



**AMBITO 4 PROGETTO DI INTERFACCIA PORTO CITTA'**  
**INTERVENTI PER LA FRUIBILITA' PROTETTA DELLA PASSEGGIATA  
SUL MARE IN CORRISPONDENZA DEL MOLO DI PONENTE**  
**PROGETTO DEFINITIVO**



PROGETTAZIONE:



Il Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Stefano PALLAVICINI



Il Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Antonino SUTERA

PROGER MANAGER E RESPONSABILE INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:	Dott. Ing. Carlo LISTORTI Dott. Ing. Roberto D'ORAZIO
RESPONSABILE DI PROGETTO:	Dott. Ing. Antonino SUTERA
SUPPORTO SPECIALISTICO OPERE MARITTIME:	Dott. Ing. Franco GRIMALDI
SUPPORTO SPECIALISTICO WATERFRONT:	Dott. Ing. Paolo VIOLA Dott. Arch. Giacomo GUARNERI Dott. Arch. Andrea ANGELI Dott. Arch. Francesca GANGEMI
SUPPORTO MODELLAZIONE MOTO ONDOSO:	Dott. Ing. Andrea PEDRONCINI Dott. Ing. Davide PERSI
RESPONSABILE STRUTTURE:	Dott. Ing. Stefano PALLAVICINI
GEOLOGIA:	Dott. Geol. Mario MASCARUCCI
GEOTECNICA:	Dott. Ing. Ylenia MASCARUCCI
SUPPORTO SPEC. GEOLOGIA E GEOTECNICA:	Dott. Ing. Paolo MARCELLINO
RESPONSABILE AMBIENTE:	Dott. Ing. Marco SANDRUCCI Dott. Ing. Vincenzo IACOPINO
SUPPORTO SPECIALISTICO RAPPORTI ENTI:	Dott. Ing. Diego NESPOLO
COORDINATORE PER LA SICUREZZA:	Dott. Ing. Giuseppe BERNARDO

**D.02**

**RELAZIONE GEOLOGICA**

Questo elaborato è di proprietà della Proger S.p.A. pertanto non può essere riprodotto né integralmente, né in parte senza l'autorizzazione scritta della stessa. Da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito.

Nome File	Scala	Commessa	Codice Elaborato					
DNC113_PD_D.02.dwg		P18062	D	00	00	G	RL	03

REVISIONI	REV. n°	DATA	MOTIVAZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
	00	20/06/2019				

R.U.P.:

Geom. Domenico CIAVARELLA

VISTI/APPROVAZIONI:

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE</b>	<b>4</b>
2.1	<i>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO</i>	4
2.2	<i>PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)</i>	5
2.3	<i>PAI - VARIANTE AL QUADRO CONOSCITIVO RELATIVA ALLA DEFINIZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ IDRAULICA E GEOMORFOLOGICA</i>	6
2.4	<i>PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI (PGR)</i>	7
2.5	<i>PIANO STRUTTURALE DEL COMUNE DI CARRARA - AGGIORNAMENTO DEL QUADRO CONOSCITIVO RELATIVO ALLA DEFINIZIONE DELLE AREE A PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA</i>	10
<b>3</b>	<b>GEOLOGIA</b>	<b>12</b>
3.1	<i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</i>	12
3.2	<i>DEPOSITI EOLICI RECENTI (OLOCENE)</i>	12
3.3	<i>DEPOSITI DI SPIAGGIA ATTUALE (OLOCENE)</i>	13
3.4	<i>DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI (PLEISTOCENE - OLOCENE)</i>	13
<b>4</b>	<b>IDROGRAFIA</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>IDROGEOLOGIA</b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b>SISMICITA' DELL'AREA</b>	<b>18</b>
6.1	<i>CLASSIFICAZIONE SISMICA NAZIONALE</i>	18
6.2	<i>CLASSIFICAZIONE SISMICA REGIONALE</i>	21
6.3	<i>CATEGORIE DI SOTTOSUOLO (D.M. 17.01.2018)</i>	22
6.4	<i>CONDIZIONI TOPOGRAFICHE (D.M. 17.01.2018)</i>	24
<b>7</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI</b>	<b>25</b>
7.1	<i>DESCRIZIONE STRATIGRAFICA</i>	25
7.2	<i>CARATTERISTICHE FISICHE</i>	26
7.3	<i>GRANULOMETRIA</i>	26
7.4	<i>INTERPRETAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA</i>	27
7.5	<i>INTERPRETAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT</i>	27
<b>8</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO</b>	<b>29</b>

PROGETTAZIONE:



*Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale – Porti di La Spezia e Marina di Carrara*

**AMBITO 4 PROGETTO INTERFACCIA PORTO CITTA'**

**Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente**

PROGETTO DEFINITIVO

D.02 – RELAZIONE GEOLOGICA

<b>9</b>	<b>VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE</b>	<b>30</b>
9.1	<i>METODO DI VALUTAZIONE</i>	30
9.2	<i>DATI DI CALCOLO</i>	32
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>33</b>

**ALLEGATI**

*ALL. 1 - COROGRAFIA GENERALE*

*ALL. 2 - PLANIMETRIA GENERALE DI PROGETTO*

*ALL. 3 - CARTA GEOLOGICA*

*ALL. 4 - SEZIONI STRATIGRAFICHE*

*ALL. 5 - CARTA UBICAZIONE INDAGINI*

*ALL. 6 - VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE*

## **1 PREMESSA**

La presente relazione geologica, redatta dal dott. Geologo Mario Mascarucci con la collaborazione del dott. Geologo Vincenzo Pinizzotto, è parte integrante del progetto definitivo riguardante l'Ambito 4 Progetto di Interfaccia Porto Città - *“Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del molo di ponente”* - Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale Porti di La Spezia e Marina di Carrara.

Lo studio in oggetto ha lo scopo di individuare ed evidenziare le problematiche che possono influenzare le scelte progettuali per la realizzazione degli interventi sul molo di ponente di Marina di Carrara, in dipendenza delle caratteristiche fisico meccaniche e sismiche dei terreni interessati dall'intervento, fornendo contestualmente gli elementi e le informazioni necessarie per prevedere correttamente tutti gli oneri e le indicazioni occorrenti a dare l'opera finita e a regola d'arte.

In ottemperanza alle disposizioni relative alla normativa vigente (D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”), ed in relazione alla finalità del progetto, così come lo stato dei luoghi, sono stati effettuati i rilievi e le indagini necessarie.

Per la redazione dello studio ci si è avvalsi di una ricerca bibliografica e cartografica relativa alla geologia locale e alla sismicità dell'area, unitamente ai rilievi di superficie dei litotipi affioranti nelle aree limitrofe, esteso ad un intorno di territorio significativo, per consentire una ricostruzione più attendibile del modello geologico ivi presente.

Successivamente mediante una campagna di indagini geognostiche e geofisiche, sono stati quantificati tutti quegli elementi indispensabili per una definizione più puntuale delle caratteristiche geologiche, meccaniche e sismiche del “Volume significativo” di terreno presente, cioè la parte di sottosuolo influenzata, direttamente e indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza lo stesso.

Sulla base dei dati acquisiti dai rilievi di superficie, al fine di fornire al progettista i dati utili per un'opportuna verifica delle soluzioni da adottare, è stato necessario predisporre ed attuare un programma particolareggiato d'indagini geognostiche. Sono state, quindi, eseguiti: n° 1 perforazione a rotazione a carotaggio continuo, con prelievo di n° 6 campioni e successive analisi e prove di laboratorio, n° 6 prove penetrometriche dinamiche discontinue SPT e un sondaggio sismico in foro del tipo Down Hole.

La campagna di indagini geofisiche, geognostiche e geotecniche realizzata dalla Bierregi s.r.l., ha contribuito a quantificare tutti quegli elementi indispensabili per una definizione puntuale del “Modello Geologico” e della definizione della “Classificazione e Categoria di sottosuolo” attraverso il “Vs,eq” del sito di cui in oggetto.

## **2 CONDIZIONI GEOMORFOLOGICHE**

### **2.1 Inquadramento Geografico e Morfologico**

L'area oggetto del presente studio è ubicata sulla costa settentrionale della Toscana, in corrispondenza del Porto di Marina di Carrara e ricade in destra idrografica del Torrente Carrione, ad una quota di circa 2,5 metri s.l.m.. In cartografia s'individua nel Foglio n° 249130, in scala 1:20.000, della C.T.R. Regione Toscana.

L'area in esame presenta una conformazione planimetrica pianeggiante; essa rispecchia la litologia dei terreni affioranti, infatti quest'area è caratterizzata da una successione di terreni sedimentari fluvio-marini. La costruzione della pianura è avvenuta sia per accumulo di materiali portati dai corsi d'acqua che scendono dalle Apuane, sia per l'apporto di sabbia da parte dell'Arno, del Magra e degli altri torrenti, distribuita dalle correnti e dal drift litoraneo lungo la costa. L'andamento della linea di riva ha spesso subito delle variazioni notevoli, conseguenza delle ingressioni e regressioni marine che si sono da sempre succedute, causate essenzialmente dalle diverse condizioni paleoclimatiche.

Attualmente il territorio è caratterizzato dalla presenza di una pianura costiera di larghezza di circa 4-5 km con andamento NW-SE cui segue, nella parte orientale, la zona pedemontana occupata dalle conoidi dei corsi d'acqua provenienti dal massiccio apuano. Nella restante parte del bacino è presente un'area montuosa coincidente per gran parte con la catena montuosa delle Alpi Apuane.

La lettura geomorfologica del territorio evidenzia la presenza di una spiaggia attuale caratterizzata da sabbia media, con alle spalle un cordone dunale sabbioso, largo fino a qualche centinaio di metri (tombolo) che corrisponde circa al tracciato del viale a mare, parallelo alla linea di costa e con quote massime di quasi 3 m s.l.m.

La morfologia originale delle dune è per la quasi totalità obliterata dall'azione dei fenomeni antropici legati all'urbanizzazione e all'insediamento degli stabilimenti balneari. Le sabbie della zona costiera sono soggette sia ad azioni marine che del vento, per cui hanno una granulometria e uno stato di addensamento che risente delle condizioni meteomarine nelle quali hanno subito lo spiaggiamento e quindi il deposito.

La connotazione saliente di questo tratto di litorale è la presenza di lunghissime spiagge sabbiose e ciottolose, interrotte soltanto dal porto di Marina di Carrara: nel tratto a nord-ovest le spiagge sono in equilibrio sedimentario e in alcuni tratti in avanzamento, mentre a sud-est si assiste da anni ad una fortissima erosione, che ha ridotto di molto l'ampiezza delle spiagge.

La conformazione planimetrica del tratto di litorale che si estende dalla foce del Magra sino a Marina dei Ronchi, oltre che dalla presenza delle opere portuali di Marina di Carrara, è ormai fortemente condizionata dalla presenza di molteplici opere di difesa costiera.

L'area d'interesse progettuale, dal punto di vista morfologico è quindi caratterizzata da una zona tabulare priva di pendenze significative.

Di seguito vengono esaminate le condizioni di pericolosità idraulica e geomorfologica indicate dai vari piani territoriali.

