritmo deposizionale delle bancate risulta essere piuttosto costante: gli strati evidenziano, infatti, una potenza compresa mediamente fra 40 e 60 centimetri; talvolta, come tipicamente avviene nei Flysch di Monte Antola, sono rinvenibili intercalazioni argillitiche fissili, nelle quali si evidenzia maggiormente una impronta deformativa di tipo duttile e livelli di deposizione più marcatamente terrigena, evidenziata da livelli arenacei.

La continuità strutturale dell'ammasso roccioso è interrotta da sistemi di vene che intersecano le superfici di strato, provocando la diaclasatura dell'ammasso roccioso stesso. La loro apertura varia da millimetrica a centimetrica, con spaziatura massima di circa 40 cm e sono riempite da cristalli millimetrici di calcite. Alcune di queste sono classificabili come delle "*shear veins",* cioè vene lungo le quali si è verificato spostamento relativo delle pareti, e sono responsabili della dislocazione dei set più antichi.

Rispetto ai settori impostati sui Flysch del Monte Antola, fanno eccezione le porzioni di territorio che si sviluppano a partire da Via Privata Macera in direzione Sud/Sud-Ovest e la zona presso l'Auditorium delle Clarisse fino a circa Via Tuia, presso le quali il substrato è costituito dalle Marne di Monte Verzi (*Campaniano inferiore -Campaniano superiore*) appartenente all'Unità del Monte Gottero, che includono alternanze di calcari nerastri, scisti neri e marne giallastre.

Lo stato di alterazione delle bancate di roccia del substrato dipende essenzialmente dalle condizioni di esposizione e dalla natura, più o meno marnosa, delle facies interessate.

Le bancate più calcaree sono in generale più compatte e quindi meno alterate, con una resistenza medio – elevata.

I livelli marnosi e argillitici sono in genere molto più alterati, specialmente se interessati da circolazione idrica; in questo caso i primi hanno spesso un aspetto terroso e plastico anche se la consistenza può essere medio-alta. Se l'alterazione non ha ancora prodotto il disfacimento totale, si può avere uno stato di conservazione intermedio per il quale la roccia viene definita tenera o debole.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

I livelli argillitici, quasi sempre scistosi, hanno un comportamento analogo: le loro caratteristiche di resistenza decadono rapidamente al crescere del grado di alterazione, che può interessare livelli anche relativamente profondi (fino a molte decine di metri).

In caso di giacitura sfavorevole, le intercalazioni marnose scistose e argilloscistose alterate possono costituire piani di debolezza preferenziali lungo i quali possono instaurarsi i fenomeni di instabilità.

Il golfo, la piana alluvionale del Torrente Boate e la linea di costa tra Rapallo e Zoagli, sotto il profilo strutturale, sono impostate lungo una delle principali direttrici tettoniche regionali con trend WNW-ESE; le valli dei tributari minori e la linea di costa tra Rapallo e Portofino, invece, seguono un trend NNE-SSW.

La cartografia geologica di ambito (rappresenta in Scala 1:3.500 nel Sistema di Riferimento Gauss Boaga) è riportata nelle tavole allegate al progetto.

6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'insenatura del Golfo di Rapallo costituisce la naturale prosecuzione della piana alluvionale del Torrente Boate, collocata alla base di un ampio anfiteatro naturale delimitato, rispettivamente, a Nord dallo spartiacque con la Val Fontanabuona, ad Ovest da quello con la valle del Torrente Recco e a Sud da quello con il Torrente San Siro e di San Michele di Pagana.

La morfologia elissoidale del Golfo che, come detto precedentemente, presenta l'asse maggiore orientato in direzione NW - SE, è stata pesantemente impattata dall'attività antropica durante gli ultimi due secoli.

La linea di costa, infatti, vede la presenza di strutture e modifiche di tipo insediativo antropico (riempimenti per la realizzazione della passeggiata, strutture longitudinali e trasversali alla linea stessa) soprattutto in corrispondenza degli ambiti prevalentemente pianeggianti (nei quali sono localizzati i limitati tratti di spiaggia del comparto), mentre sono presenti settori di costa alta rocciosa ai margini del Golfo a Sud e a Nord-Est (a partire dal comparto di Parco Casale verso oriente).

La costa alta risulta interessata dalla presenza di edifici di natura residenziale e turistico - ricettiva costruiti in immediata prossimità alla falesia attiva; questa ha uno sviluppo altimetrico massimo mediamente di circa una decina di metri.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Ai fini della stima e analisi di trasporto solido potenziale, soprattutto nell'ottica della disponibilità sedimentaria a disposizione degli arenili del Golfo, i Torrenti Boate e San Francesco risultano avere una dinamica media annua significativa, rispettivamente di circa 2000 m^3 e 1000 m^3 /anno. La progressiva modifica alla originale conformazione morfologica della piana alluvionale di Rapallo attraverso la canalizzazione e rettifica delle aste idrografiche, unitamente alle debolissime pendenze dei tratti terminali, hanno, tuttavia, comportato una ridefinizione importante dei profili di equilibrio dei torrenti stessi: si assiste, infatti, alla deposizione dei sedimenti medio grossolani in posizione molto arretrata rispetto alla struttura fociva, alla quale giungono sedimenti a granulometria media molto fine, per lo più inadatti all'alimentazione delle spiagge del paraggio cittadino.

Aspetti idrogeologici

Per quanto attiene l'aspetto idrogeologico, la quasi totalità della superficie del territorio emerso adiacente la linea di costa è impermeabilizzata artificialmente, ad eccezione di piccole aree adibite a verde pubblico e dei giardini di Villa Tigullio e Parco Casale. Le acque di scorrimento superficiale sono quindi per la maggior parte convogliate nella rete cittadina di smaltimento delle acque bianche, il cui percorso spesso ricalca quello di rii che anticamente solcavano la piana alluvionale e che nel corso degli anni sono stati tombinati.

I depositi alluvionali, sottostanti la superficie impermeabilizzata, sono permeabili per porosità; la loro permeabilità risulta influenzata dalla presenza o meno di matrice fine, o di livelli di terreni sabbioso-limosi.

Il substrato roccioso, costituito dai litotipi del Flysch del Monte Antola, è permeabile per fratturazione; la presenza di interstrati argillitici, intervallati agli strati calcareo-marnosi, può localmente ridurre significativamente la permeabilità dell'ammasso roccioso.

Le indagini svolte nel comparto hanno evidenziato che, nei settori di territorio emerso limitrofi la linea di costa, la superficie di falda si attesta ad una profondità di circa 3.0 ÷ 3.50 m sotto il piano campagna.

Anche in questo caso, le cartografie tematiche di tipo geomorfologico e idrogeologico sono riportate nelle tavole allegate al progetto.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

7. MORFOLOGIA, SEDIMENTOLOGIA ED EVOLUZIONE DELLA SPIAGGIA SOMMERSA

La spiaggia sommersa all'interno dell'ambito di studio, in conseguenza della posizione molto protetta e della morfologia delle opere marittime al contorno, presenta una pendenza molto dolce e piuttosto uniforme almeno fino alla batimetrica dei 10 m.

I rilievi batimetrici esperiti e il loro raffronto con quelli precedenti all'evento meteo-marino dell'ottobre 2018 hanno permesso di verificare come la parte più interna del golfo sia caratterizzata da pendenze estremamente limitate, entro l'1%. La struttura sommersa, in particolare in uscita della struttura di foce del T. Boate, vede batimetriche estremamente dilatate, con profondità comprese fra – 1,80 ÷ - 2,00 metri a circa 170 metri dalla linea di battigia della spiaggia stabile al nucleo del Golfo di Rapallo. Si è, inoltre, potuto verificare come gli apporti sedimentari a granulometria fine dominante, derivanti, in particolare, dal Torrente Boate, e la loro interazione con le correnti interne al Golfo abbiano creato condizioni di maggiore accumulo al piede dell'arenile centrale del Golfo.

Al centro della baia il fondo risulta degradare piuttosto omogeneamente verso l'imboccatura; si possono, tuttavia, osservare canali longitudinali di origine principalmente antropica, necessari all'accesso dei natanti e dei battelli all'interno dell'ambito cittadino; l'interazione fra questi con la normale dinamica delle correnti comportano una alterazione della naturalità dei fondali stessi.

La spiaggia sommersa, prima degli eventi meteo-marini estremi che hanno interessato la cittadina di Rapallo nell'Ottobre 2018, presentava una moda sedimentaria piuttosto omogenea, con elevato grado di classazione anche al variare della profondità ed il cui fuso vedeva una significativa presenza dimensionale di elementi aventi diametro medio ≈ 0,1 mm; la molto buona classazione del sedimento (ovvero la sua "monotonia" granulometrica) descrive un contesto ambientale caratterizzato da condizioni dinamiche ad energia moderata ma, tuttavia, costante, in grado, appunto, di classare il sedimento.

Alcune eccezioni sono ascrivibili ai settori di immediata prossimità alle strutture di foce dei principali reticoli idrografici del territorio di Rapallo: gli apporti solidi dei reticoli, infatti, vedono la genesi di depositi nei fronti antistanti alle strutture focive stesse caratterizzati da presenza di sedimenti poco classati. Nel caso del T. Boate è possibile rilevare una percentuale di matrice fine pelitica prossima a circa il 50% della moda sedimentaria, mentre alla foce del San Francesco lo scheletro ghiaioso – sabbioso rappresenta il motivo sedimentario dominante.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Le analisi granulometriche svolte da Rina Consulting GET Srl Genova nel Gennaio 2020 hanno evidenziato le seguenti peculiarità:

- il fondale nel settore settentrionale del Golfo, presso il molo dei Primieri, è caratterizzato dalla presenza di sabbie (85.4 ÷ 95.6%), talvolta ben gradate, con pelite subordinata (4.2 ÷ 13.5%) e rara ghiaia (0.2 ÷ 1%);
- il sedimento presso la foce del Boate è una sabbia (52.9 ÷ 87.6%), talvolta ben gradata; la percentuale di ghiaia (1.1 ÷ 25.4%) diminuisce allontanandosi dalla struttura fociva, a favore del contenuto di peliti che invece aumentano verso il centro del Golfo (4.9 ÷ 45.7%);
- il fondale alla foce del Torrente San Francesco vede una prevalenza di sabbie (51.1%), talvolta ben gradate, e ghiaie (42%); risultano subordinati i ciottoli (5.7%) e le peliti (1.1%); le ghiaie e i ciottoli diminuiscono bruscamente allontanandosi dalla struttura fociva, mentre la percentuale di sabbie (97%) e peliti (2.8%) tende ad aumentare.

8. CONSIDERAZIONI SULLA DINAMICITA' COSTIERA

Il litorale che delimita il Golfo di Rapallo si inserisce in un contesto articolato che coniuga la presenza di coste alte rocciose e di coste basse per la gran parte antropizzate e in minor misura caratterizzate da spiagge sabbiose o sabbioso-ghiaiose.

Costa alta

I settori di costa alta si trovano prevalentemente alle spalle della diga Ampoixi e nei settori sud-occidentali del Golfo a delimitare verso Sud - Ovest il porto Carlo Riva. Ad eccezione della falesia alle spalle della diga Ampoixi, che ricade al di fuori dell'ambito del Golfo, la maggior parte dei tratti di costa alta risulta nascosta da muraglioni di contenimento.

L'ammasso roccioso affiorante presso le falesie è costituito da litotipi appartenenti ai Flysch di Monte Antola, che contemplano la presenza di predominanti calcari, calcari marnosi, subordinate marne, argilliti e rare arenarie.

Nel contesto in esame, ed in particolare presso la diga Ampoixi, l'ammasso roccioso affiorante presenta bancate con direzione circa parallela a costa e assetto variabile da franapoggio a reggipoggio; si presenta inoltre variamente fratturato e attraversato da diverse famiglie di

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

discontinuità (giunti e vene). Le superfici dei giunti sono caratterizzate dalla presenza di patine di ossidazione e morfologia da liscia a ondulata; più raramente sono irregolari o scabre. Le vene contengono invece cristalli di calcite e hanno aperture da millimetriche a centimetriche e superfici da lisce a ondulate. Giunti e vene costituiscono in generale punti di debolezza dell'ammasso roccioso, che possono amplificare l'effetto di una giacitura non favorevole degli strati sulla stabilità dell'ammasso roccioso. La locale presenza di orizzonti argilloscistosi può favorire inoltre l'instabilità delle bancate calcareo marnose predominanti.

Le falesie del settore settentrionale del Golfo possono essere quindi essere definite come *falesie attive*, poiché presentano una elevata propensione al dissesto e possono fornire, soprattutto in occasione di eventi meteo-marini intensi, materiale detritico che potrebbe costituire un ulteriore input sedimentario al drift litorale.

Costa bassa

I settori di costa bassa sono prevalentemente caratterizzati dalla presenza di opere di difesa costiera, tra cui opere aderenti (scogliere in massi, ecc.) e opere trasversali emerse (es. moli, dighe foranee). Le scogliere sono costituite da massi metrici e plurimetrici di materiali lapidei di provenienza locale, tra cui oficalciti dal caratteristico colore rossastro, calcari marnosi, arenarie, ecc.

Una spiaggia sabbiosa, che si estende per circa un centinaio di metri dalla foce del Torrente Boate in sponda orografica sinistra fino all'inizio della scogliera che protegge la passeggiata a mare, e piccole spiagge sabbioso-ghiaiose, caratterizzano rispettivamente i settori occidentali ed orientali del Golfo.

Questo tratto di arenile è stato caratterizzato, per meglio dettagliare le istanze progettuali, attraverso indagini di laboratorio volte alla caratterizzazione granulometrica del sedimento stesso. Sono state, in particolare, prelevate due aliquote, rappresentative sia della spiaggia interna, ovvero prossima al lungomare, sia del settore di battigia.