## 2.2 Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

L'area d'intervento ricade all'interno del bacino che il PAI attribuisce al comprensorio denominato "Toscana Nord", delimitato a Nord dal bacino del fiume Magra, a Est dal bacino del fiume Serchio, a sud est dal bacino del fiume Camaiole e ad ovest dal mar Tirreno.

Il P.A.I. di quest'area, approvato con Deliberazione del Consiglio Regionale 25 gennaio, n. 11 "Approvazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico per il bacino di rilievo regionale Toscana Nord." è stato pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Toscana parte seconda n. 7 del 16 febbraio 2005.

Il P.A.I. del Bacino Toscana Nord, attraverso le sue disposizioni, persegue l'obiettivo generale di assicurare l'incolumità della popolazione nei territori dei bacini di rilievo regionale, garantendo adeguati livelli di sicurezza. In relazione alle specifiche condizioni idrauliche e idrogeologiche, alla tutela dell'ambiente e alla prevenzione di presumibili effetti dannosi di interventi antropici, sono state delineate delle aree con sigle P.I.ME. e P.I.E.:

- aree pericolosità idraulica molto elevata (P.I.ME);
- aree pericolosità idraulica elevata (P.I.E.).

AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA AI SENSI DEL DPRG N.26/R DEL 27/04/2007 E DEL P.A.I. DELL'AUTORITA' DI BACINO TOSCANA NORD

 Aree I4 - P.I.M.E.: aree I4 già perimetrate come aree P.I.M.E.

 Aree I4 - P.I.E.: aree I4 già perimetrate come aree P.I.E.

 Aree I3 - P.I.E.: aree I3 già perimetrate come aree P.I.E.

 Pericolosità idraulica molto elevata

 Pericolosità idraulica elevata

 Pericolosità idraulica media

 Pericolosità idraulica bassa

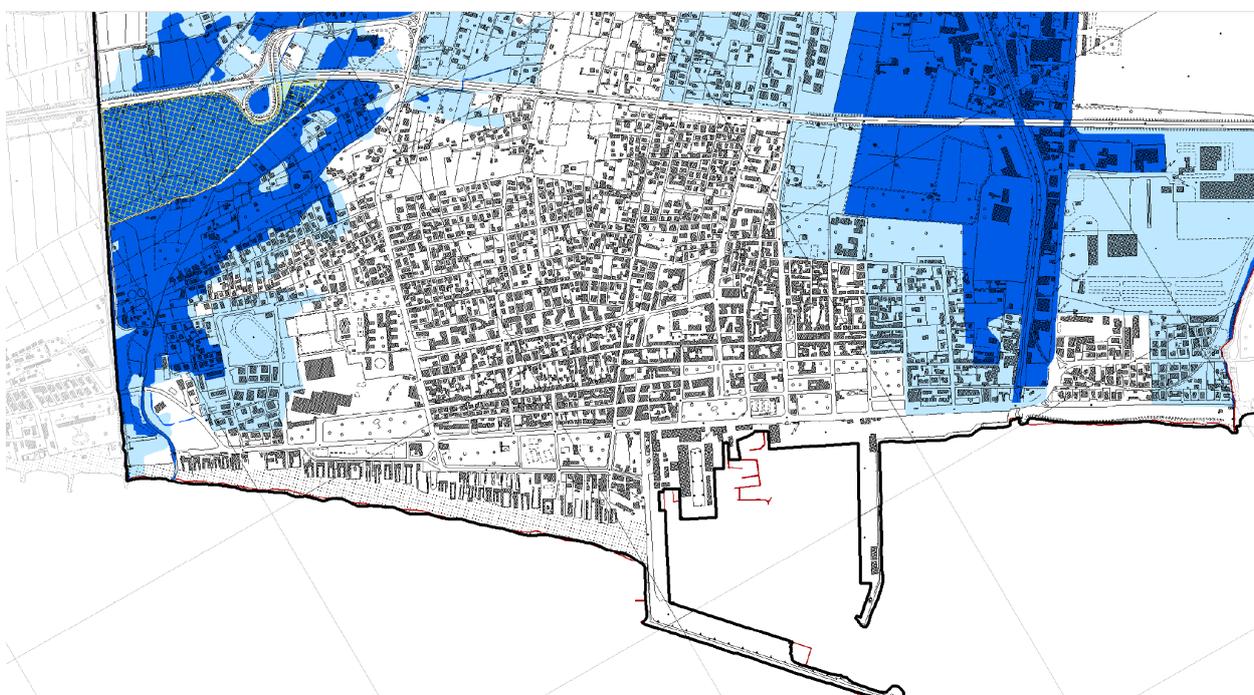


Figura 2.1 - Stralcio carta delle "aree a pericolosità idraulica" DPRG n.26/R 2007 (PAI Toscana Nord)

Dall'analisi della carta delle "Aree a Pericolosità Idraulica" (Fig. 2.1) si desume che l'area portuale di marina di Carrara, oggetto del presente studio, ricade nelle classi di aree a pericolosità idraulica media e bassa.

### 2.3 PAI - Variante al Quadro Conoscitivo relativa alla definizione delle Aree a Pericolosità Idraulica e Geomorfologica

Con delibera n. 74 del 01/08/2011 del Consiglio Comunale di Carrara è stata approvata la Variante al Quadro Conoscitivo relativa alla definizione ed aggiornamento delle aree a pericolosità idraulica e geomorfologica sull'ambito comunale.



#### Legenda

-  Limite Bacino Regionale Toscana Nord
-  Perimetro Comune di Carrara
-  Aree ASIP

#### Bacino Toscana Nord

##### Pericolosità geomorfologica

-  P.F.M.E. - Pericolosità geomorfologica molto elevata
-  P.F.E. - Pericolosità geomorfologica elevata

##### Pericolosità idraulica

-  P.I.E. - Pericolosità idraulica elevata
-  P.I.M.E. - Pericolosità idraulica molto elevata

#### Bacino del Magra

##### Pericolosità geomorfologica

-  PG2 - Pericolosità geomorfologica media
-  PG3 - Pericolosità geomorfologica elevata
-  PG4 - Pericolosità geomorfologica molto elevata

##### Aree inondabili

-  Ambito PI4A - Aree inondabili per T=30 anni a maggiore pericolosità relativa
-  Ambito PI3A - Aree inondabili per T=200 anni a maggiore pericolosità relativa
-  Ambito PI3B - Aree inondabili per T=200 anni a minore pericolosità relativa
-  Ambito PI2 - Aree inondabili per T=500 anni

Figura 2.2 - Stralcio carta delle "aree a pericolosità idraulica e geomorfologica" PAI - Variante al Quadro Conoscitivo (2011)

Dall'esame della "Carta delle aree a pericolosità idraulica e geomorfologica" (Fig. 2.2), l'area progettuale non risulta essere tra quelle soggette a pericolosità geomorfologica e/o idraulica elevata e/o molto elevata.

## 2.4 Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)

La Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, pone l'obiettivo, agli enti competenti in materia di difesa del suolo, di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali.

In tal senso la Direttiva e il D.lgs. 49/2010 disciplinano le attività di valutazione e di gestione dei rischi articolandole nelle seguenti fasi:

- Valutazione preliminare del rischio di alluvioni;
- Elaborazione di mappe della pericolosità e del rischio di alluvione;
- Predisposizione ed attuazione di piani di gestione del rischio di alluvioni;
- Fasi successive - Aggiornamenti del Piano di gestione.

I PGRA pertanto riguardano tutti gli aspetti legati alla gestione del rischio di alluvioni ed ovvero:

- Prevenzione;
- Protezione;
- Preparazione;
- Misure di risposta e ripristino.

Il territorio comunale di Carrara fa parte dell'**Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale**, istituita con decreto del Ministro dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 294 del 25 ottobre 2016 (pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 27 del 2 febbraio 2017).

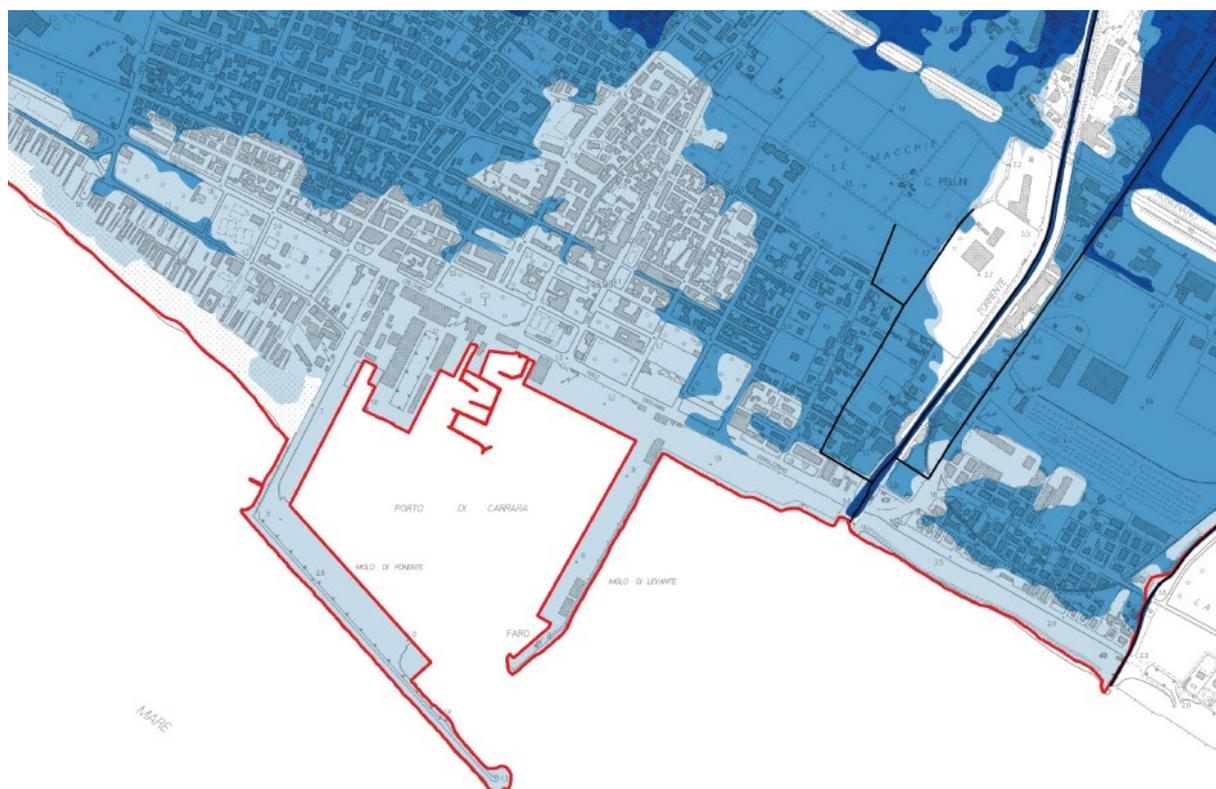
Dal 17 febbraio 2017 risultano soppresse, per espressa disposizione di legge (rif. art. 51 comma 4 della legge n. 221/2015), tutte le Autorità di bacino di cui alla legge 183/1989 e quindi anche l'Autorità di bacino del fiume Arno, sostituita dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Con le delibere del Comitato Istituzionale n. 231 e 232 del 17 dicembre 2015 è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del bacino del fiume Arno con apposizione delle misure di salvaguardia. Successivamente con delibera del Comitato Istituzionale n. 235 del 3 marzo 2016 il Piano è stato definitivamente approvato.

Infine con la pubblicazione in Gazzetta Ufficiale n. 28 del 3 febbraio 2017 è stato approvato il DPCM ed è avvenuta l'approvazione del Piano di gestione del rischio di Alluvioni del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale. Sono state altresì adottate ed approvate le nuove cartografie relative alle classi di pericolosità e di rischio idraulico oltre alla normativa specifica.

Di seguito si riportano le planimetrie della “pericolosità idraulica” e della “pericolosità idraulica analitica” allegate allo studio-idrologico-idraulico di supporto al Piano Operativo Comunale di Carrara e aggiornamento al Piano di Gestione Rischio Alluvioni, approvato con delibera di C.C. n° 38 del 17/05/2018.

Tale studio, ai sensi del DPGR 53R/2011, indica la probabilità di esondazione dei corsi d’acqua, in riferimento al reticolo d’interesse, definendo quattro gradi di pericolosità idraulica e i relativi tempi di ritorno (vedi Fig. 2.3).



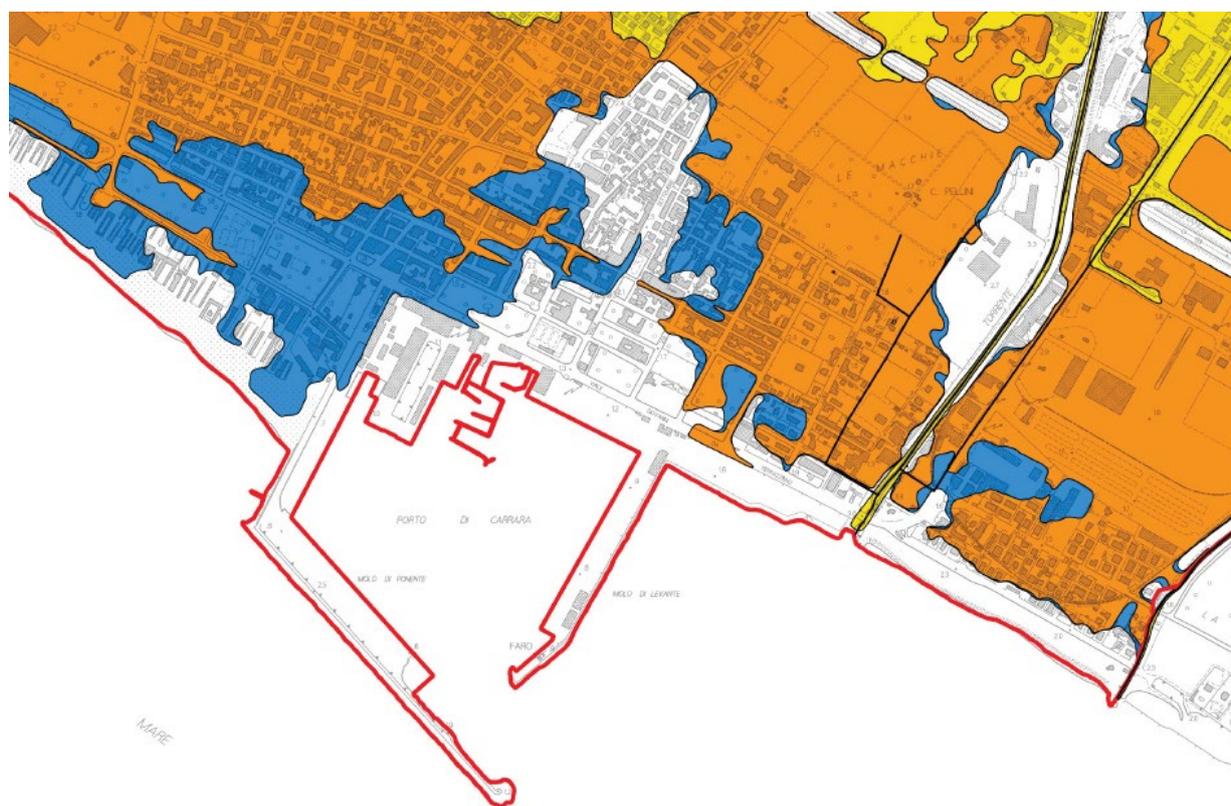
**LEGENDA**

- Reticolo Idrografico ai sensi della L.R. n.79/2012
- - - Limite Modello Analitico
- ▭ Limite Comune di Carrara
- Perimetrazioni ai sensi del PGRA D.Lgs 49/2010
- ▭ Pericolosità da alluvione Bassa (P1)  $200 < TR \leq 500$  anni
- ▭ Pericolosità da alluvione Media (P2)  $30 < TR \leq 200$  anni
- ▭ Pericolosità da alluvione Elevata (P3)  $TR \leq 30$  anni

**Figura 2.3 - Stralcio “planimetria della pericolosità idraulica” ai sensi del PGRA**

Dall’esame della carta della pericolosità idraulica (Fig. 2.3), l’area di progetto risulta essere caratterizzata da un grado di pericolosità da alluvione basso.

Ai fini dell'aggiornamento del PGRA D.Lgs. 49/2010 sono stati individuati tre gradi di pericolosità da alluvione (molto elevata, elevata, media) relativi ad aree che risultano allagabili per eventi con tempo di ritorno compreso tra i 30 e i 500 anni (vedi Fig. 2.4).



**LEGENDA**

- Reticolo Idrografico ai sensi della L.R. n.79/2012
- Limite Comune di Carrara
- Perimetrazioni Analitiche
- Pericolosità idraulica Molto Elevata I.4 (DPGR 53R/2011)  
Pericolosità da Alluvione Elevata P3 (D.Lgs 49/2010 PGRA)  
TR<=30 anni
- Pericolosità idraulica Elevata I.3 (DPGR 53R/2011)  
Pericolosità da Alluvione Media P2 (D.Lgs 49/2010 PGRA)  
30<TR<=200 anni
- Pericolosità idraulica Media I.2 (DPGR 53R/2011)  
Pericolosità da Alluvione Bassa P1 (D.Lgs 49/2010 PGRA)  
200<TR<=500 anni

**Figura 2.4 - Stralcio “planimetria della pericolosità idraulica analitica” ai sensi del PGRA**

Dall'esame della carta della pericolosità idraulica analitica (Fig. 2.4), l'area in studio risulta essere caratterizzata da una pericolosità idraulica media che interessa comunque soltanto un piccolo settore dell'area progettuale.

## 2.5 Piano Strutturale del Comune di Carrara - Aggiornamento del Quadro Conoscitivo relativo alla definizione delle Aree a Pericolosità Geomorfológica

Con Delibera n° 37 del 09/04/2019 è stato aggiornato il Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale per la parte inerente gli studi e le pericolosità geomorfologiche. Si riporta di seguito lo stralcio della “carta della pericolosità geologica” (tavola di sintesi rev. 2018) allegata al QC.



### LEGENDA

-  Limite del Comune di Carrara
-  Suddivisione tavole scala 1:5.000
-  Confine tra AdB Toscana Nord e AdB Fiume Magra

### CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOLOGICA

Viene applicata la corrispondenza G.4 = P.F.M.E. e G.3b = P.F.E.

- G.1**  
**Classe G.1: Pericolosità bassa**  
Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e glaciali non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici. Aree di conoidi d'alt. Cartone senza condizionamenti d'ordine geologico in senso lato.
- G.2**  
**Classe G.2: Pericolosità media**  
Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati (naturalmente o artificialmente), aree con elementi geomorfologici, litologici e glaciali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto. Aree nelle quali sono al massimo prevedibili, sulla base di valutazioni geologiche, litotecniche e climometriche (corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%) limitati processi di degrado riconoscibili e neutralizzabili a livello di intervento diretto.
- G.3a**  
**Classe G.3a: Pericolosità medio-elevata**  
Aree in cui necessita particolare attenzione per la prevenzione dei dissesti idrogeologici per la presenza di elementi geomorfologici, litologici e glaciali dalla cui valutazione risulta una media propensione al dissesto (aree di ambito collinare e montano). Vi ricadono i corpi detritici con pendenze superiori al 25% e i versanti in roccia o con roccia sub-affiorante.

- G.3b**  
**Classe G.3b: Pericolosità elevata**  
Si applica la corrispondenza G.3b = P.F.E. (B.T.Nord) = PG3 e PG2 (B.F.Magra)  
Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti e relative aree di influenza con indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità che fanno prevedere attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa di media intensità, aree con indizi di instabilità connessi alla giacitura, all'attività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali o sotterranee, a intensi fenomeni erosivi e a processi accertati di degrado antropico. Tale classe include le frane non attive interessate (e non interessate) da fenomeni di ruscellamento diffuso e/o concentrato con pendenze superiori al 40% e i terreni di copertura s.l. in condizioni di instabilità geomorfologica potenziale. Vi ricadono anche le aree interessate da coperture detritiche con pendenze superiori al 60% e le aree esposte a possibili fenomeni di caduta massi.
- G.4**  
**Classe G.4: Pericolosità molto elevata**  
Si applica la corrispondenza G.4 = P.F.M.E. (B.T.Nord) = PG4 (B.F.Magra)  
Aree in cui sono presenti fenomeni franosi attivi e relative aree di influenza, nonché le aree che possono essere coinvolte dai suddetti fenomeni. Corrispondono alle aree con dissesto in atto al momento del rilevamento quanto a fenomeni inattivi che presentano però indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità che fanno prevedere attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa di elevata intensità. Tale classe include le aree che possono essere coinvolte da processi a cinematica rapida e veloce quali quelle soggette a colate rapide incanalate di detrito e terra, le aree esposte a fenomeni accertati di caduta massi, le aree interessate da siflussi e le aree che possono essere interessate da accertate voragini per fenomeni carsici.
- G.3j**  
**Classe G.3j: Pericolosità medio-elevata per caratteristiche geotecniche**  
Aree potenzialmente soggette a cedimenti differenziali per la presenza di terreni compressibili con caratteristiche geotecniche variabili da mediocri a scadenti. Aree caratterizzate da situazioni geologiche apparentemente stabili sulle quali occorrono degli approfondimenti da effettuarsi a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia.
- G.3s**  
**Classe G.3s: Pericolosità medio-elevata per propensione alla subsidenza**  
Aree potenzialmente soggette a subsidenza per carichi stratigrafici, litotecnici ed idrogeologici.

Figura 2.5 - Stralcio della “carta della pericolosità geologica” allegata al Piano Strutturale di Carrara (rev. 2018)

PROGETTAZIONE:



*Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale – Porti di La Spezia e Marina di Carrara*

**AMBITO 4 PROGETTO INTERFACCIA PORTO CITTA'**

**Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente**

PROGETTO DEFINITIVO

D.02 – RELAZIONE GEOLOGICA

Dall'analisi della "carta della pericolosità geologica" (Fig. 2.3) l'area d'intervento rientra nella classe G.1 (Pericolosità bassa): Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi. Aree di conoide del T. Carrione senza condizionamenti d'ordine geologico in senso lato.