Si descrivono qui di seguito i risultati salienti e, in allegato a coda testo, i rapporti di analisi.

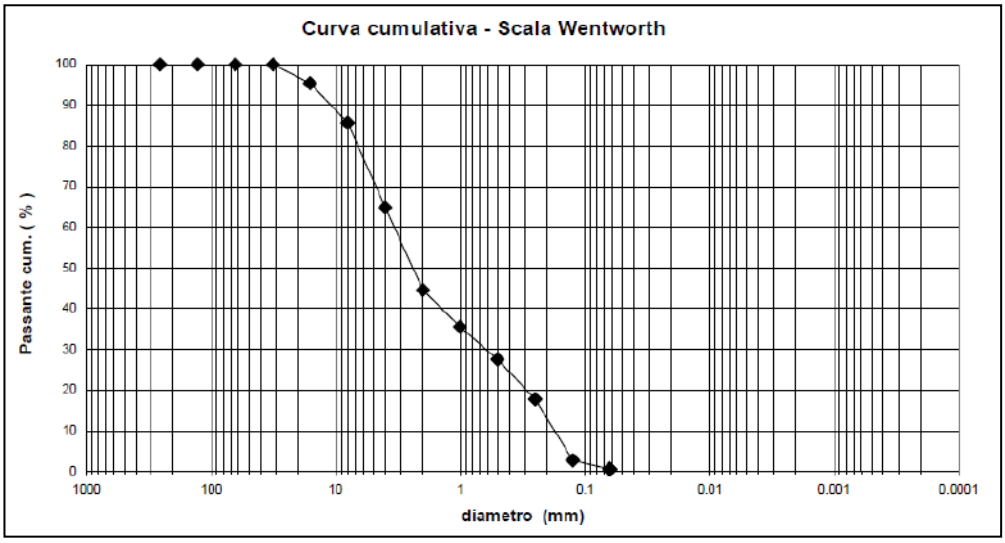
- *Battigia*

Le porzioni di spiaggia prossimale, rappresentate dal campione prelevato sulla battigia, vedono la seguente moda sedimentaria:

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Definizione: Ghiaia e Sabbia con ciottoli

Ciottoli [%]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Pelite [%]
4,64	50,87	43,97	0,52



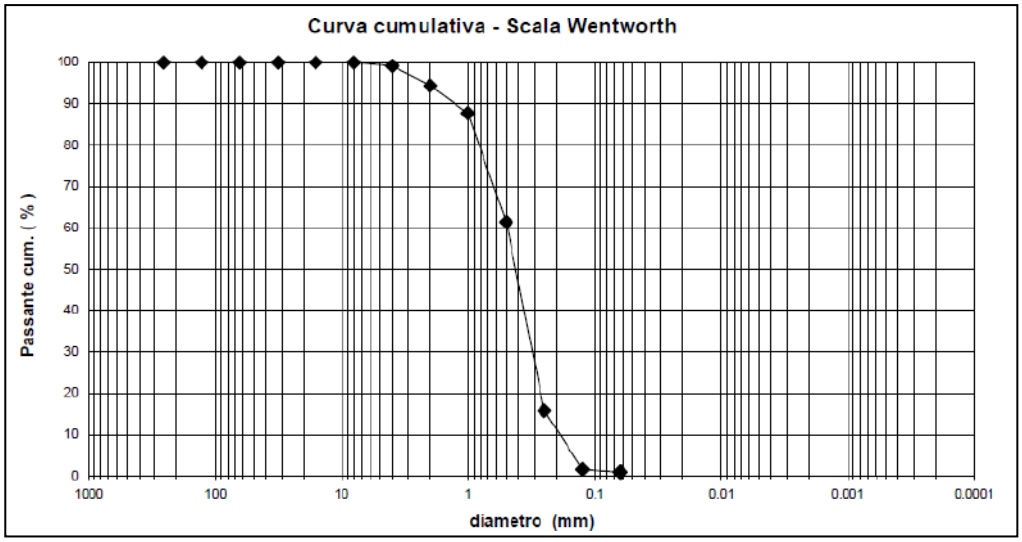
- *Spiaggia emersa*

Per quanto riguarda le porzioni di spiaggia emersa, è stato prelevato un campione rappresentativo del settore retrostante, ovvero prossimo al camminamento pedonale in prosecuzione del lungomare. In questo caso, il sedimento di presenta maggiormente gradato, quasi totalmente centrato sulla classe delle sabbie. Si riportano di seguito i risultati principali:

Definizione: Sabbia con Ghiaia

Ciottoli [%]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Pelite [%]
0,00	5,65	93,46	0,89

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it



Caratteristiche meteomarine dell'ambito di studio

Per quanto riguardo il Golfo del Tigullio in senso ampio, sulla base delle osservazioni effettuate dall'Istituto Idrografico della Marina (1978) per l'isola Palmaria, il settore di massima traversia risulta compreso tra 98° (P. Bianca) e 247° (I.le d'Hyeres) e i venti più frequenti, così come i dominanti, provengono da S-W (Corradi et al., 2003).

I dati delle frequenze medie dello stato del mare, dedotti da tre osservazioni giornaliere relative a 30 anni, mostrano come il mare regnante (frequenza media annua del 60%) abbia intensità medio-bassa (2 ÷ 3), mentre il mare dominante (forza 7), generato dal Libeccio, sia caratterizzato da frequenze molto basse (0,8%) (Corradi et al., 2003). Il moto ondoso è legato principalmente ai venti meridionali di Scirocco e Libeccio in tutto il Golfo del Tigullio ed acquista la sua massima energia in due punti ben precisi: sui contrafforti meridionali del promontorio di Portofino e sul tratto del litorale di Chiavari e Lavagna (Corradi et al., 2003).

In particolare, il paraggio di Rapallo risulta particolarmente esposto ai mari da Scirocco e risulta ridossato rispetto a quelli da Libeccio.

9. EVOLUZIONE STORICA DEL LITORALE

Le prime testimonianze, grazie alle quali è stato possibile ricostruire l'assetto e la morfologia della linea di costa nei pressi del Golfo di Rapallo, sono riconducibili alle mappe del Vinzoni, datate 1723 e 1773 (*Brandolini et al., 2017*).

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

La zona costiera era dominata dalla presenza e dagli apporti del Torrente Boate, la cui asta idrografica era libera di divagare sulla piana alluvionale, e da altri rii minori, ma comunque significativi nella dinamica costiera, mentre le zone collinari erano in gran parte terrazzate e adibite ad uliveti, vigneti e frutteti. L'area prossima alla struttura fociva del Torrente Boate era prevalentemente paludosa, caratterizzata, come è possibile verificare da sondaggi realizzati nell'ambito di piana, dalla presenza di livelli poco profondi di torbe ed argille sensitive ed era storicamente vocata all'utilizzo come scalo merci.

L'assetto della linea di costa ricalcava circa quello attuale, presentando due tratti di costa alta rocciosa a NE e SW, dove era presente un molo (*Molo Langano*) lungo circa 80 m. Una spiaggia di circa 250 m si allungava dalla sponda sinistra del Boate fino l'antico borgo medievale nella parte settentrionale del Golfo. Piccole spiagge erano presenti vicino alla foce del Torrente San Francesco.

Nel 1826 la costruzione della strada di collegamento ai nuclei di Santa Margherita Ligure e Portofino rese necessario modificare l'andamento del tratto finale del Torrente Boate, deviandolo di circa 70 m verso nord ed irrigidendone, al contempo, il suo alveo.

Infatti, l'alveo del nuovo corso d'acqua fu canalizzato e ristretto, mentre la nuova foce estuarina venne localizzata dove, in passato, sorgeva una ampia porzione di spiaggia.

Tra il 1859 1860, poi, si procedette a realizzare importanti riempimenti lungo la linea di costa, in particolare tra la foce del Torrente Boate ed il Molo Langano, al fine di insediare dei cantieri navali: ciò portò all'avanzamento della linea di costa, al restringimento della foce del Torrente Boate e al riempimento di quella che era l'antica foce.

Il decennio compreso fra il 1920 ed il 1930 vide ulteriori e significative modifiche alla linea di costa del nucleo storico di Rapallo, prodotte attraverso l'avanzamento di circa 20 m del fronte mare a seguito dell'incorporazione delle piccole spiagge che si trovavano tra l'antico Castello e la Porta delle Saline, al fine di approntare il riempimento sul quale verrà realizzata l'attuale passeggiata a mare. La forte urbanizzazione dei tratti terminali dei Torrenti San Francesco e Tuia e di molti tributari del Torrente Boate stesso (Rio Cereghetta, Rio Fanga, ecc...), iniziata a partire dagli anni '60 del secolo scorso per via della forte espansione edilizia che caratterizzò Rapallo, comportò la tombinatura e canalizzazione dei rispettivi letti fluviali (*Brandolini et al., 2017*).

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Sia la costruzione della diga foranea del porto comunale, avvenuta negli anni '60 del '900, sia la successiva costruzione del porto Carlo Riva, iniziata nel 1973 (antropizzazione, quest'ultima, che occupa circa un terzo dell'intero Golfo) hanno via via ristretto l'imboccatura del Golfo, modificando fortemente la morfologia dell'insenatura e la sua dinamica.

10. MODELLO LITOSTRATIGRAFICO DEL GOLFO DI RAPALLO

I rilievi esperiti dallo scrivente sono stati implementati con gli esiti della campagna geognostica svolta a corredo della progettazione definitivo-esecutiva necessaria all'adeguamento idraulico della tombinatura sul Torrente San Francesco, in particolare presso il suo settore di foce. Si tratta di una progettazione comunale i cui lavori, ad oggi, risultano in esecuzione mediante lotti funzionali.

- **Settori di costa bassa**

L'analisi delle indagini svolte in prossimità della linea di costa ha permesso di definire un modello litostratigrafico generale dei settori di costa bassa che limitano il Golfo di Rapallo.

In generale si riscontra la presenza di tre strati di terreni sciolti a tetto del substrato roccioso rappresentato dai Flysch di M.te Antola.

Di seguito è riportata la dislocazione degli accertamenti eseguiti in situ e la sequenza stratigrafica tipica rilevata, descritta dall'alto verso il basso:

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

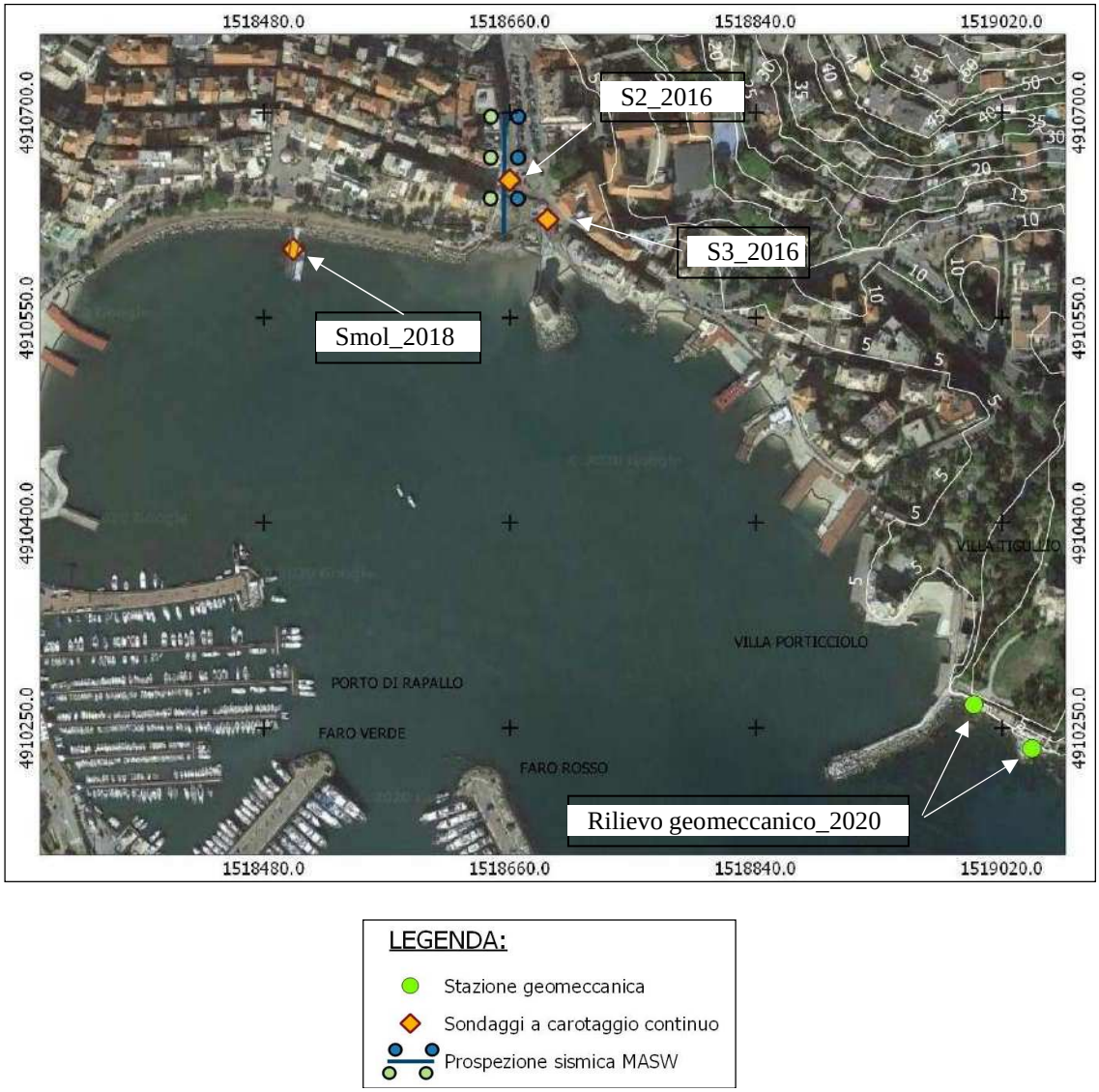


Figura 6: individuazione delle indagini svolte nell'ambito del Golfo di Rapallo. Scala 1:5.000 – Sistema di Riferimento GAUSS BOAGA.