### 3 GEOLOGIA

#### 3.1 Inquadramento Geologico

La geologia del territorio in esame si inquadra nella geologia generale dell'Appennino Settentrionale e delle Alpi Apuane.

L'Appennino settentrionale è una catena a falde derivata dalla deformazione terziaria di un settore del paleomargine continentale della microplacca adriatica prospiciente al Dominio Oceanico Ligure (Boccaletti et al., 1971; Alvarez et al., 1974; Kligfield, 1979).

A partire dal Miocene la deformazione compressiva si è propagata da ovest ad est fino all'Adriatico (Merla, 1952); contemporaneamente nella parte interna della catena si è avuta una importante fase distensiva, la quale ha interessato le precedenti strutture compressive.

Attualmente, strutture distensive interessano la parte occidentale dell'Appennino settentrionale e quelle compressive il margine esterno della catena lungo la Pianura Padana e l'Adriatico (Carmignani et al., 1993).

La pianura costiera Apuana, all'interno della quale è ubicata l'area di interesse, presenta la morfologia tipica delle pianure costiere essendo suddivisa in quattro fasce fisiografiche longitudinali a diversa natura:

- una spiaggia sabbiosa continua attualmente in forte erosione tra il porto di Carrara e Marina di Massa;
- una zona litoranea formata da depositi eolici e di spiaggia con resti di cordoni dunari. I cordoni dunari in realtà ad oggi sono in parte stati smantellati dall'intensa urbanizzazione della zona;
- una fascia intermedia depressa originariamente costituita da aree paludose e palustri attualmente in gran parte bonificata. Tale fascia occupa una zona retrodunale caratterizzata da un livello eterometrico di limi sabbiosi e argillosi con resti organici che sono il risultato della deposizione in queste aree dei materiali fini portati in sospensione dai corsi d'acqua minori;
- una zona interna formata da depositi alluvionali per lo più limosi attuali e recenti che si raccorda ai rilievi apuani tramite i depositi di ghiaie terrazzati dei grandi coni di deiezione del Torrente Carrione e del Torrente Ricortola. Questa zona è caratterizzata da forte urbanizzazione.

La successione delle formazioni geologiche affioranti nel territorio oggetto di studio, a partire da quella più recente, è la seguente:

#### 3.2 Depositi Eolici Recenti (Olocene)

*Sabbie di dune costiere.* Trattasi di dune eoliche la cui altezza è di circa 1÷2 m; le dune sono costituite da sabbia fine, le cui strutture sedimentarie, osservabili in corrispondenza

dei tratti di costa in erosione, sono rappresentate essenzialmente da laminazione obliqua ad alto angolo. Verso mare si osserva il tratto di costa rappresentato dalla spiaggia emersa, caratterizzata da un profilo molto dolce e costituita da sabbia medio-fine ben selezionata, a laminazione da piano-parallela ad obliqua, leggermente inclinata verso terra. Lo spessore è dell'ordine di un paio di metri. Tale deposito è riferibile all'Olocene.

### **3.3 Depositi di Spiaggia Attuale (Olocene)**

*Sabbie e ghiaie litorali.* Tali depositi si ritrovano lungo la fascia litorale di Marina di Carrara, larga da pochi metri fino ad un massimo di alcune decine di metri, che corre parallelamente alla linea di riva. Sono di natura sabbiosa con trovanti ciottolosi; essi derivano dagli apporti terrigeni dei vari torrenti, ridistribuiti successivamente, lungo la costa dal moto ondoso. Sono prevalentemente sedimenti sciolti con basso grado di costipamento e saturi al di sotto della quota di circa un metro dal piano campagna.

### **3.4 Depositi Alluvionali Terrazzati (Pleistocene - Olocene)**

Trattasi di depositi alluvionali costituiti da sedimenti granulari sciolti con granulometria compresa tra quella della sabbia fine e grossolana e quella del limo, con intercalate lenti di ghiaie e ciottoli.

Questa formazione, derivante dagli apporti solidi dei corsi d'acqua disposti subortogonalmente alla linea di costa, si raccorda localmente ai rilievi apuani tramite i depositi terrazzati dei grandi coni di deiezione del Torrente Carrione.

## **4 IDROGRAFIA**

Il sistema idrografico dell'area è rappresentato da corsi d'acqua brevi, a causa della vicinanza al mare delle alture dalle quali essi scendono. Questi corsi d'acqua sono la Parmignola, il Carrione, il Lavello. Il primo e l'ultimo hanno origine nella fascia collinare e segnano, rispettivamente, il confine tra il Comune di Carrara e quello di Ortonovo (quindi anche fra Toscana e Liguria), e fra Carrara e Massa.

Il Carrione è il più importante e il più lungo (12 km.). Nasce dalla regione marmifera ed è alimentato soprattutto da sorgenti, oltreché dagli apporti dei tributari che sono: il Canale di Bedizzano (precisiamo che per «Canale» s'intende una valle profondamente incassata) a sinistra; il Canale di Porcinacchia o di Torano, che riceve a sua volta il Canale di Ravaccione; il Canale di Gragnana: tutti a destra. Altri canali minori scendono più a valle: il Canale di Valenza ed il Canale di Fossola. Il bacino ha una modesta superficie (55 kmq.); nonostante ciò ha portate oscillanti fra i 400 e i 1.000 l/s. A monte della confluenza del Canale di Bedizzano e delle sorgenti delle Canalie, il Carrione rimane quasi completamente secco, salvo dopo i nubifragi, che fortunatamente sono un'eccezione. Pertanto si può affermare che il Carrione propriamente detto ha inizio a Vezzala, alla confluenza con il Canale di Torano, mentre poco a valle, alla Lùngina (detta oggi ufficialmente Lùgnola per italianizzare a tutti i costi un toponimo dialettale che non ne aveva affatto bisogno) riceve il Canale di Gragnana. Sia questo che il Canale di Torano sono alimentati da sorgenti che insieme a quelle delle Canalie sono in parte utilizzate per il fabbisogno idrico della città.

Il ventaglio di testata del Carrione ha quindi per vertice la conca di Carrara che è, in sostanza, una varice a monte del restringimento vallivo di San Ceccardo o della Fabbrica. Da questa località, situata alla periferia del centro storico, la valle, a fondo piatto e colmata da sedimenti alluvionali di varia natura, si allarga sempre di più fino al proprio sbocco nella piana costiera, fra il Monticello ed il Castellaro: sbocco che costituisce la più ampia interruzione nell'intera fascia collinare. Tale sbocco è caratterizzato da un vasto cono di deiezione, rilevabile, peraltro, solo dalla cartografia topografica a causa della debole inclinazione della generatrice. I depositi alluvionali di cui è composto il cono suddetto poggiano, almeno in parte, su sedimenti dell'antico estuario della Magra che, nel passato, fu enormemente più vasto di quello attuale; per il resto essi poggiano su sabbie marine. Tuttavia è probabile che, ad una certa profondità, al di sotto delle sabbie, si trovino i depositi alluvionali di un antico o paleo-Carrione il cui livello di base corrispondeva a quello marino nel periodo dell'ultima grande glaciazione, situato a parecchie decine di metri più in basso rispetto a quello attuale.

L'evoluzione del profilo del corso d'acqua medesimo, per quanto lo consentano le incomplete informazioni che si possono ricavare sul terreno, sembrerebbe legata più a fattori climatici che orogenetici, senza escludere questi ultimi, almeno in tempi relativamente vicini a noi. Infatti le tracce del passaggio dei corsi d'acqua del ventaglio di testata si trovano, sotto forma di lembi terrazzati, sui fianchi dei rispettivi solchi di erosione, a quote abbastanza superiori rispetto a quelle dell'attuale alveo, degradanti sensibilmente verso mare.

È utile ricordare, a questo punto, che viene detto «Terrazzo» il lembo di deposito

PROGETTAZIONE:



*Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale – Porti di La Spezia e Marina di Carrara*

**AMBITO 4 PROGETTO INTERFACCIA PORTO CITTA'**

**Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente**

PROGETTO DEFINITIVO

D.02 – RELAZIONE GEOLOGICA

alluvionale inciso dallo stesso corso d'acqua che lo ha accumulato: in tal modo il materiale che rimane in destra o in sinistra, o in entrambi i versanti, rappresenta, appunto, il «terrazzo». Il dislivello esistente tra la sommità (pianeggiante) di questo deposito e l'álveo può assumere valori molto importanti, soprattutto nel caso in cui il terreno (la roccia) sul quale poggia venga profondamente inciso. In generale, trattandosi, come nel caso di cui si parla, di sedimenti di ciottolame calcareo, le acque «carbonatiche» circolanti depositano calcare e cementano fortemente il ciottolame stesso, che passa da formazione sciolta a conglomerato assai resistente.

## **5 IDROGEOLOGIA**

Dal punto di vista idrogeologico, nell'area della pianura costiera, la falda si attesta costantemente al di sopra della quota del livello del mare. Risulta evidente la forte ricarica proveniente dalle conoidi dei Torrenti Carrione e Parmignola e la conseguente elevata pendenza della falda che passa, in pochi chilometri, da monte verso valle, da una quota di circa 20 metri ad una di 2-3 metri s.l.m.m..

La stratigrafia dei terreni nel sottosuolo determina la presenza di acquiferi (sabbie, ghiaie e ciottoli), di livelli a bassa permeabilità (limi) mentre scarsi o assenti sono gli strati impermeabili (argille).

I depositi alluvionali dei conoidi di deiezione e della piana sono composti in prevalenza da ghiaie e ciottoli calcarei. Le ghiaie calcaree sono talora trasformate in conglomerato da un cemento carbonatico al passaggio con le sabbie marine: infatti si ritiene che la cementazione sia favorita dal miscelamento di acque dolci e salate in prossimità della riva.

Questo potente corpo sedimentario è un acquifero a buona permeabilità dotato, per il suo spessore, di elevata trasmissività. Si tratta di un acquifero libero in cui si localizza una falda praticamente unica, poiché i livelli impermeabili non hanno mai una continuità tale da separare più falde. L'acquifero è ampiamente sfruttato da numerosi pozzi.

L'acquifero sopra descritto presenta una permeabilità primaria per porosità, tipica generalmente dei depositi sciolti o scarsamente coerenti, che contengono numerosi piccoli vuoti intergranulari in comunicazione tra loro.

Tale permeabilità è anche detta primaria in quanto è insita nella genesi del deposito; tale permeabilità è direttamente proporzionale alla porosità efficace, che corrisponde a quella parte della porosità totale in grado di far circolare l'acqua gravifica.

Scendendo verso il litorale, i depositi ciottolosi di conoide s'immergono al di sotto di un complesso di sedimenti marini, che possiedono una copertura alluvionale limo-sabbiosa di qualche metro di spessore, al cui interno si possono trovare livelli di ghiaia ma anche depositi torbosi.

Questa copertura e lo stesso conglomerato che, dove presente, rappresenta un orizzonte impermeabile, fanno sì che la falda in ghiaia, libera nella fascia pedemontana, divenga confinata o semi-confinata nella fascia costiera.

In corrispondenza della scarpata di erosione marina, che coincide all'incirca con l'autostrada, c'erano un tempo alcune risorgive, causate dal salto morfologico e dalla diminuzione di permeabilità.

Le sabbie marine ed eoliche della fascia costiera rappresentano un acquifero libero di buona permeabilità, sovrastante quello costituito dai depositi alluvionali, che si trovano ad una profondità massima di 30-35 metri presso la costa.

In alcune zone, dove non ci sono né il conglomerato di tetto delle ghiaie continentali né i livelli limosi, c'è un unico acquifero monostrato potente sicuramente oltre 100 metri

PROGETTAZIONE:



*Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Orientale – Porti di La Spezia e Marina di Carrara*

**AMBITO 4 PROGETTO INTERFACCIA PORTO CITTA'**

**Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del Molo di Ponente**

PROGETTO DEFINITIVO

D.02 – RELAZIONE GEOLOGICA

(ovviamente con variazioni di permeabilità dovuta alla granulometria).

Le sabbie marine rappresentano l'acquifero sfruttato soprattutto da pozzi ad uso agricolo o domestico.

La misurazione del livello piezometrico effettuato dalla ditta Bierregi srl nel corso della campagna di indagini, ha individuato il livello della falda acquifera alla profondità di -2,60 metri rispetto al piano campagna.

## **6 SISMICITA' DELL'AREA**

L'area è collocata all'interno delle strutture tettoniche che caratterizzano l'Appennino settentrionale, risentendo soprattutto dei movimenti sismici che interessano la Lunigiana e l'alta Garfagnana.

Tra gli eventi sismici che hanno interessato l'area causando danni significativi alle costruzioni si possono ricordare i terremoti del 7 maggio 1481 (con epicentro nella Media Lunigiana ed intensità del VII-IX grado Mercalli), dell'11 aprile 1837 (epicentro in Uglianaldo con il IX-X Mercalli), del 7 settembre 1920 (epicentro in Fivizzano con il IX-X Mercalli) e del 10 ottobre 1995 (epicentro ancora in Fivizzano con il VII-VIII Mercalli).

La pericolosità sismica viene valutata solitamente attraverso metodi probabilistici che consentono di calcolare la probabilità con la quale un determinato parametro del sisma si ripresenti con le stesse caratteristiche in un dato intervallo di tempo, definito tempo di ritorno. Alcuni parametri che possono essere presi in considerazione sono, ad esempio, il picco di accelerazione del moto del suolo e l'intensità macrosismica.

Nel calcolo della pericolosità sismica vanno considerati due gradi di incertezza: uno è legato all'impossibilità di stabilire una sequenzialità degli eventi sismici, l'altro invece è funzione del metodo di calcolo da adottare. Mentre nel primo caso l'incertezza non può essere ridotta, in quest'ultimo caso è invece variabile a seconda dell'efficienza del metodo utilizzato.

### **6.1 Classificazione Sismica Nazionale**

La classificazione sismica dell'Italia è la suddivisione del territorio nazionale in specifiche aree, caratterizzate da un comune rischio sismico.

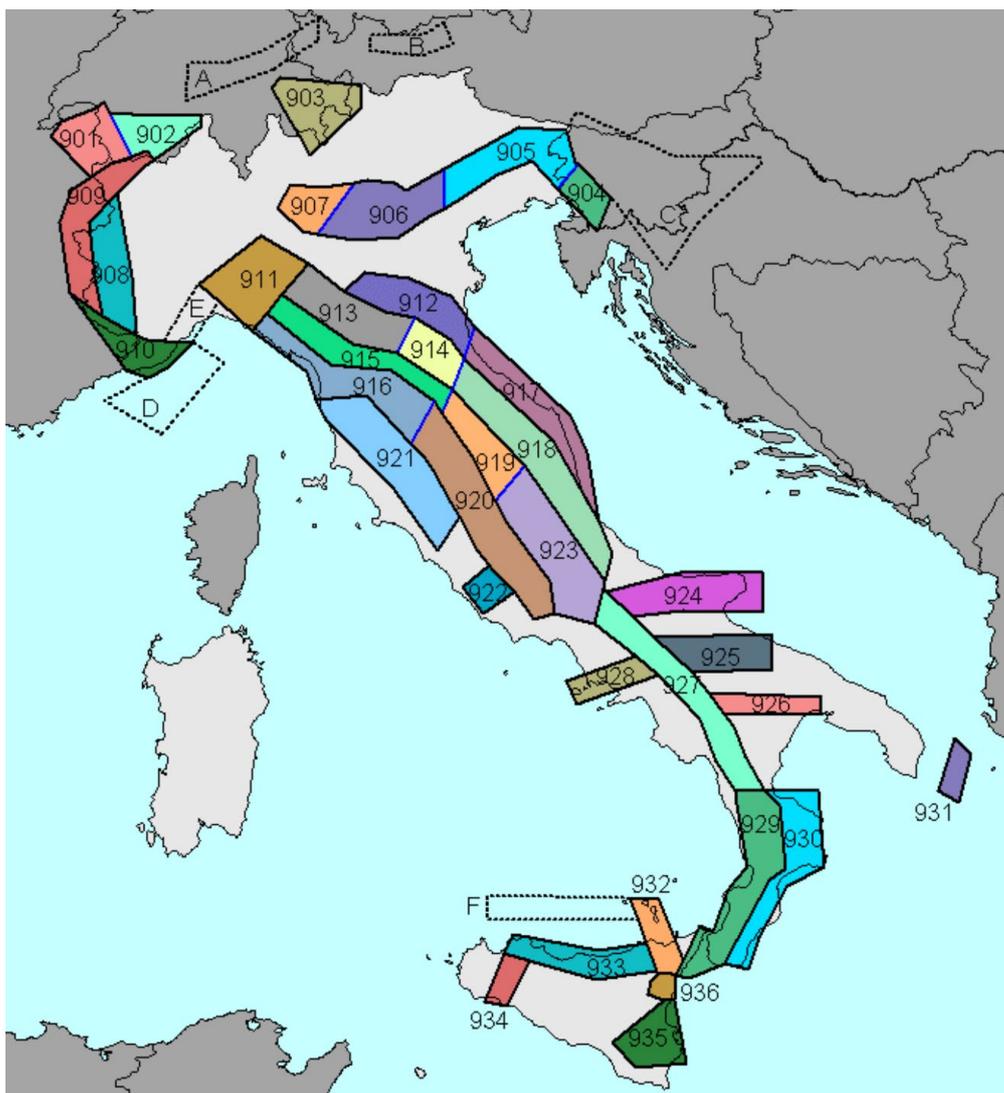
Sino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. Nel 2003 sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica del territorio nazionale, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

A tal fine è stata pubblicata l'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003, in seguito al disastroso terremoto nel Molise del 31 ottobre 2002, la quale promuove uno schema di riclassificazione sismica del territorio italiano. Non si fa più riferimento quindi alle categorie sismiche, ma vengono considerate nuove classi di sismicità denominate zone sismiche: in totale vengono considerate 4 zone, a differenze delle 3 categorie stabilite dalle norme precedenti.

Con l'O.P.C.M. 3519/2006 si introduce un nuovo concetto di classificazione sismica del territorio nazionale, concettualmente più valida delle precedenti, che non tiene più conto dei limiti comunali, ma di dati d'ingresso puramente sismici e geologici, rappresentati dal catalogo parametrico dei terremoti italiani (CPTI04) e dalla nuova zonazione sismogenetica

“ZS9”, secondo la quale il territorio italiano risulta suddiviso in 36 diverse zone, numerate da 901 a 936, più altre 6 zone, identificate con le lettere da “A” a “F”.

Per zone sorgente, o sismogenetiche, si intendono quelle aree che si possono considerare omogenee dal punto di vista geologico strutturale e soprattutto cinematico.



**Figura 6.1 - Stralcio della carta sismogenetica d'Italia - Zone ZS9**

Attraverso l’analisi della geometria delle strutture attive e lo studio dei meccanismi di movimento crostale e della distribuzione degli eventi sismici a seconda dei valori di magnitudo, si definisce la mappatura della penisola italiana e di alcune aree adiacenti mediante la suddivisione in zone sismiche, i cui contorni sono stabiliti da una corretta associazione di criteri geologici e sismologici.

Di seguito viene rappresentata la mappa di pericolosità sismica del territorio regionale, la quale tiene conto di ben 12 zone sismiche in funzione dei valori dell'accelerazione massima del suolo ( $a_g$ ), espressa con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, e riferita a suoli di tipo A.

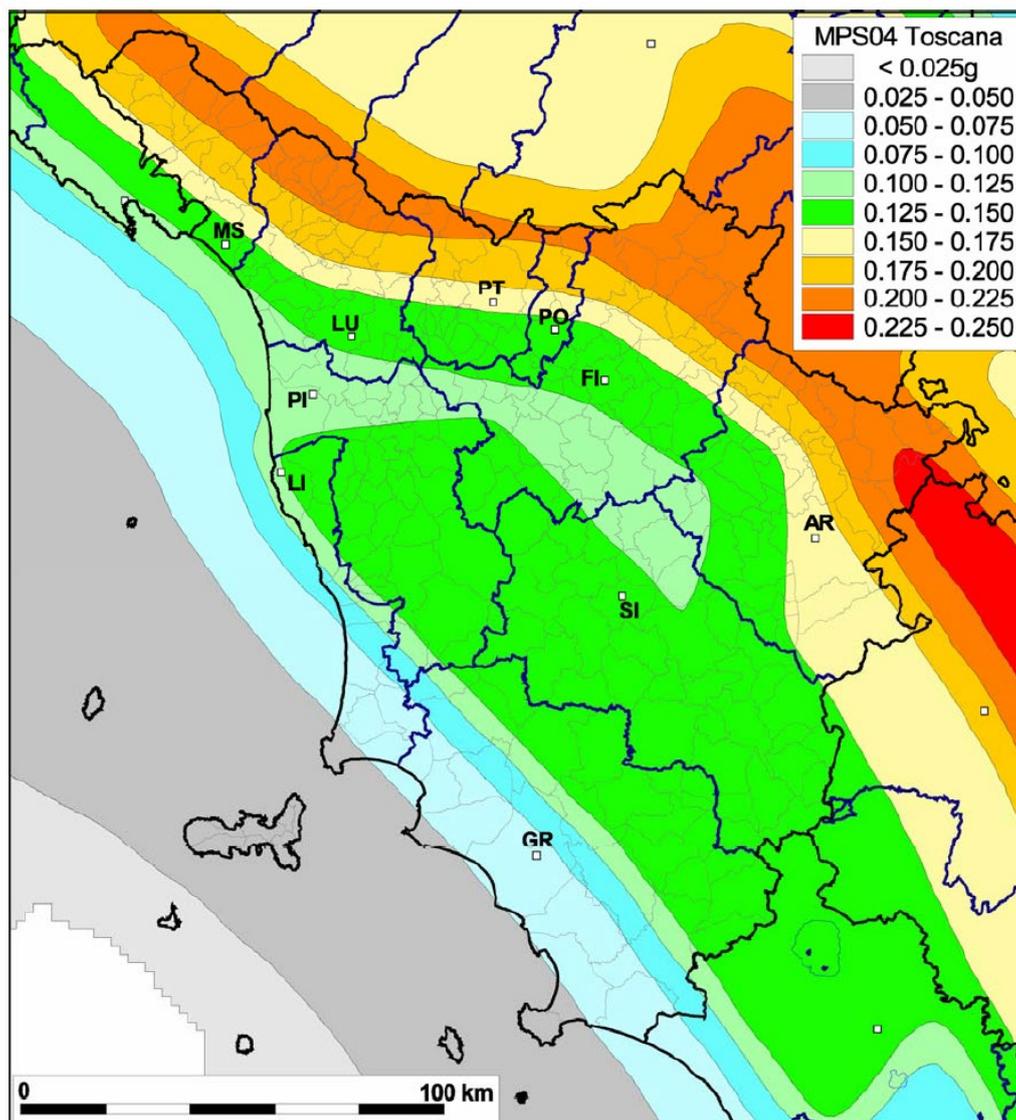


Figura 6.2 - Mappa di pericolosità sismica (MPS) della Toscana (mappa mediana al 50° percentile). I valori di accelerazione sono riferiti ad un tempo di ritorno pari a 475 anni (INGV, 2004)

Secondo la classificazione sismica O.P.C.M. 3519/2006 il territorio comunale di Carrara presenta un grado di pericolosità sismica esprimibile, in termini di accelerazione massima del suolo, secondo valori di  $a_g$  compresi tra 0,125 g e 0,175 g.