1) Riporti

Si tratta di materiali granulari, rimaneggiati, costituiti da ghiaia sabbiosa con percentuale di frazione limo argillosa assai variabile (20 – 50%), che conferisce al terreno una moderata plasticità. I clasti sono di litologia calcarea, sub – angolari, il colore varia da grigio al bruno, la densità / consistenza è variabile da medio - bassa a medio – alta.

Sono presenti, localmente anche abbondanti, frammenti di laterizi e altri materiali di origine antropica. Lo spessore dei riporti è circa costante, ed è compreso tra 3,0 m ÷ 4,0 m circa. Come accennato nei paragrafi iniziali, durante le fasi di accertamento geognostico, la falda è stata rinvenuta alla profondità media di 3,0 m.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

2) Ghiaie sabbiose limose

Il secondo strato è costituito da ghiaie con sabbia ovvero sabbie con ghiaia, in funzione della mutua percentuale dominante della frazione clastica. Questo scheletro granulare risulta immerso in una matrice limo - argillosa che gli conferisce una moderata plasticità. La percentuale di frazione fine evidenzia una tendenza crescente con la profondità: si rilevano, infatti, incrementi percentuali da un valore di partenza del 25 – 30%, fino a raggiungere valori superiori al 55%.

L'addensamento [consistenza quando la % di fine supera il 50%] è medio/alto, infatti il valore di Nspt è compreso tra 10 e 30 colpi (N1(60) compreso tra 10 e 25 colpi). Il colore, infine, è variabile da grigio bruno al marrone. Lo spessore di questo strato è compreso tra 3,0 e 4,0m.

3) Argille inorganiche di media plasticità

Al letto delle ghiaie sabbiose sono evidenziabili livelli ascrivibili ad argille inorganiche caratterizzate da media plasticità (LL 45-60% -IP 20 – 30), risultano consistenti e molto raramente presentano al loro interno clasti sub – centimetrici di scheletro clastico. La tonalità cromatica dominante è il grigio bruno e grigio nerastro.

Rappresentano l'unica variabile significativa del sito, infatti lo spessore di queste argille varia dagli 8,0 m circa registrati a monte della linea di costa, in prossimità del ponte ferroviario, ad 1,0 m (o meno) in corrispondenza del fronte mare. Colore da grigio bruno a nocciola.

4) Substrato roccioso

Al letto delle argille si trova, in ultimo, il bedrock, rappresentato da alternanze ritmiche di calcari, calcari marnosi, marne, argilliti e, più raramente, arenarie. La litologia predominante è costituita dalla facies calcarea e calcareo – marnosa. La "storia" di questa Formazione è complessa (si veda quanto descritto al Capitolo 6).

La profondità del bedrock è compresa tra 10,0 m e 15,0 m, variabile in forza della divagazione che in passato avevano le aste idrografiche principali ed il conseguente ritmo deposizione alluvionale alla base della genesi del comparto storico di Rapallo.

Tra il substrato propriamente detto e la copertura sedimentaria si interpone uno strato costituito dal prodotto dell'alterazione (più o meno completa) del substrato. Questo strato (il cosiddetto

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

"cappellaccio") presenta frequentemente i caratteri di una ghiaia con sabbia e limo (roccia destrutturata). L'addensamento è medio (Nspt 15 – 20colpi).

11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

- PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE SPT

Limiti della prova

La prova SPT è certamente la più diffusa tra le prove in sito per definire i parametri geotecnici dei terreni per via della semplicità esecutiva, la rapidità e il basso costo. L'interpretazione della prova in termini di parametri geotecnici viene effettuata mediante correlazioni empiriche bibliograficamente consolidate.

La prova si configura sostanzialmente come una prova di resistenza alla penetrazione nel terreno in condizioni non drenate. Il campo ideale di applicazione della prova è quello delle sabbie, prove condotte in terreni di granulometria grossolana forniscono informazioni incerte, così come deboli sono le correlazioni tra Nspt e i parametri di resistenza dei terreni fini e plastici; in questo caso, pur essendo accertato il legame tra Nspt e la resistenza al taglio non drenata "cu", i valori di quest'ultima, calcolati a partire da Nspt, rappresentano una stima di massima e vanno usati con estrema cautela e possibilmente solo nelle fasi preliminari della progettazione. Analoghe considerazioni sono applicabili ai valori dei Moduli E (di deformabilità) ed M (deformabilità in condizioni edometriche).

Resta, comunque, al di fuori di ogni possibile speculazione l'interpretazione della prova in termini di angolo di attrito effettivo.

Ciò premesso, si forniscono nel seguito le valutazioni effettuate in base ai valori di N1(60) (valore di Nspt corretto e normalizzato) ricavati.

Resistenza a taglio in condizioni non drenate cu

Tra le molte correlazioni proposte, spesso fonti di risultati contrastanti, si assume che la relazione tra cu e N sia del tipo:

$$c_U = f_i * N \quad (1)$$

dove *fi* è un fattore di correlazione dipendente dalla plasticità del terreno, compreso tra 4 e 6 (si veda ad esempio Stroud, 1974). Applicata questa, con riferimento al grafico dei risultati riportati nella

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

relazione geotecnica dove è evidente la dispersione dei risultati, è possibile definire un valore medio di *cu* = 75kPa a tutte le profondità.

Modulo di deformabilità

I valori di *E* ottenuti nei due casi sono praticamente coincidenti; sempre con riferimento all'elaborato geotecnico, il grafico mostra la distribuzione del valore medio di *E* al crescere della profondità del terreno; anche in questo caso, ovviamente, il trend è lo stesso e mediando i valori si ottiene *E* = 7MPa a qualsiasi profondità nell'intervallo 3m – 15m.

- PARAMETRI GEOTECNICI DA PROVE DI LABORATORIO

Parametri fisici e di classificazione

- Contenuto in acqua naturale

Determinato su 4 campioni, valori che ricadono in campo plastico.

- Massa volumica

Eseguite 4 determinazione, i valori sono compresi tra 1800 e 2100 kg/m^3, il valore medio è 1911 kg/m^3.

- Distribuzione granulometrica

I terreni granulari più ricchi in frazione ghiaiosa sono prevalenti nei primi 5 – 6 m dei sedimenti con percentuali che variano tra il 30 e il 60%; anche la frazione sabbiosa è presente con le percentuali più elevate nei primi metri (20 -40%). Al disotto dei 6.0m prevale decisamente la frazione fine: 50 – 90%.

- Plasticità

Tutti i tipi di terreno analizzati presentano una frazione plastica, con l'Indice Plastico compreso tra 12 e 33 ed il Limite Liquido compreso tra 30 e 60%; i valori più elevati sono associati a terreni fini profondi.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

- Indice di liquidità

L'Indice di liquidità è un importante indicatore della resistenza dei terreni fini e plastici, *IL* si calcola con la formula Wn – Wp / IP, in questo caso è possibile il calcolo di tre valori 0,62 – 0,24 – 0,14 che indicano terreni consistenti.

- RESISTENZA AL TAGLIO IN CONDIZIONI NON DRENATE

- Coesione non drenata da prove triassiali rapide

Le due prove triassiali *non consolidate non drenate* (*UU*) hanno dato risultati interlocutori, 26 e 18 kPa rispettivamente; valori, come si vedrà, non in linea con altre valutazioni.

- Coesione non drenata da prove triassiali CIU (consolidate isotropamente non drenate)

Rappresenta il metodo più rigoroso di calcolare la legge di variazione della *cu* in funzione della tensione normale effettiva e dell'angolo di attrito effettivo, legate, nel caso di consolidazione isotropa, dalla relazione (EPRI, 1990):

$$c_u/'_{vo} = \sin\phi'_{tc} / 1+(2A_f - 1)\sin\phi'_{tc} \quad (5)$$

dove Af è il parametro della pressione dei pori a rottura. In relazione geotecnica sono riportati tutti gli esiti di queste prove.

- Parametri di resistenza al taglio in termini di tensioni efficaci

Si tratta dell'angolo di attrito effettivo e la coesione effettiva: per i terreni plastici sono tipicamente determinati mediante prove di laboratorio quali i triassiali e le prove di taglio diretto. E' inoltre possibile stimare l'angolo di attrito effettivo riferendosi all'Indice Plastico (Mitchell, Fundamentals of Soil Behavior, 1976).

$\sin\phi' = 0.8 – 0.094\ln IP$ (8) I risultati sono i seguenti:

ϕ' da triassiale CIU	26,3°
ϕ' da taglio diretto CD	30,6°

ϕ' da correlazione con IP 32,3° - 29,8° - 28,1° - 31,2° - 28,7°

La coesione effettiva, sotto il profilo geotecnico, conviene considerarla nulla, in favore di sicurezza.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

12. CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Come già anticipato, la continuità geologico - stratigrafica e strutturale del litotipo roccioso di base risulta essere l'elemento distintivo dei comparti orientali ed occidentali del perimetro del Golfo di Rapallo. In particolare, all'interno degli ambiti di intervento a progetto, la Diga degli Ampoixi, a Sud-Est, risulta essere totalmente impostata sulle bancate rocciose calcareo-marnose della formazione dei Calcari di Monte Antola.

La stratificazione delle bancate calcareo-marnose presenta in generale una giacitura concorde lungo tutta l'area analizzata (*Stazione di rilevamento geomeccanico 1 e 2*), seppur localmente influenzata da fenomeni plicativi che influiscono debolmente sia sulla direzione degli strati, tendenzialmente parallela alla linea di costa, che sulla loro immersione, mantenendo sempre un'inclinazione ad alto angolo (60-85°).
La variazione locale della direzione di immersione della stratificazione fa sì che si vengano a creare condizioni dell'ammasso roccioso variabili da reggipoggio a franapoggio. In particolare, presso la *Stazione di rilevamento geomeccanico 1* la stratificazione ha una direzione prevalente ENE-WSW, con un'immersione variabile da NNW a SSE. La *Stazione di rilevamento geomeccanico 2* (Foto 1) è invece caratterizzata da strati con direzione WNW-ESE e un'immersione verso S-SW.
Il ritmo deposizionale delle bancate risulta essere piuttosto costante: gli strati evidenziano, infatti, una potenza compresa mediamente fra 40 e 60 centimetri; talvolta, come tipicamente avviene nella Formazione dei "Calcari di Monte Antola", sono rinvenibili intercalazioni argillitiche fissili, nelle quali si evidenzia maggiormente una impronta deformativa di tipo duttile e livelli di deposizione più marcatamente terrigena, evidenziata da livelli arenacei.
La continuità strutturale dell'ammasso roccioso è interrotta da due sistemi di vene che intersecano le superfici di strato, provocando la diaclasatura dell'ammasso roccioso stesso.
Le vene appartenenti al set V1 hanno un'aperura da millimetrica a centimetrica, contengono calcite e sono caratterizzate da una spaziatura variabile dai 20 ai 40 cm. Le vene inquadrate nel set V2 sono state classificate come delle "*shear veins*" cioè vene lungo le quali si è verificato spostamento relativo delle pareti, e sono responsabili della dislocazione del set V1 (Foto 1). Le vene del set V2 hanno un'apertura centimetrica e sono riempite da calcite che cresce in cristalli allungati secondo la direzione di scivolamento delle pareti della vena stessa (*slickenfibers*); il movimento relativo delle pareti della vena è testimoniato anche dalla presenza di "gradini" sulla superficie della vena che

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

indicano il senso di spostamento. Localmente il set V2 contiene intercalazioni di minerali argillitici di alterazione (Foto 2).



Foto 1. Stazione di rilevamento geomeccanico 2. Si notano i sets di vene V1 e V2 e la dislocazione del set V1 ad opera del set V2.



Foto 2. Slickenfibers sulle superfici delle vene V2.

Le misure della giacitura delle superfici di strato e delle vene, ottenute mediante bussola geodetica nelle stazioni geomeccaniche 1 e 2, sono riportate sul *plot diagram* in Figura 7.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

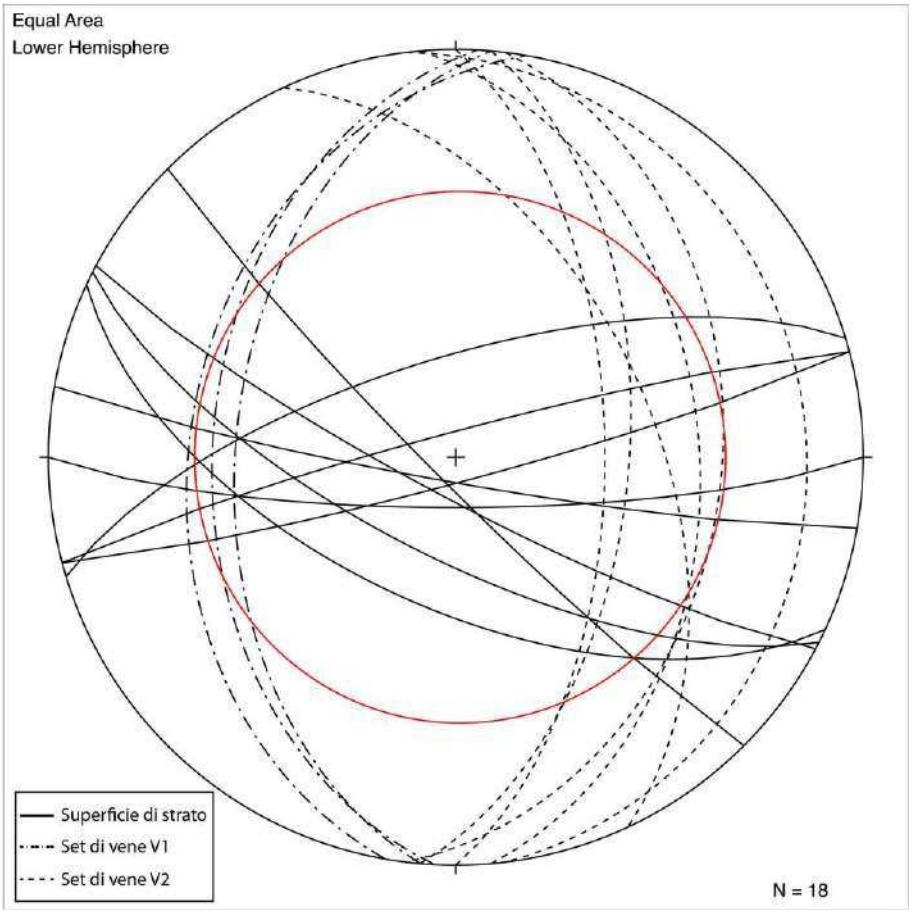


Figura 7. Plot Diagram equal area delle tracce ciclografiche relative alle misure giaciturali eseguite in situ e dell'angolo di attrito dell'ammasso roccioso (circonferenza rossa).