Per quanto riguarda i dati del sisma di progetto, essi possono essere ricavati attraverso l'analisi probabilistica dei dati del Catalogo Sismico Nazionale. In particolare si fa riferimento

alla magnitudo massima attesa nella zona sismogenetica di competenza. Si considera sempre la zonazione sismogenetica “ZS 9”, secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima  $M_{wmax}$ .

Nome ZS	Numero ZS	$M_{wmax}$
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come  $M$  il valore di  $M_{wmax}$ . L'aera in studio si colloca all'interno della zona sismogenetica “916” con un valore di  $M_{wmax}$  pari a 6,14.

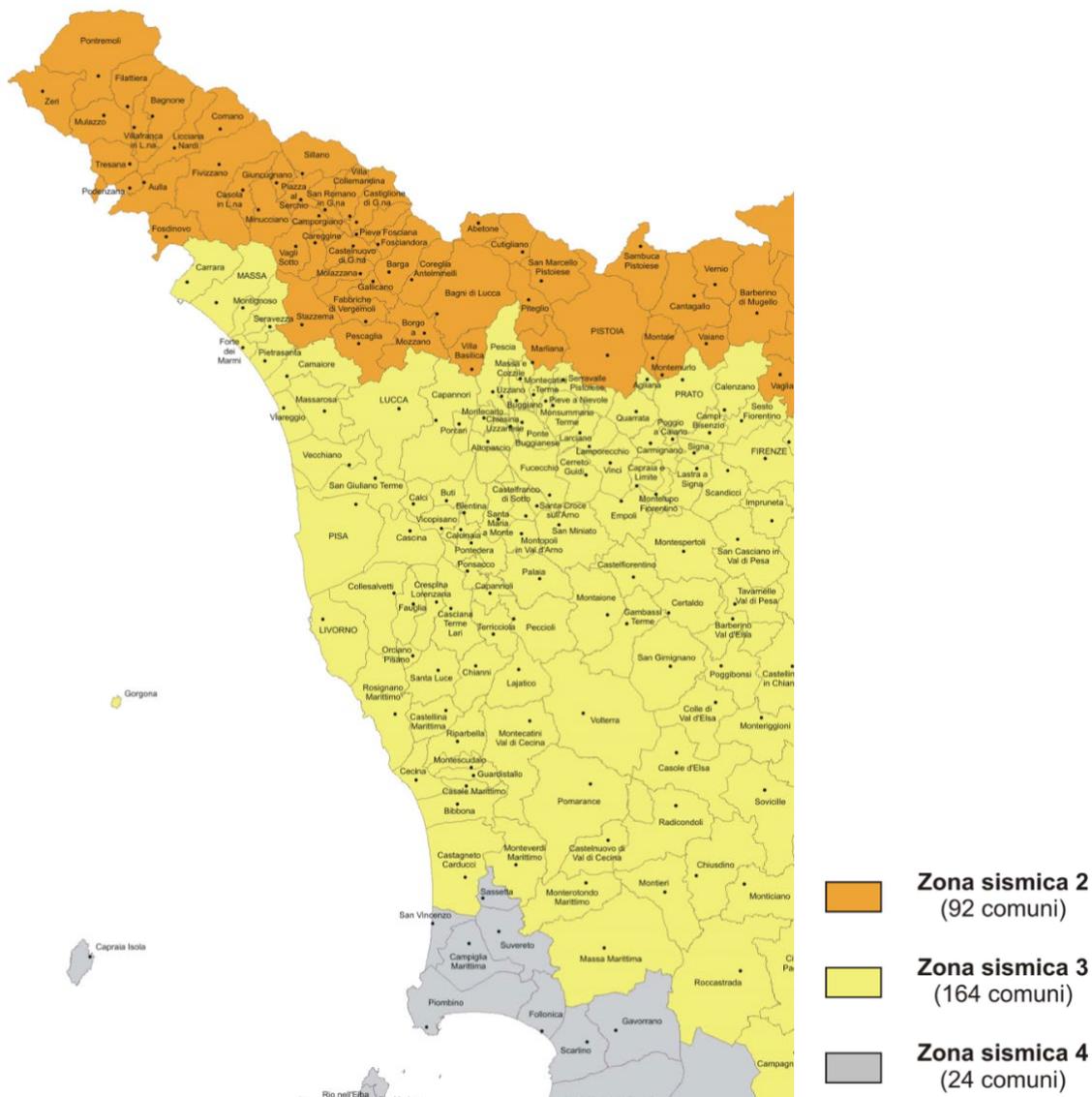
Ai fini della verifica a liquefazione e per i siti che non ricadono in alcuna zona sismogenetica si determinano le minime distanze ( $R_i$ ) dalle zone ( $i$ ) circostanti e si controlla per ciascuna di esse se la magnitudo  $M_i$  della zona è inferiore alla magnitudo fornita dalla relazione  $M_s = 1+3 \log (R_i)$ . Se ciò accade, la verifica a liquefazione non è necessaria. Se invece è necessaria, si assume il valore di magnitudo  $M_i$  più alto fra quelli per i quali la verifica è necessaria.

## 6.2 Classificazione Sismica Regionale

### Aggiornamento della classificazione sismica regionale (maggio 2014)

Il Comune di Carrara risulta inserito nell'elenco dei comuni della Regione Toscana classificati sismici con i criteri adottati nella Deliberazione G.R.T. n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul B.U.R.T. Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, relativa all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012. Tale aggiornamento dell'elenco di classificazione sismica è divenuto necessario a seguito della fusione di 14 comuni toscani, con conseguente istituzione dal 1° gennaio 2014 di 7 nuove amministrazioni comunali.

Ai sensi del DGRT 421/2014, il Comune di Carrara risulta classificato in “**zona sismica 3**” ( $A_g/g = 0,15$ ).



**Figura 6.3 - Stralcio della mappa della classificazione sismica (allegato 2 della Deliberazione G.R.T. n. 878 dell'8 ottobre 2012)**

### **6.3 Categorie di Sottosuolo (D.M. 17.01.2018)**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione

geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

dove  $h$  e  $V_s$  indicano rispettivamente lo spessore (in m) e la velocità media delle onde di taglio dello spessore  $i$ -esimo per un totale di  $N$  strati presenti e  $H$  indica la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella seguente tabella:

**Categorie di sottosuolo (D.M. 17.01.2018 - Tabella 3.2.II)**

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
<b>C</b>	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> , 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.

<b>D</b>	<i>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 m/s e 180 m/s.</i>
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiori a 30 m</i>

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

In relazione a quanto sopra esposto e sulla scorta dei dati acquisiti dalla prova sismica down-hole effettuata ( $V_{s,eq} = 200$  m/s), è possibile assimilare i terreni di fondazione dell'opera in oggetto alla classe "C".

#### **6.4 Condizioni Topografiche (D.M. 17.01.2018)**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione

##### *Categorie di topografiche (D.M. 17.01.2018 - Tabella 3.2.III)*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 metri.

Sulla base delle caratteristiche morfologiche del sito si associa l'area di progetto alla categoria topografica "T1".

## **7 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DEI TERRENI**

Per la caratterizzazione geomeccanica dei terreni di fondazione e per la definizione di dettaglio della stratigrafia locale, sono state eseguite nell'ambito del presente studio delle specifiche indagini in sito dalla BIERREGI srl. L'ubicazione di tali indagini è riportata nell'allegato "Carta ubicazione indagini". La campagna geognostica e geofisica ha comportato l'esecuzione di una perforazione a carotaggio continuo, spinta fino alla profondità di 30 metri dal p.c., nel corso della quale sono state effettuate n° 6 prove penetrometriche dinamiche "S.P.T." e prelevati n° 6 campioni, sottoposti a prove ed analisi di laboratorio; quindi è stata eseguita una prova sismica in foro del tipo down-hole.

Per la consultazione integrale dei risultati delle indagini e delle prove effettuate, si rimanda all'elaborato "B.03 - Indagini geognostiche e sulle strutture esistenti".

### **7.1 Descrizione Stratigrafica**

Il sondaggio "S1-DH", eseguito nei giorni 27 e 28 maggio 2019 ad andamento verticale fino alla profondità di 30 metri dal p.c., ha evidenziato la seguente successione stratigrafica, costituita essenzialmente da piroclastiti sabbioso-limose alternate, negli strati più profondi, a brecce e lave.

<b>Profondità dal p.c. (m.)</b>	<b>Descrizione</b>
0,00 - 5,50	Sabbia medio-fine debolmente limosa-argillosa di colore grigio
5,50 - 10,30	Sabbia medio-grossolana debolmente limosa-argillosa di colore grigio
10,30 - 21,00	Sabbia fine debolmente limosa-argillosa di colore grigio
21,00 - 25,00	Sabbia fine debolmente limosa-argillosa di colore grigio, con elementi conchigliari, con tendenziale aumento della frazione fine con la profondità
25,00 - 26,50	Limo argilloso-sabbioso di colore grigio con elementi conchigliari
26,50 - 28,00	Sabbia medio-fine debolmente limosa-argillosa di colore grigio con elementi conchigliari
28,00 - 30,00	Sabbia grossolana con ghiaietto di colore oca

Si riportano di seguito le coordinate geografiche WGS84 relative al punto di realizzazione del sondaggio S1-DH:

Latitudine: 44,034913 N

Longitudine: 10,035861 E

## 7.2 Caratteristiche Fisiche

Nel corso del sondaggio “S1-DH” sono stati prelevati 6 campioni rimaneggiati, gli stessi sono stati poi sottoposti ad analisi e prove di laboratorio. Nella tabella che segue sono riportati le caratteristiche fisiche generali determinate:

Campione	Descrizione	Profondità dal p.c.	Peso volume naturale ( $\gamma$ ) KN/m <sup>3</sup>	Peso specifico parte solida ( $\gamma_s$ ) g/cm <sup>3</sup>	Contenuto d'acqua allo stato naturale ( $w_n$ )	Peso volume immerso ( $\gamma'$ ) KN/m <sup>3</sup>	Peso volume saturo ( $\gamma_{sat}$ ) KN/m <sup>3</sup>
Cr1	sabbia medio-fine limosa	3,00 - 3,50	19.60	2,679	15.20 %	10,70	20.46
Cr2	sabbia da grossa a fine limosa	8,00 - 8,50	20.70	2,675	11.20 %	11,70	21.45
Cr3	sabbia fine con limo	12,00 - 12,50	20.60	2,678	18.10 %	11,00	20.73

## 7.3 Granulometria

I suddetti campioni sono stati sottoposti ad analisi granulometriche mediante stacciatura a secco, al fine di classificare il terreno secondo la composizione percentuale delle sue particelle solide suddivise per classi granulometriche.

Campione	Profondità da p.c. (m.)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)
Cr1	3,00 - 3,50	0.10	74.10	22.10	3.70
Cr2	8,00 - 8,50	2.70	73.70	20.80	2.80
Cr3	12,00 - 12,50	0.00	61.90	31.70	6.40
Cr4	15,00 - 15,45	0.60	80.60	18.90 (*)	
Cr5	20,00 - 20,45	0.00	73.80	26.20 (*)	
Cr6	25,00 - 25,45	0.00	41.00	59.00 (*)	

(\*) Limo + Argilla

L'esame delle percentuali evidenzia che la granulometrica preponderante dei campioni sia riconducibile alla classe delle sabbie, ad eccezione del campione “Cr6” che presenta un

maggior contenuto di limo+argilla.

## 7.4 Interpretazione Sismostratigrafica

L'interpretazione dei dati acquisiti dalla prova sismica in foro down-hole ha consentito di individuare tre sismostrati:

- il primo più superficiale con valori di  $V_s$  pari a 128 m/s, caratterizzato da uno spessore di circa 3 metri, pressoché costante lungo tutta la stesa;
- il secondo spesso circa 23 metri, da - 3 m. a - 26,00, m., con valori di  $V_s$  pari a 198 m/s;
- il terzo più profondo, da - 26,00 m. a - 30,00, m., con valori di  $V_s$  pari a 394 m/s.

## 7.5 Interpretazione delle Prove Penetrometriche Dinamiche SPT

La prova S.P.T. (Standard Penetration Test) consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionario di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,76 m.

Durante le 6 prove SPT eseguite in loco, sono state effettuate le seguenti misurazioni:

- $N_1$  = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionario per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- $N_2$  = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionario nei successivi 15 cm;
- $N_3$  = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:  $N_{SPT} = N_2 + N_3$

Le particolari modalità di esecuzione delle prove S.P.T. richiedono che ai valori di  $N_{SPT}$  siano apportate delle correzioni, che tengano conto delle variabili esistenti. Nel caso specifico sono state considerati i seguenti elementi:

- Influenza della pressione litostatica;
- Influenza della presenza di falda acquifera.

Nella prova S.P.T. il numero di colpi è influenzato dalla pressione litostatica, di conseguenza è necessario normalizzare le misure riportandole al valore corrispondente alla pressione litostatica efficace (Liao e Whitman, 1985).

$$N_1 = \frac{1}{\sigma_{v0}^n} N$$

Per quanto concerne l'influenza della falda sul valore del numero di colpi Terzaghi e Peck (1948) consigliano di adottare, in presenza di sabbie fini e/o limose molto addensate ( $N_{SPT} > 15$ ) la seguente relazione:

$$N' = 15 + 0.5(N - 15)$$

Per la caratterizzazione meccanica dei terreni sono state quindi utilizzate alcune correlazioni di carattere empirico che legano i valori del numero di colpi normalizzato, ai parametri geotecnici.

### 7.5.1 Correlazione tra $N_{spt}$ ed Angolo di Attrito Interno

È stato utilizzato un metodo di correlazione diretta tra il valore di  $N_{spt}$  e  $\phi'$ , proposto da Yukiwake & Jiro Fukuni (1982), attualmente utilizzato in Giappone dal Road Bridge Specification e Japanese National Railway, valido per le sabbie medie grossolane e sabbie ghiaiose, espressa dalla seguente funzione:

$$\phi = \sqrt{15 N_{spt}} + 15$$

I valori di  $N_{spt}$  così ottenuti e opportunamente corretti sono riportati nella seguente tabella riassuntiva:

N° Sondaggio	N° prova	Profondità dal p.c. (m)	$N_{SPT}$	$\sigma'_v$ Pressione verticale efficace (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cn Correzione litostatica	Cw Correzione per falda (solo per $N_{SPT} > 15$ )	$N_{SPT}$ corretto	Angolo attrito interno $\phi'$ (°)
S1-DH	1	1,50-1,95	13	0,29	1,70	no	22	33,2
S1-DH	2	4,50-4,95	6	0,69	1,16	no	7	25,4
S1-DH	3	10,50-10,95	12	1,26	0,85	no	10	27,4
S1-DH	4	15,00-15,45	11	1,69	0,74	no	8	26,0
S1-DH	5	20,00-20,45	10	2,16	0,64	no	6	24,8
S1-DH	6	25,00-25,45	9	2,64	0,58	no	5	23,8

## 8 MODELLO GEOLOGICO

Dall'analisi combinata dei dati ricavati dall'elaborazione delle prospezioni geologiche e geofisiche, delle prove di laboratorio e dall'analisi più generale del contesto geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismostratigrafico dell'area sede di realizzazione dell'intervento progettuale, è stato ricostruito il seguente "modello geologico", con l'individuazione delle "unità litotecniche", raggruppabili nella seguente successione.

- **Unità 1**

*Profondità da 0,00 a - 25,00 metri. Terreni essenzialmente sciolti, costituiti da sabbia medio-fine debolmente limosa-argillosa di colore grigio, nei quali il numero dei colpi (NSPT) si è attestato su valori compresi tra 6 e 13.*

- **Unità 2**

*Profondità da - 25,00 a - 26,50 metri. Un livello poco spesso, leggermente coesivo, costituito da limo argilloso sabbioso di colore grigio con elementi conchigliiferi.*

- **Unità 3**

*Profondità da - 26,50 a - 30,00 metri circa. Sabbia medio-fine debolmente limosa-argillosa di colore grigio, passante verso il basso a sabbia grossolana con ghiaietto. All'interno di questa unità è stato riscontrato un aumento delle velocità delle onde S con la profondità, tipico di terreni compatti e con un buon grado di addensamento.*

I diversi orizzonti sono stati quindi distinti e classificati tenendo conto del loro comportamento geomeccanico. Nella tabella che segue si riportano il modulo di elasticità, la velocità delle onde S e i valori medi dei parametri geotecnici assunti, in termini di tensioni efficaci.

**Tabella 8.1 - Caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione**

Unità	Descrizione	Profondità (m.l.)	Angolo d'attrito interno $\Phi'$ (°)	Peso di volume naturale $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	Peso di volume saturo $\gamma_{\text{sat}}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Coesione $C'$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di Young $E$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$V_s$ (m/s)
1	Sabbia medio-fine debolmente limosa-argillosa	da 0,00 a - 25,00	24,8° - 33,2°	19,60 - 20,70	20,46 - 21,45	0,00	829 - 2500	128-198
2	Limo e argilla con sabbia fina	da - 25,00 a - 26,50	23,8°	21,60	21,78	0,10-0,20	4848	269
3	Sabbia da medio-fine a grossolana con ghiaietto	da - 26,50 a - 30,00	32° - 34°	21,18	21,64	0,00	10138	394

## **9 VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Col termine liquefazione s'intende genericamente una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo (sabbia, ghiaia, limo non plastico) durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

I depositi potenzialmente liquefacibili, sottoposti allo scuotimento sismico, tendono ad addensarsi. Tuttavia, durante un sisma, non vi è il tempo necessario per espellere l'acqua interstiziale, che resta intrappolata e impedisce l'avvicinamento delle particelle solide. Questo ha come effetto l'incremento della pressione dell'acqua interstiziale. La perdita totale della resistenza avviene quando la pressione dell'acqua arriva a eguagliare la pressione di confinamento, rendendo nulle le pressioni efficaci trasmesse attraverso le particelle solide. In queste condizioni le particelle solide perdono il contatto tra loro e il deposito si comporta come un liquido.

E' possibile formulare il problema in termini generali prendendo in considerazione il criterio di Mohr-Coulomb, in base al quale la resistenza al taglio che può essere mobilitata su un piano normale soggetto ad una tensione normale totale  $\sigma_n$  è data da:

$$\tau_n = (\sigma_n - u) \tan \varphi' + c \quad (1)$$

in cui  $\varphi'$  è l'angolo di attrito del terreno, c'è la coesione. La liquefazione si attua quando il valore limite della tensione tangenziale  $\tau_n$  tende a zero; la (1) ne stabilisce i principi indipendentemente dall'occorrenza del sisma.

Come si può osservare, il pericolo di liquefazione è tanto minore quanto maggiore è la coesione c, l'angolo di attrito  $\varphi'$  e la tensione totale  $\sigma_n$ ; tende invece ad aumentare al crescere della pressione interstiziale u. Tale fenomeno riguarda quindi i depositi superficiali di terreno incoerente o debolmente coerente, in presenza di falda acquifera.

Il potenziale di liquefazione è inoltre incrementato in maniera rilevante dalle azioni cicliche prodotte dal terremoto, che riducono il volume dei vuoti aumentando di conseguenza la pressione interstiziale.

Questo fenomeno è profondamente influenzato dal numero dei cicli  $N_c$  del terremoto, dalla densità relativa  $D_r$  e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è più suscettibile alla liquefazione se possiede una bassa densità relativa; sembra inoltre che le situazioni più pericolose si verifichino in presenza di sabbie uniformi, con grani medio-piccoli.

### **9.1 Metodo di Valutazione**

I criteri di valutazione del potenziale di liquefazione sono i metodi empirici e i metodi semplificati o semiempirici. Nel caso in esame è stato applicato il metodo semplificato di

Andrus e Stokoe (1997).

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \quad (2)$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma. Il terreno (deposito sabbioso) o lo strato interessato non è liquefacibile se  $F_s > 1$ .

I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio  $V_s$ .

Il metodo di Andrus e Stokoe (1997), utilizzato nel caso specifico, è basato su dati provenienti da prove sismiche ( $V_s$ ). La velocità delle onde di taglio viene corretta con la formula (Robertson et al., 1992):

$$V_{s1} = V_s \left( \frac{1}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

La resistenza alla liquefazione CRR è valutata mediante la formula di Andrus e Stokoe:

$$CRR = 0,03 \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0,9}{(V_{s1c} - V_{s1})} - \frac{0,9}{V_{s1c}}$$

dove la presenza di fini FC (%) è tenuta in conto mediante la seguente procedura:

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

Il fattore di correzione della magnitudo MSF viene valutato come raccomandato dal NCEER (Tabella 9.1), il fattore di sicurezza alla liquefazione con la (2), mentre l'indice e il rischio di liquefazione vengono determinati con il metodo di Iwasaki et al..