Osservando il plot diagram di Figura 7 si può dedurre che l'intersezione di alcune vene appartenenti sia al V1 che V2 potrebbero dare origine a fenomeni di tipo Scivolamento Planare di porzioni di falesia. Tale fenomeno risulta più probabile per quelle superfici di strato e superfici di vene le cui tracce ciclografiche si intersecano esternamente rispetto alla circonferenza rossa che rappresenta l'angolo di attrito dell'ammasso roccioso ("*Markland test*").

Il decremento dell'angolo di attrito dell'ammasso roccioso puo` aumentare la probabilità che si verifichino crolli dei cunei rocciosi formati dall'intersezioni delle superfici di strato con le vene dei sets V1 e V2. Tale decremento può avvenire solo a seguito di:

1- importanti esposizioni di versante (fronti di taglio) privi di adeguata protezione;

2- azione intensa e prolungata del moto ondoso (quindi al piede della falesia).

Dal punto di vista più squisitamente geomeccanico, il rilevamento è stato impostato seguendo lo schema proposto da Beniawsky (Sistema RMR, 1989) e operando misure sclerometriche sia sulle superfici di strato, sia sulle superfici di frattura; secondo tali specifiche, l'ammasso roccioso rilevato ricade all'interno della Classe III.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

		Intervallo	Coeff.
1. Compressione semplice	*Qu (Mpa)*	25 - 50	4
2. RQD	*RQD calcolato*	25 - 50	8
3. Spaziatura dei giunti	*Spaziatura (mm)*	60 - 200	8
4. Condizioni dei giunti	*Continuità (m)*	3 - 10 m	2
	Apertura(mm)	1 - 5 mm	1
	Scabrezza	Lievemente scabri	3
	Riempimento	Morbidi<5 mm	2
	Alterazione	Moderata	3
5. Condizioni idrauliche	*Situazione generale*	Secco	15
RMRbase	*46*		
Classe	*III - Roccia discreta*		

Si possono calcolare i parametri di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso facendo riferimento al criterio empirico di Hoek e Brown (Hoek, Carranza-Torres & Corkum - 2002). Il criterio definisce un inviluppo di rottura dell'ammasso roccioso di tipo curvilineo in termini di sforzi efficaci principali massimo e minimo a rottura.

Poiché nella pratica comune è richiesta la definizione della resistenza al taglio secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, espressa in funzione della coesione c' e dell'angolo di attrito ϕ', in mancanza di una correlazione diretta fra i due criteri, Hoek e Brown hanno suggerito una procedura di calcolo per ricavare un inviluppo di rottura equivalente di Mohr sul piano τ-$\sigma'n$, i cui risultati sono riportati nel grafico seguente, ovvero riassunti qui di seguito:

<u>Ammasso roccioso da alterato a moderatamente alterato – parametri medi:</u>

angolo d'attrito dell'ammasso ϕ' = 35°
coesione dell'ammasso c = 1.66 MPa
peso di volume γ = 2.57 t/m^3

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

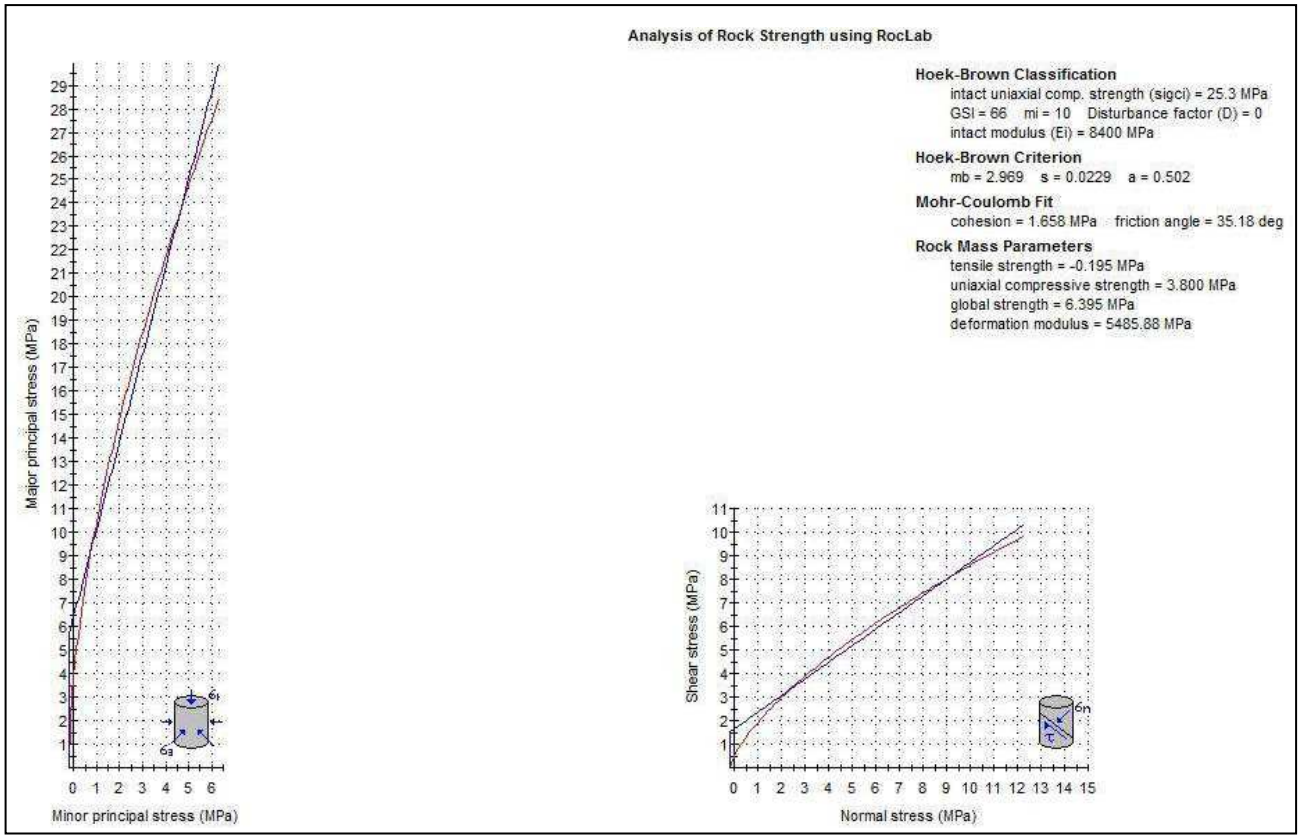


Figura 10. Parametrizzazione geomeccanica del substrato roccioso (Formazione dei Calcari di Monte Antola).

13. RISPONDENZA ALLA NORMATIVA SISMICA

I riferimenti legislativi relativi al terreno di fondazione sono dati dal recente D. M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni", nonché, in merito alla zonizzazione sismica del territorio, dalla D.G.R n° n° 216 del 17/03/2017.

Il D. M. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel §7.11.3.1. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento ed a tal fine lo stesso D. M. definisce cinque categorie di suolo principali (Tabella 1), discriminate in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio VS, oppure attraverso relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 1. Categorie di suolo principali, così come definite dal D. M. 17/01/2018.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Devono essere definite inoltre le condizioni topografiche, ossia la pendenza dell'area sulla quale sarà realizzato l'intervento e la sua morfologia; nel D. M. sono definite 4 condizioni topografiche, come indicato nella Tabella 2.

Per quanto riguarda invece le strutture che saranno realizzate, il D. M. prevede che ne venga definita la Vita Nominale (Vn), ossia il numero di anni nei quali l'opera, purché soggetta a manutenzione ordinaria, debba poter essere usata per lo scopo al quale è destinata (Tabella 3), e la Classe d'Uso, definita in funzione dell'affollamento umano che ospiterà o della destinazione d'uso che avrà (Tabella 4).

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media compresa tra 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media > 30°

Tabella 2. Categorie topografiche, così come definite dal D. M. 17/01/2018.

Tipi di costruzioni		Vita nominale (Vn – in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o d'importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza	≥ 100

Tabella 3. Vita nominale delle opere strutturali, così come definite dal D. M. 17/01/2018.

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Classe	Definizione
I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico; dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Tabella 4. Classi delle opere strutturali, così come definite dal D. M. 17/01/2018.

Le forme spettrali, che definiscono la pericolosità sismica locale, previste dal D. M. 17/01/2018 sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- ag = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- F0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento, sulla base del quale risulta suddiviso l'intero territorio nazionale, e per ciascuno dei periodi di ritorno TR considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- ag il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- F0 e Tc* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dal D. M. scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica (la condizione di minimo è imposta operando ai minimi quadrati, su spettri di risposta normalizzati ad uno, per ciascun sito e ciascun periodo di ritorno).

Le forme spettrali previste dal D. M. 17/01/2018 sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento; a tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento VR della costruzione (prodotto tra valore della Vita Nominale della struttura e Coefficiente d'uso della stessa, funzione della classe d'Uso),

- le probabilità di superamento nella vita di riferimento (PVR) associate a ciascuno degli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

- *Caratteristiche sismiche locali*

Il territorio comunale di Rapallo ricade in *zona sismica 3*, secondo la nuova zonizzazione del territorio ligure (D.G.R n° 216 del 17/03/2017).

In base alle Norme Tecniche di cui al D. M. 17.01.2018, l'azione sismica di riferimento è definita per ogni sito sulla base delle sue coordinate; le zone sismiche hanno significato da un punto di vista amministrativo.

In funzione degli accertamenti svolti, è possibile diversificare il suolo di fondazione nel comparto in studio:

- categoria "A" presso il Molo degli Ampoixi: "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*".
- categoria "B" presso il lungomare di Rapallo: "*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*".

La categoria del suolo di fondazione e le condizioni topografiche dell'area oggetto d'intervento sono riportate in Tabella 5.

Sulla scorta dei di tutte le valutazioni effettuate in precedenza è possibile determinare per ciascuno stato limite considerato i rispettivi valori del tempo di ritorno (TR), di accelerazione massima al suolo (ag), di valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F0) e del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (Tc*), come riportato in Tabella 6.

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.030	2.506	0.202
S.L.D.	50.0	0.037	2.553	0.219
S.L.V.	475.0	0.089	2.529	0.286
S.L.C.	975.0	0.118	2.484	0.292
Periodo di riferimento per l'azione sismica = 50 anni				

Tabella 6: valori dei parametri sismici ricavati per ogni stato limite considerato (SLO: Sato Limite di Operatività; SLD: Stato Limite di Danno; SLV: Stato Limite di Vulnerabilità; SLC: Stato limite di Collasso).

14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il complesso di indagini eseguite ha consentito di delineare un modello geologico – geomorfologico adeguatamente inquadrato in un contesto litoraneo sufficientemente esteso, soprattutto tenuto conto della contenuta scala degli interventi previsti sia in termini di sviluppo longitudinale che di invasività locale.

A tale modello si è ritenuto utile abbinare preliminari considerazioni circa la dinamicità del tratto di costa, differenziata sulla base della variegata morfologia che caratterizza il litorale, al fine di meglio interpretare i potenziali scenari futuri ed ottimizzare le scelte progettuali.

In conclusione, alla luce di quanto illustrato è possibile considerare gli interventi progettati fattibili e ben inseribili nel contesto previsto, in assenza di situazioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche potenzialmente passibili di evoluzioni controproducenti a seguito dei lavori.

Sestri Levante, Giugno 2020

Dott. Geol. Giovanni DEBELLIS

BIBLIOGRAFIA

- ✓ Brandolini P. (1994). Le trasformazioni della piana costiera di Rapallo (Liguria Orientale) dal 1700 ad oggi: rapporti fra condizioni morfologiche ed interventi dell'uomo (The Rapallo coastal floodplain changes from 1700 to nowa- days: relationships between morphology and human in- terventions). In: Citarella F. (ed.), *Studi Geografici in onore di Domenico Rocco*, Loffredo Editore, Napoli: 27–40.

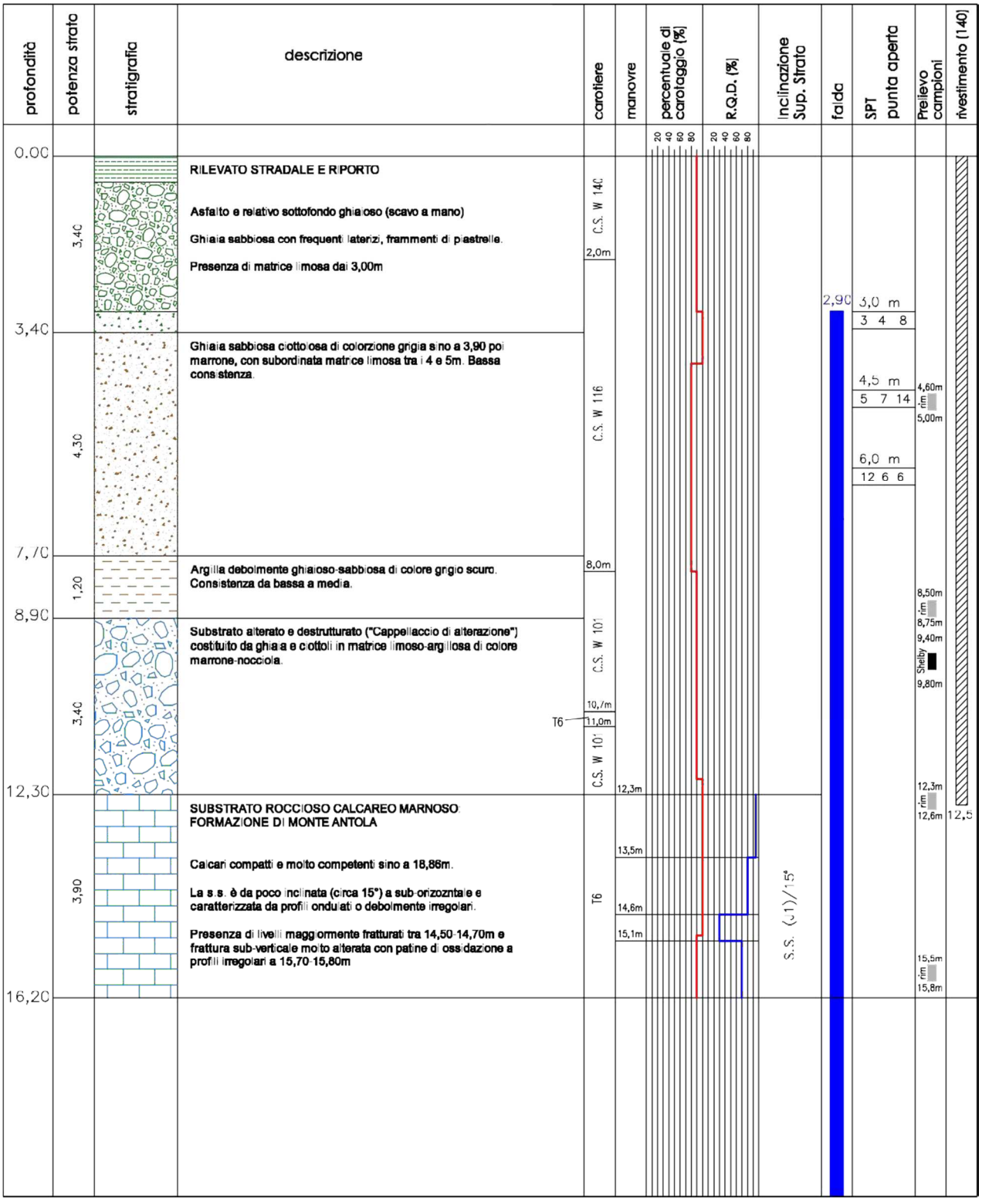
- ✓ Brandolini P., Faccini F., Paliaga G., Piana P. (2017). *URBAN GEOMORPHOLOGY IN COASTAL ENVIRONMENT: MAN-MADE MORPHOLOGICAL CHANGES IN A SEASIDE TOURIST RESORT (RAPALLO, EASTERN LIGURIA, ITALY). QUAESTIONES GEOGRAPHICAE 36(3), 97-110***.**

Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

ALLEGATO 1: REPORT DELLE INDAGINI E RAPPORTI DI LABORATORIO

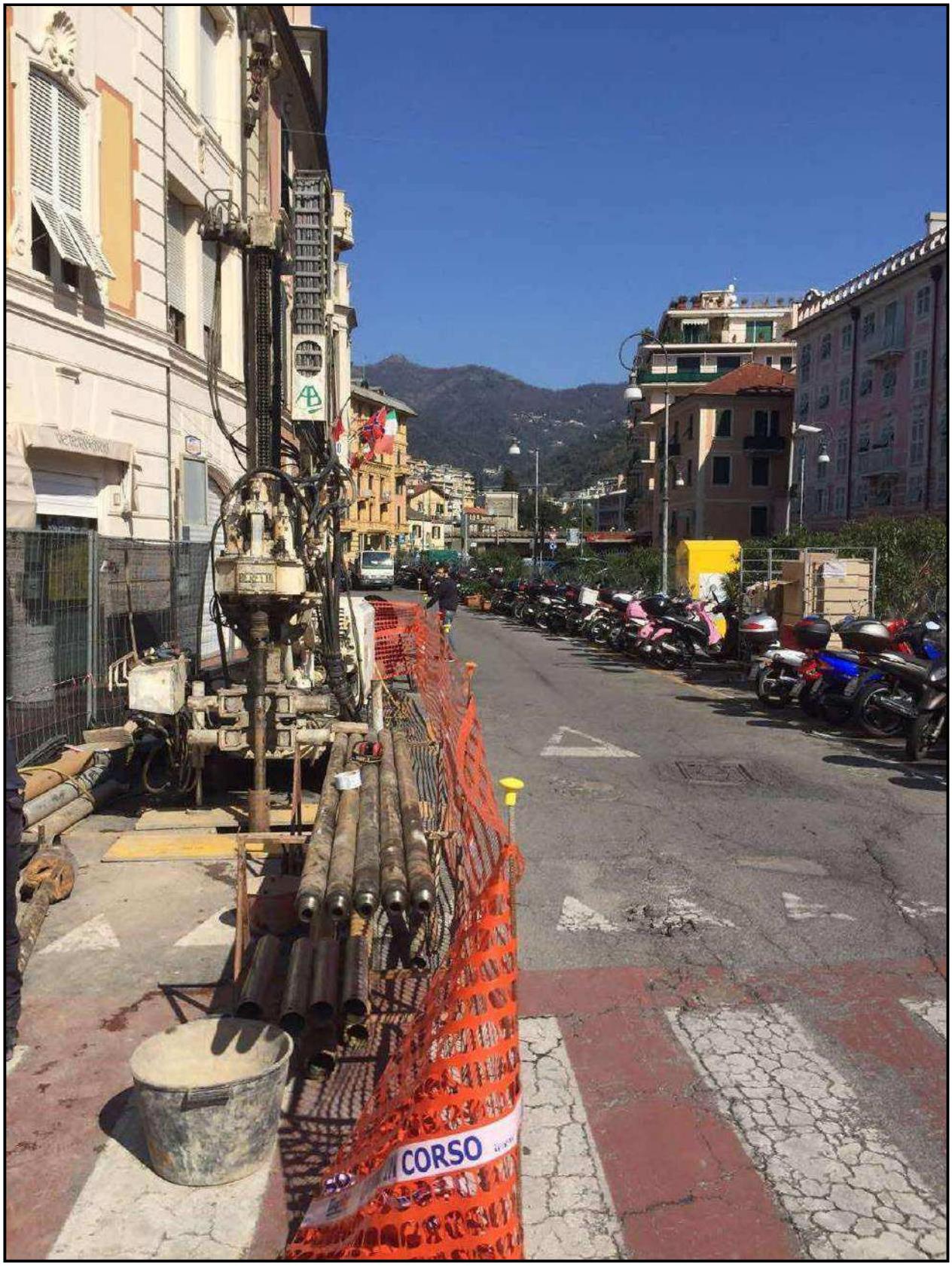
Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Cantiere	Sondaggio	Strumentazione in foro
Torrente S.Francesco	***S2***	***Piezometro 2"***
Committente	Sondaggio a carotaggio	Inizio lavori: 22.03.2016
Comune di Rapallo	continuo diam. 116 mm	Fine lavori: 23.03.2016
Ditta esecutrice	Sonda	Profondità raggiunta
BORGHI DRILL SRL	***BERETTA T46***	***16,2 m da p.c.***



Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

SONDAGGIO S2: Cassette catalogatrici



Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it



S2_C1 da p.c. a -5,00 m



S2_C2 da -5,00 m a -10,00 m

Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it



S2_C3 da -10,00 m a -15,00 m



S2_C4 da -15,00 m a -16,20 m

Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

Cantiere	Sondaggio	Strumentazione in foro
Torrente S.Francesco	***S3***	**---**
Committente	Sondaggio a carotaggio	Inizio lavori: 23.03.2016
Comune di Rapallo	continuo diam. 116 mm	Fine lavori: 25.03.2016
Ditta esecutrice	Sonda	Profondità raggiunta
BORGHI DRILL SRL	***BERETTA T46***	***16,7 m da p.c.***



Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it



S3_C1 da p.c. a -5,00 m



S3_C2 da -5,00 m a -10,00 m

Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it



S3_C3 da -10,00 m a -15,00 m



S3_C4 da -15,00 m a -16,70 m

Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

LINEA DI PROSPEZIONE SISMICA DI TIPO MASW

DATI SPERIMENTALI

Nome fiIe tracce: .....
sh_-3_2016-03-11_11-33-12_01500_00150_024_StckSm_SEG2
Numero di ricevitori.....24
Distanza tra i sensori ..... 2.0 m
Distanza energizzazione.....3.0 m
Frequenza di campionamento .....1500 hz
Passo temporaIe di acquisizione .....1,5 ms
Numero di ricevitori usati per I'anaIisi 17
Durata acquisizione..... 1500 ms
L'intervaIIo considerato per I'anaIisi comincia a 0ms
L'intervaIIo considerato per I'anaIisi termina a ..... 1000 ms

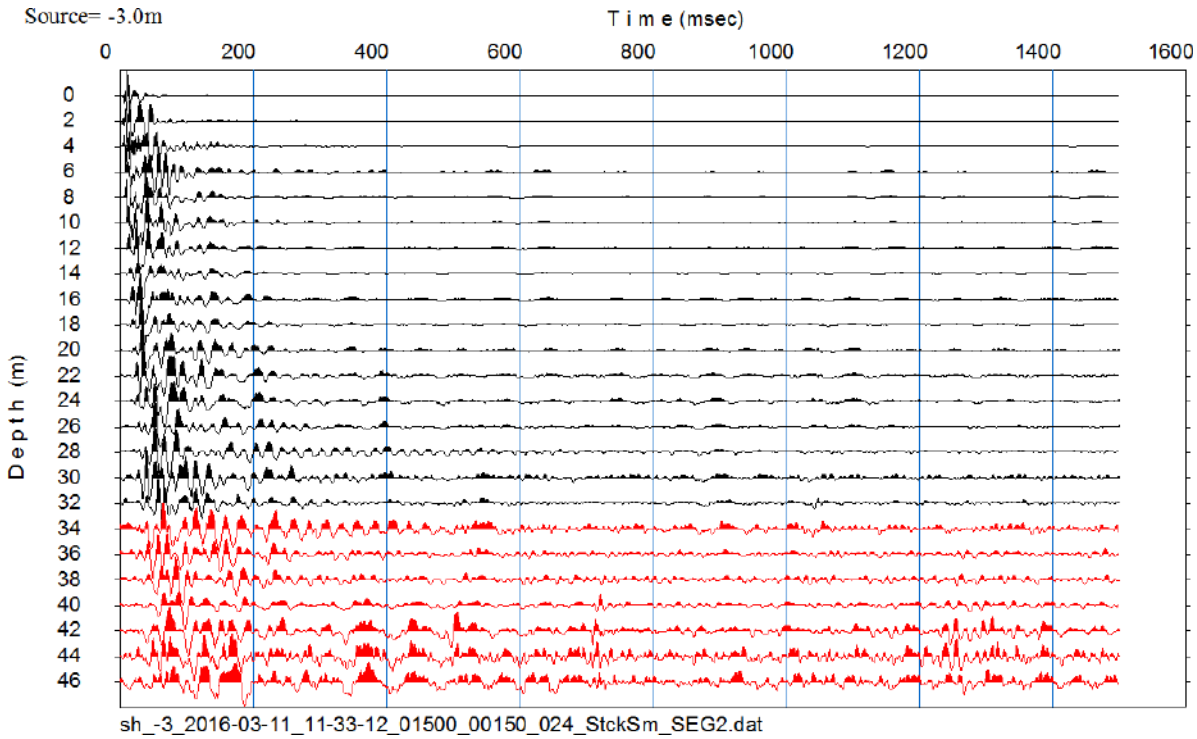


Fig. 1: tracce sperimentaIi (in rosso Ie tracce non considerate)

Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

RISULTATI DELL'ANALISI

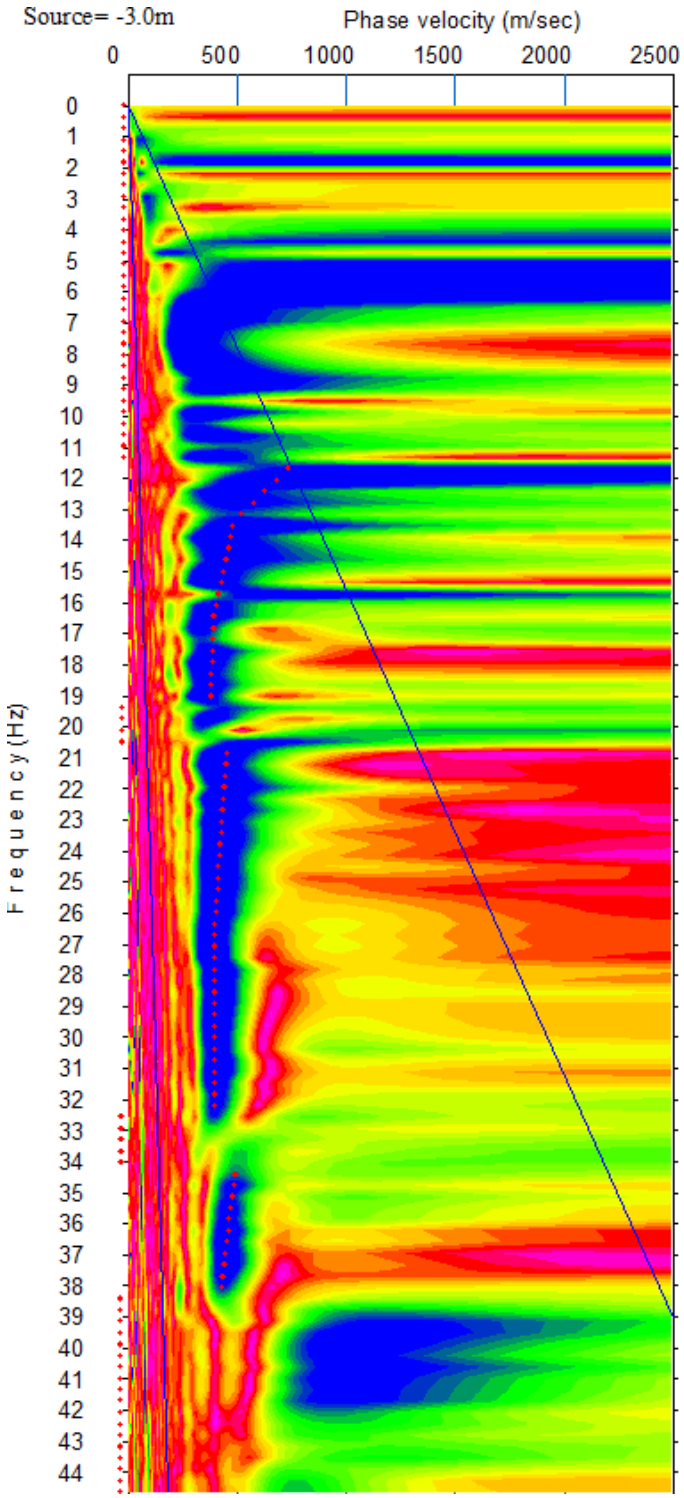
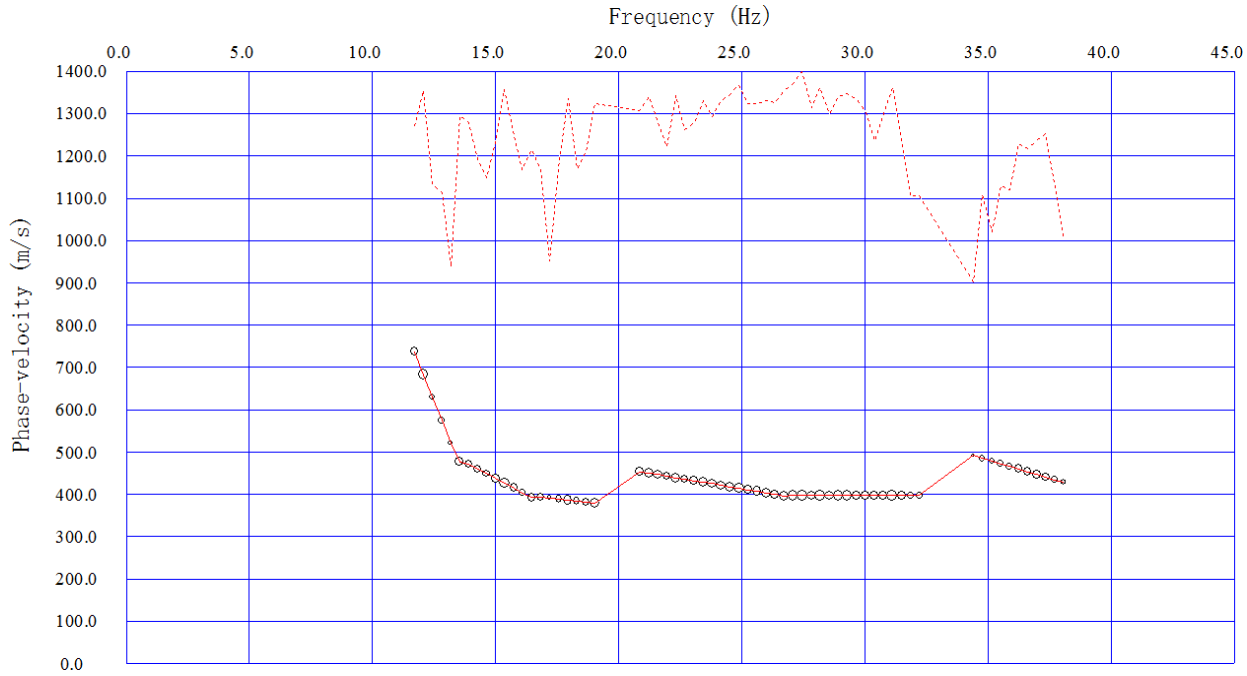


Fig. 2: spettro F/V – picking

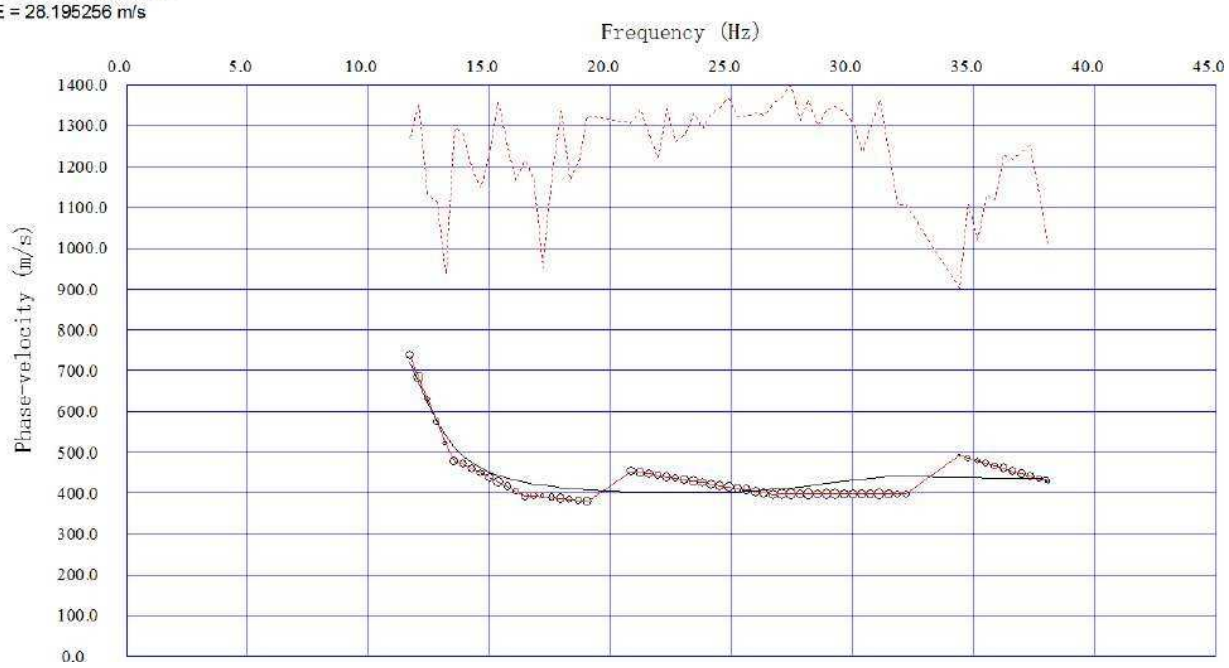
Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza finaIe 12Hz
Frequenza iniziaIe 38Hz
Numero di modi.....3

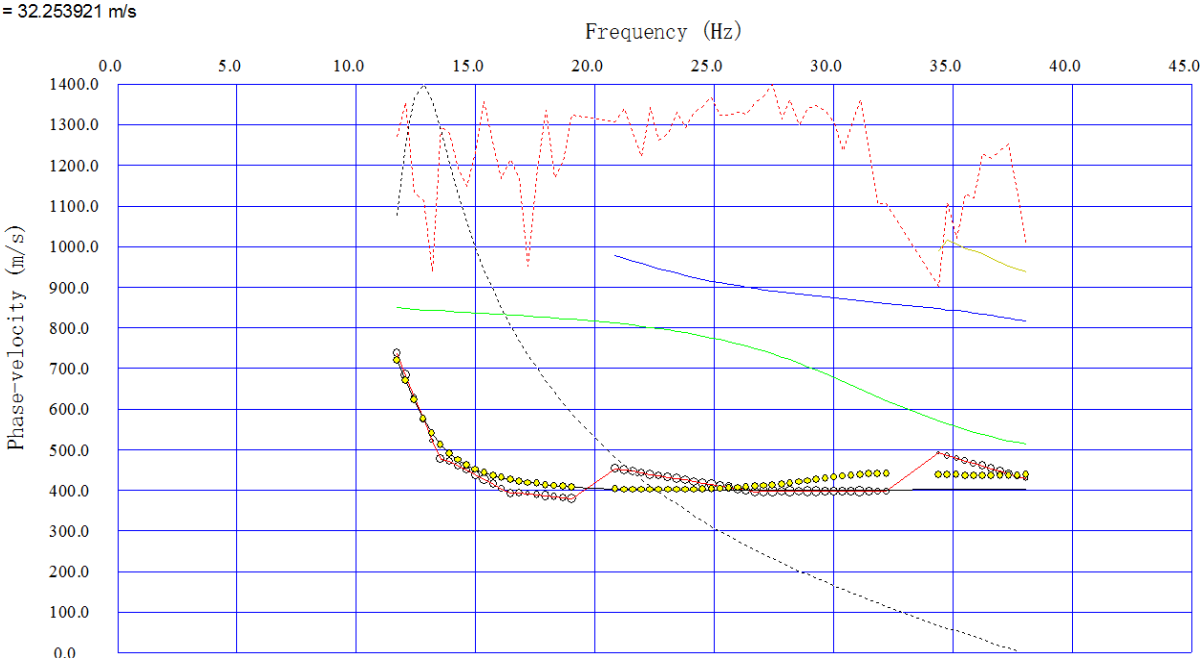


curve=0 Distance=0.000000m
RMSE = 28.195256 m/s



Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

curve=0 Distance=0.000000m
RMSE = 32.253921 m/s



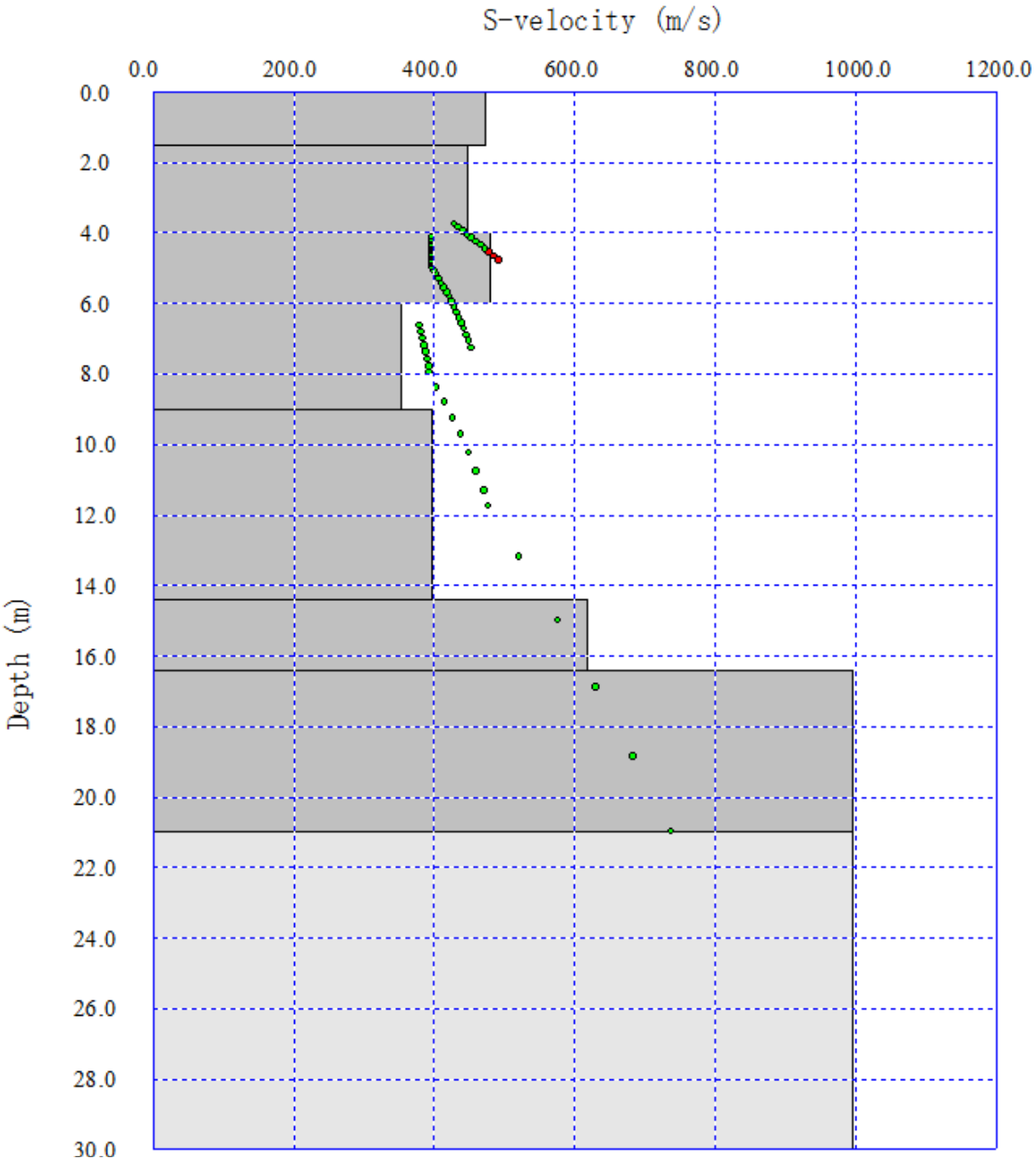
Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

PROFILO Vs



Studio di Geologia
Dott. Geol. Giovanni Debellis
Via Antica Romana Occidentale 3/4
16039 - Sestri Levante (GE)
Tel.: +39 338 6079760 - Fax: +39 0187 816486
e-mail: gvdebellis@gmail.com
pec: g.debellis@epap.sicurezzapostale.it

curve=0 Distance=0.000000m



RISULTATI FINALI

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1,5	1,5	473,33
4,0	2,5	446,71
6,0	2	479,29
9,0	3	353,43
14,4	5,4	396,42
16,4	2	618,52
30,0	13,6	996,19

Piano di riferimento z [m]..... 0
Vs EQ = Vs30 [m/s]..... 577,66
Tipo di suolo .....B

RAPPORTO DI PROVA n. 20107-01

Verbale di accettazione N. 20107 del 16/10/2020

Data di emissione: 19/10/2020

Cliente: Dott. Geol. Debellis Giovanni

Cantiere: Bagni Lido - Rapallo

Il rapporto contiene 5 pagine, inclusa la presente

Genova, 19/10/2020

Paolo Brasey
(Direttore del laboratorio)

RINA Consulting - GET S.r.l.
Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA Consulting S.p.A.
Via Albisola, 64-66 - 16162 Genova
Tel. +39 010 6506644 - Fax +39 010 6591896 - www.rinaconsulting.org - rinaconsulting@rina.org
C.F. / P. IVA 01650450990 - REA GE 425381 - Cap. Soc. € 25.000,00 i.v.

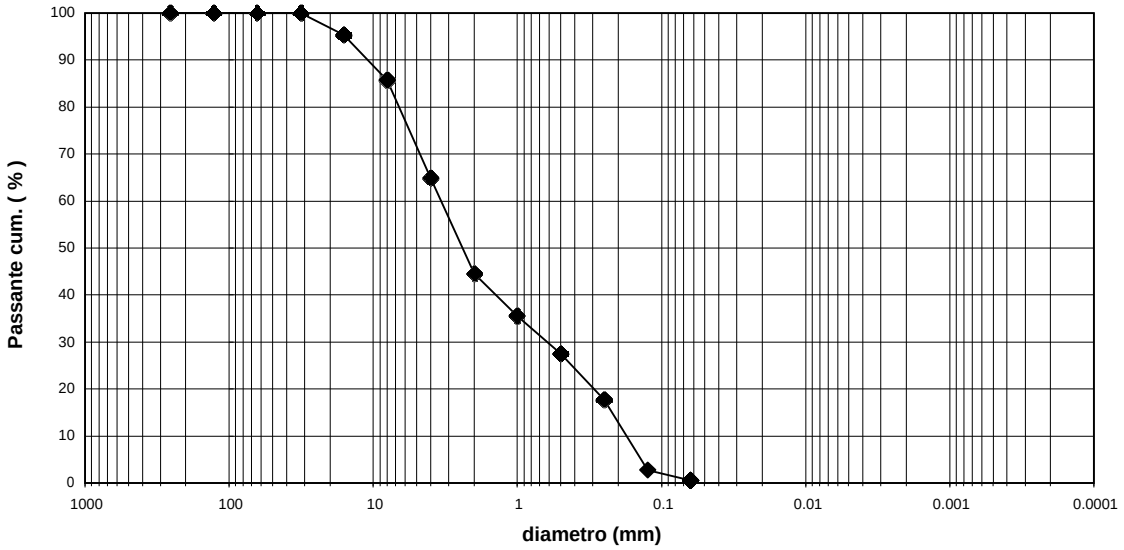
Sede legale: Via A. Cecchi, 6 - 16129 Genova (GE)

Documento firmato digitalmente secondo la normativa vigente

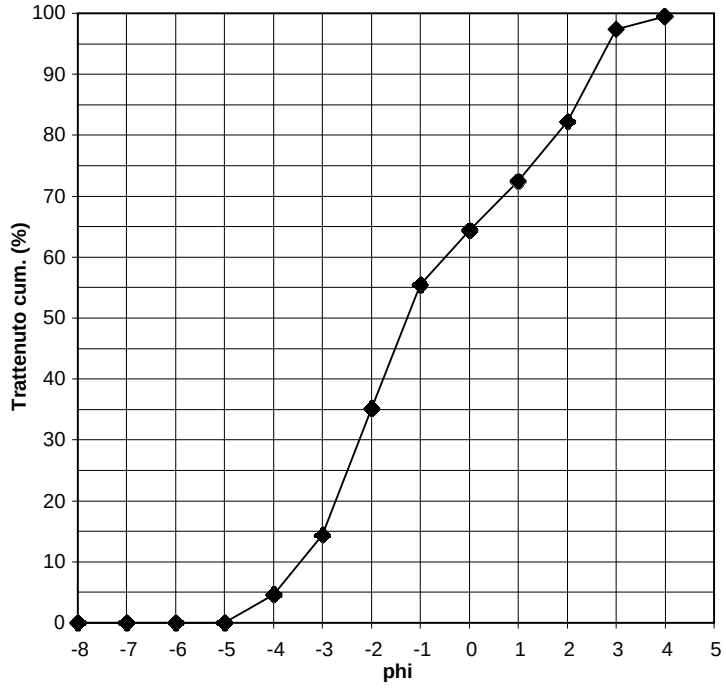
ANALISI GRANULOMETRICA SERIE WENTWORTH
ASTM D422-63, PROTOCOLLO ARPAL CRITERI RIPASCIMENTO, L.R. 13-1999

Cliente :	Dott. Geol. Debellis Giovanni		
Località :	Bagni Lido - Rapallo		
Id. Campione :	BATTIGIA	Data Ricevimento :	16/10/2020
Descrizione :	Ghiaia sabbiosa con ciottoli	Data Prova :	19/10/2020

Curva cumulativa - Scala Wentworth



Curva cumulativa - scala in phi



Parametri Granulometrici

% ciottoli	% ghiaia	% sabbia	% pelite
4.64	50.87	43.97	0.52

Tabella diametri setacci - passanti in %

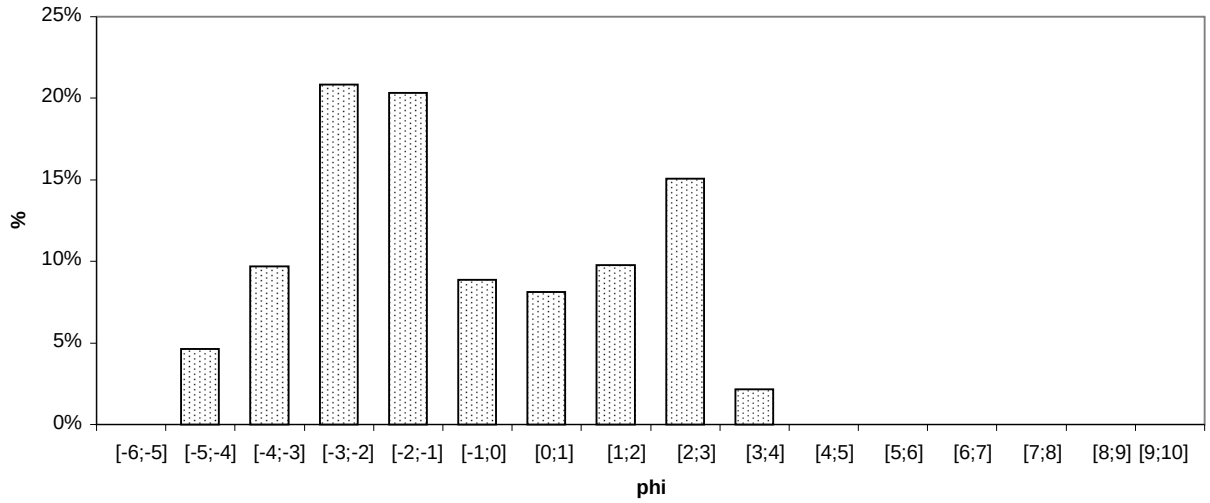
Diametro setacci (mm)	Passanti cumulativi %
128	100.00
64	100.00
32	100.00
16	95.36
8	85.65
4	64.82
2	44.49
1	35.61
0.5	27.48
0.25	17.72
0.125	2.66
0.063	0.52
0.032	N.D.
0.016	N.D.
0.008	N.D.
0.004	N.D.
0.002	N.D.
0.001	N.D.
0.0005	N.D.

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey Sperimentatore : Dott. Simone Dellepiane

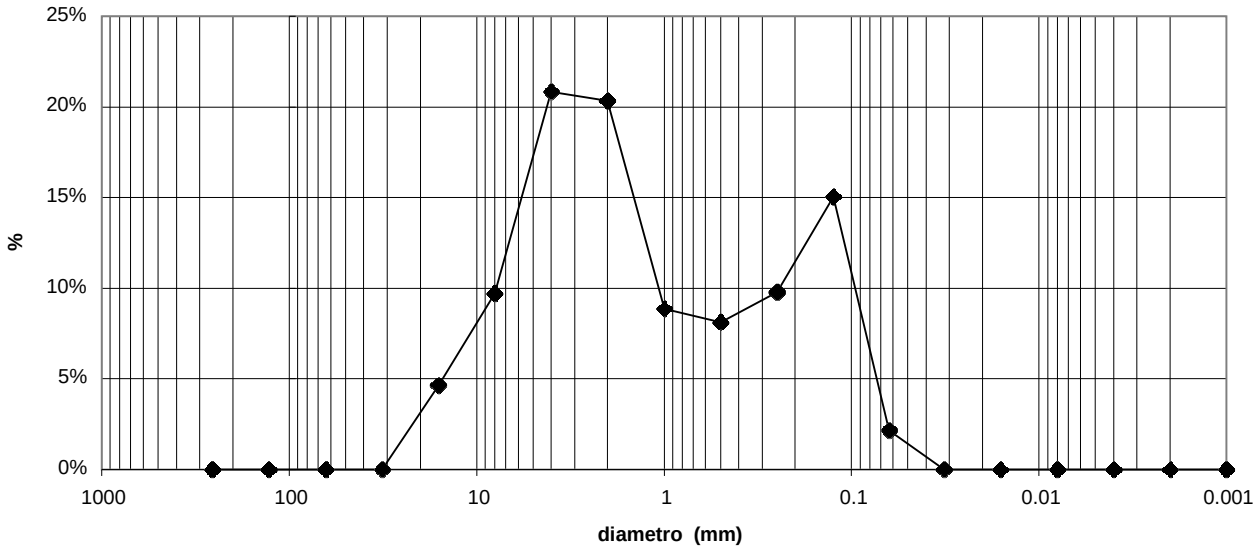
Documento firmato digitalmente secondo la normativa vigente

Cliente :	Dott. Geol. Debellis Giovanni		
Località :	Bagni Lido - Rapallo		
Id. Campione :	BATTIGIA	Data Ricevimento :	16/10/2020
Descrizione :	Ghiaia sabbiosa con ciottoli	Data Prova :	19/10/2020

Trattenuto



Curva di frequenza



Parametri granulometrici

DIAMETRO MEDIO (di Folk & Ward) in phi:	-0.73
DIAM. MEDIO (di Folk & Ward) in mm:	2.74
CLASSAZIONE (di Folk & Ward):	2.28
DISPERSIONE (di Folk & Ward):	2.51
SKEWNESS (di Folk & Ward) :	0.29

Parametri organolettici

Colore:	grigio
Odore:	assente
Concrezioni:	assenti
Conchiglie:	assenti

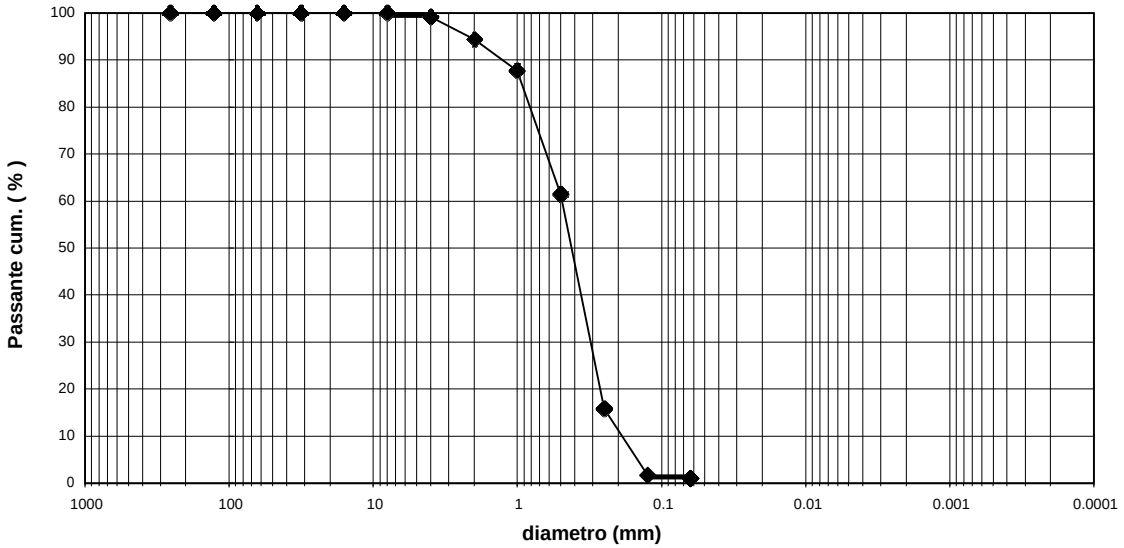
Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey Sperimentatore : Dott. Simone Dellepiane

Documento firmato digitalmente secondo la normativa vigente

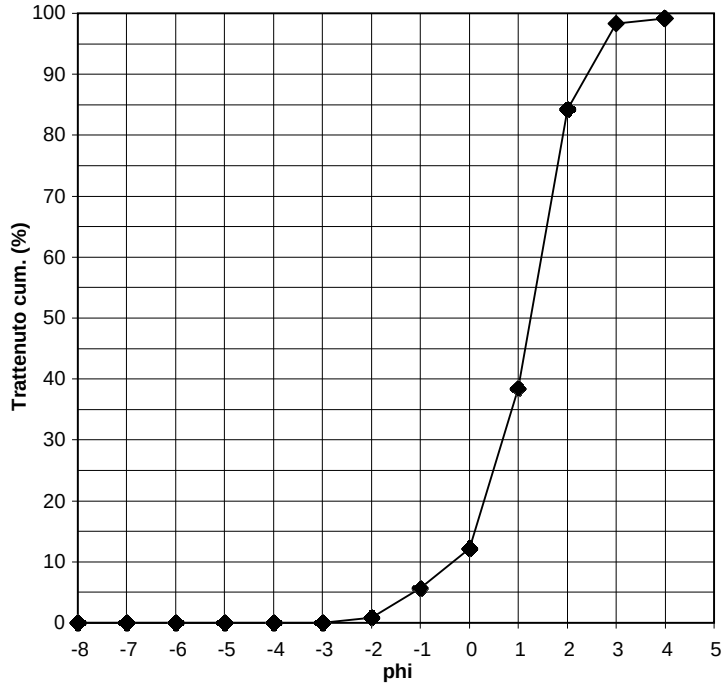
ANALISI GRANULOMETRICA SERIE WENTWORTH
ASTM D422-63, PROTOCOLLO ARPAL CRITERI RIPASCIMENTO, L.R. 13-1999

Cliente :	Dott. Geol. Debellis Giovanni		
Località :	Bagni Lido - Rapallo		
Id. Campione :	SPIAGGIA EMERSA	Data Ricevimento :	16/10/2020
Descrizione :	Sabbia con ghiaia	Data Prova :	19/10/2020

Curva cumulativa - Scala Wentworth



Curva cumulativa - scala in phi



Parametri Granulometrici

% ciottoli	% ghiaia	% sabbia	% pelite
0.00	5.65	93.46	0.89

Tabella diametri setacci - passanti in %

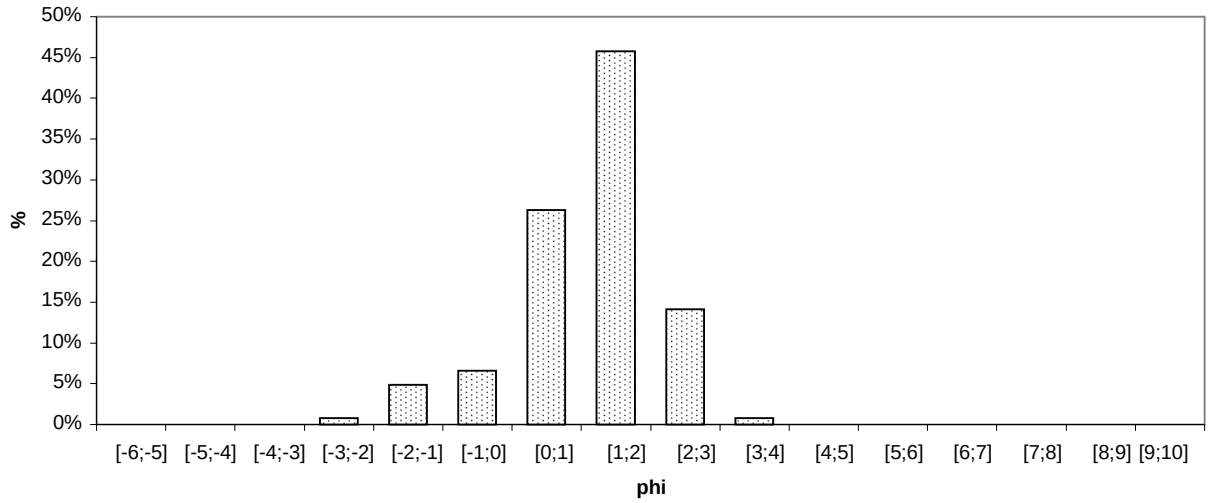
Diametro setacci (mm)	Passanti cumulativi %
128	100.00
64	100.00
32	100.00
16	100.00
8	100.00
4	99.19
2	94.35
1	87.77
0.5	61.51
0.25	15.78
0.125	1.68
0.063	0.89
0.032	N.D.
0.016	N.D.
0.008	N.D.
0.004	N.D.
0.002	N.D.
0.001	N.D.
0.0005	N.D.

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey Sperimentatore : Dott. Geol. Giada Zavaglia

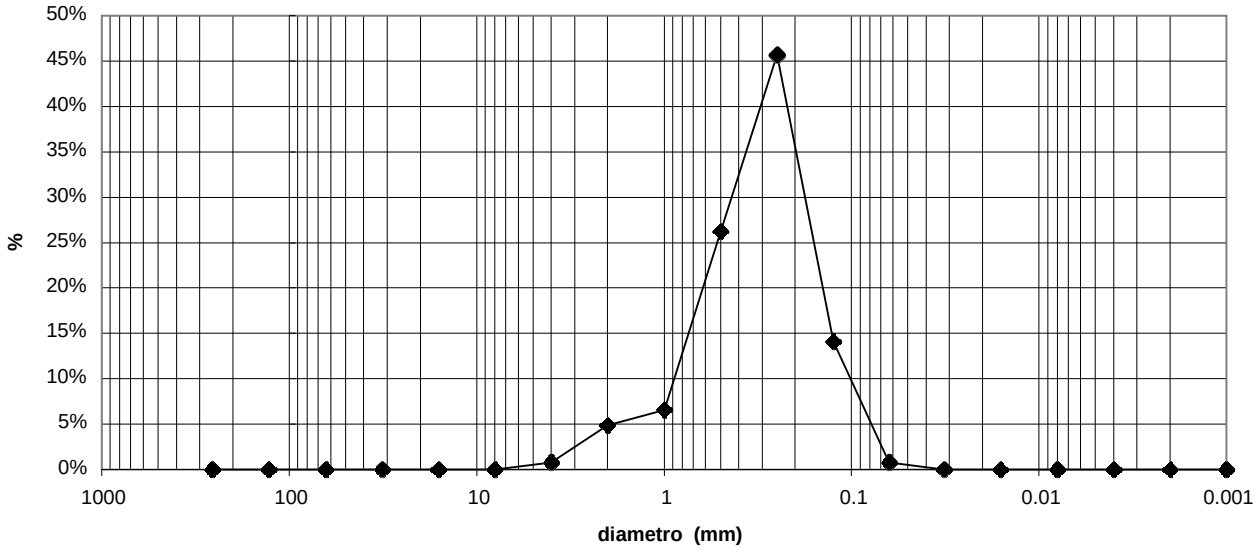
Documento firmato digitalmente secondo la normativa vigente

Cliente :	Dott. Geol. Debellis Giovanni		
Località :	Bagni Lido - Rapallo		
Id. Campione :	SPIAGGIA EMERSA	Data Ricevimento :	16/10/2020
Descrizione :	Sabbia con ghiaia	Data Prova :	19/10/2020

Trattenuto



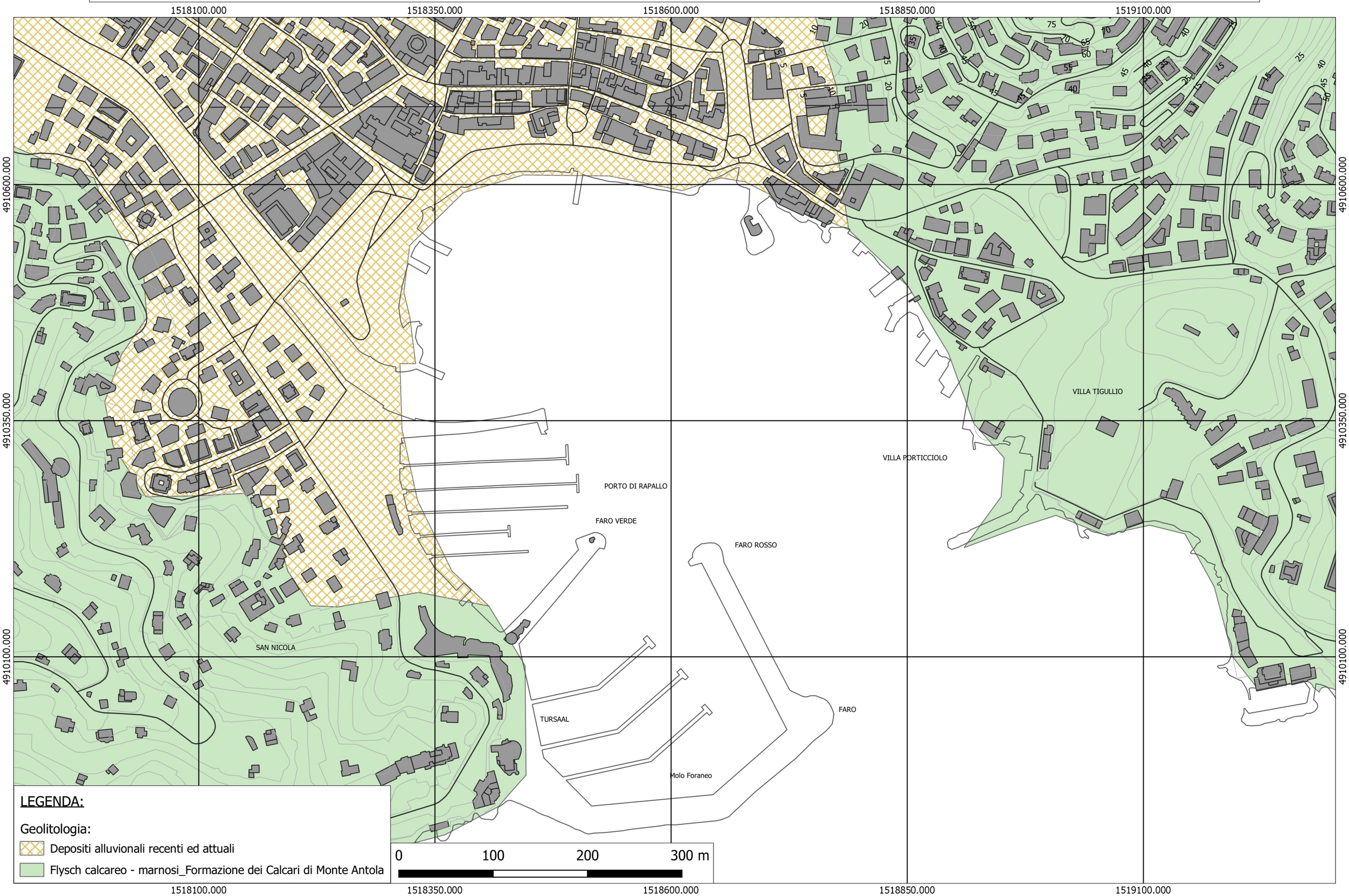
Curva di frequenza



Parametri granulometrici

DIAMETRO MEDIO (di Folk & Ward) in phi:	1.10
DIAM. MEDIO (di Folk & Ward) in mm:	0.47
CLASSAZIONE (di Folk & Ward):	1.06
DISPERSIONE (di Folk & Ward):	0.94
SKEWNESS (di Folk & Ward)	

ALLEGATO 1: CARTA GEOLOGICA DELL'AMBITO DEL GOLFO DI RAPALLO. SCALA 1:3.500 - SISTEMA DI RIFERIMENTO GAUSS - BOAGA



ALLEGATO 2: CARTA GEOMORFOLOGICA DELL'AMBITO DEL GOLFO DI RAPALLO. SCALA 1:3.500 - SISTEMA DI RIFERIMENTO GAUSS - BOAGA

1518100.000 1518350.000 1518600.000 1518850.000 1519100.000

4910600.000

4910350.000

4910100.000

VILLA TIGULLIO

VILLA PORTICCIOLO

PORTO DI RAPALLO

FARO VERDE

FARO ROSSO

SAN NICOLA

TURSAAL

FARO

Molo Foraneo

LEGENDA:

- Ammasso roccioso affiorante in scadenti condizioni di conservazione
- Depositi alluvionali e di spiaggia recenti ed attuali
- Depositi colluviali sottili (S= 1 - 3 m)
- Riporti e strutture antropiche

0 100 200 300 m

1518100.000 1518350.000 1518600.000 1518850.000 1519100.000

ALLEGATO 3: CARTA IDROGEOLOGICA DELL'AMBITO DEL GOLFO DI RAPALLO. SCALA 1:3.500 - SISTEMA DI RIFERIMENTO GAUSS - BOAGA

1518100.000 1518350.000 1518600.000 1518850.000 1519100.000

4910600.000

4910350.000

4910100.000

PORTO DI RAPALLO

FARO VERDE

FARO ROSSO

FARO

SAN NICOLA

TURSAAL

Molo Foraneo

VILLA PORTICCIOLO

VILLA TIGULLIO

LEGENDA:

- Terreni permeabili per porosità in ambiente urbano impermeabile
- Coltri detritiche sottili permeabili per porosità su substrato roccioso relativo
- Terreni permeabili per fratturazione - fessurazione

0 100 200 300 m