**Tabella 9.1 - Magnitudo Scaling Factor**

Magnitudo	NCEER (Seed R. B. et al.) 1997; 2003
5.5	2.21
6.0	1.77
6.5	1.44
7.0	1.19
7.5	1.00
8.0	0.84
8.5	0.73

Il D.M. 17.01.2018 non indica un valore specifico del fattore di sicurezza ( $F_s$ ) da utilizzare come riferimento, ma secondo la normativa europea (EC8), nel caso di impiego di correlazioni semi-empiriche, un terreno è suscettibile di liquefazione se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto supera l'80% della resistenza mobilitata dal terreno ( $CSR \geq 0.80 CRR$ ).

Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite  $F_s = CRR/CSR = 1,25$ . Pertanto un deposito sabbioso è considerato non liquefacibile se il coefficiente di sicurezza  $F_s$  è maggiore di 1,25.

## 9.2 Dati di Calcolo

$H_{FALDA} = 2,60$  m. (profondità della falda)

$a_{max}/g = 0,15$  (accelerazione massima del suolo)

$M = 6,14$  (magnitudo massima attesa nella zona sismogenetica di competenza)

$S_1 = 3$  m. (spessore 1° strato da 0,00 a - 3,00 m.)

$S_2 = 12$  m. (spessore 2° strato da - 3,00 a - 15,00 m)

$V_s$  (1° strato) = 128 m/s (velocità delle onde di taglio del 1° strato)

$V_s$  (2° strato) = 198 m/s (velocità delle onde di taglio del 2° strato)

$\gamma_1 = 19,60$  KN/m<sup>3</sup> (peso di volume del 1° strato)

$\gamma_2 = 20,60$  KN/m<sup>3</sup> (peso di volume del 2° strato)

FC = 26 % (frazione fine contenuta nel deposito sabbioso 1° strato)

FC = 31 % (frazione fine contenuta nel deposito sabbioso 2° strato)

$V_{S1C}$  = rappresenta il valore limite di  $V_{S1}$  per il verificarsi di fenomeni di liquefazione

$V_{S1}$  = correzione della velocità delle onde S nello strato indagato

$\sigma'_{VO}$  = pressione verticale efficace espressa in Kg/cm<sup>2</sup>

## **10 CONCLUSIONI**

Le analisi e i risultati esposti nei capitoli della presente relazione hanno consentito la ricostruzione del “modello geologico” (D.M. 17/01/2018) e l'individuazione delle condizioni geomorfologiche e idrogeologiche, definendo gli aspetti legati al comportamento meccanico e sismico del sottosuolo interessato dagli “*Interventi per la fruibilità protetta della passeggiata sul mare in corrispondenza del molo di ponente*” di Marina di Carrara.

Il progetto riguarda la riqualificazione della fascia costiera e portuale incluso la passeggiata a mare “Sandro Pertini” e il molo foraneo di ponente (sopraflutto) fino alla testata dello stesso. Gli interventi prevedono la risagomatura e il potenziamento della diga foranea, al fine di creare le opportune condizioni di protezione dal moto ondoso della sovrastante passeggiata, garantendo contestualmente la fruizione del mare e la riqualificazione dell'affaccio verso Ponente.

L'area in esame, ubicata sulla costa settentrionale della Toscana, riguarda una porzione del Porto di Marina di Carrara e dell'arenile adiacente alla radice del molo di sopraflutto. Il sito ricade in destra idrografica del Torrente Carrione, ad una quota di circa 2,5 metri s.l.m. e s'individua in cartografia nel Foglio n° 249130, in scala 1:20.000, della C.T.R. Regione Toscana.

L'area d'interesse, dal punto di vista morfologico è caratterizzata da una zona tabulare stabile, in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi, per cui si è in presenza di un'area a pericolosità geologica bassa.

Dall'esame delle carte delle aree a pericolosità idraulica e geomorfologica del P.A.I., del P.G.R.A. e del Piano Strutturale del Comune di Carrara, si evince che l'area in studio è caratterizzata da un grado di pericolosità basso o medio (vedi Cap. 2).

Dal punto di vista della classificazione sismica, Carrara risulta inserito nell'elenco dei comuni della Regione Toscana classificati sismici con i criteri adottati nella Deliberazione G.R.T. n. 421 del 26/05/2014, relativa all'aggiornamento dell'allegato 1 (elenco dei comuni) e dell'allegato 2 (mappa) della Deliberazione GRT n. 878 dell'8 ottobre 2012. Ai sensi del DGRT 421/2014, il Comune di Carrara risulta classificato in “zona sismica 3” ( $Ag/g = 0,15$ ).

Sull'arenile, accanto alla radice del molo di sopraflutto, è stato effettuato un sondaggio a carotaggio continuo spinto fino a 30 metri di profondità, nel corso del quale sono stati prelevati n° 6 campioni, con successive analisi e prove di laboratorio, eseguite n° 6 prove penetrometriche SPT ed effettuata una prova sismica in foro down-hole.

Sulla base dei dati acquisiti è stato possibile schematizzare il sottosuolo nel seguente modello geologico:

Unità 1 - Profondità da 0,00 a - 25,00 metri. Terreni essenzialmente sciolti, costituiti da sabbia medio-fine debolmente limosa-argillosa di colore grigio, nei quali il numero dei colpi (NSPT) si è attestato su valori compresi tra 6 e 13.

Unità 2 - Profondità da - 25,00 a - 26,50 metri. Un livello poco spesso, leggermente

coesivo, costituito da limo argilloso sabbioso di colore grigio con elementi conchigliiferi.

Unità 3 - Profondità da - 26,50 a - 30,00 metri circa. Sabbia medio-fine debolmente limosa-argillosa di colore grigio, passante verso il basso a sabbia grossolana con ghiaietto. All'interno di questa unità è stato riscontrato un aumento delle velocità delle onde S con la profondità, tipico di terreni compatti e con un buon grado di addensamento.

I diversi orizzonti sono stati quindi distinti e classificati tenendo conto del loro comportamento geomeccanico. Nella tabella "Tabella 8.1 - Caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni di fondazione" sono stati riportati il modulo di Young, la velocità delle onde S e i valori medi dei parametri geotecnici assunti, in termini di tensioni efficaci.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, ai sensi del D.M. 17.01.2018, è stata individuata la categoria di sottosuolo "C" ( $V_{S,eq} = 200$  m/s) e la categoria topografica "T1".

La verifica del potenziale di liquefazione ha fornito un coefficiente di sicurezza soddisfacente ( $F_s > 1,25$ ), per cui i terreni di fondazione non risultano potenzialmente liquefacibili (vedi Cap. 9).

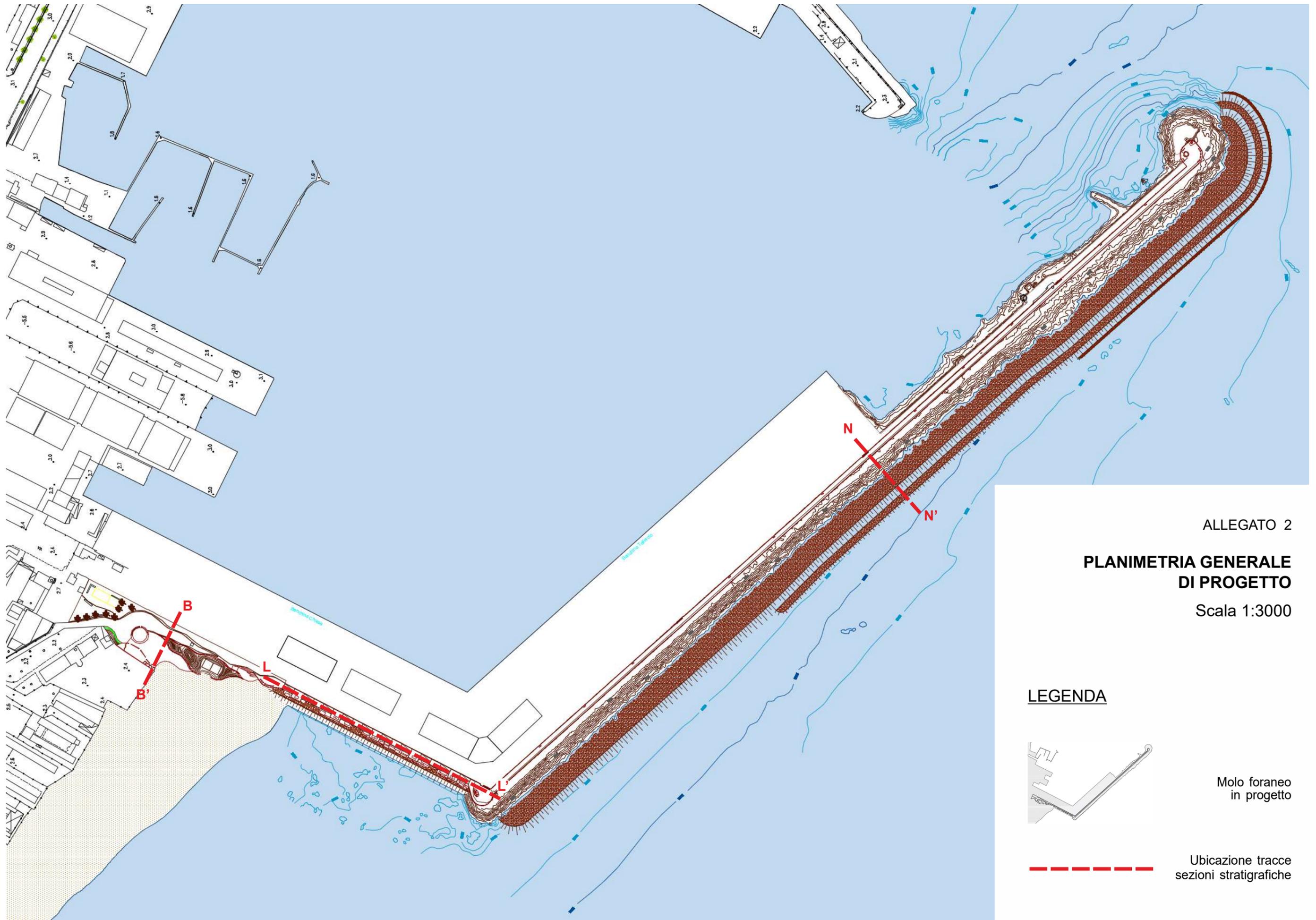
Le informazioni riportate nella presente relazione potranno essere valutate dal progettista in fase di adozione dei criteri di calcolo e di verifica delle strutture, secondo la caratterizzazione e modellazione geotecnica definita.

# COROGRAFIA GENERALE

Scala 1:20.000



Area in esame (C.T.R. Regione Toscana - Foglio n° 249130)

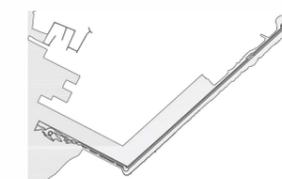


ALLEGATO 2

**PLANIMETRIA GENERALE  
DI PROGETTO**

Scala 1:3000

**LEGENDA**



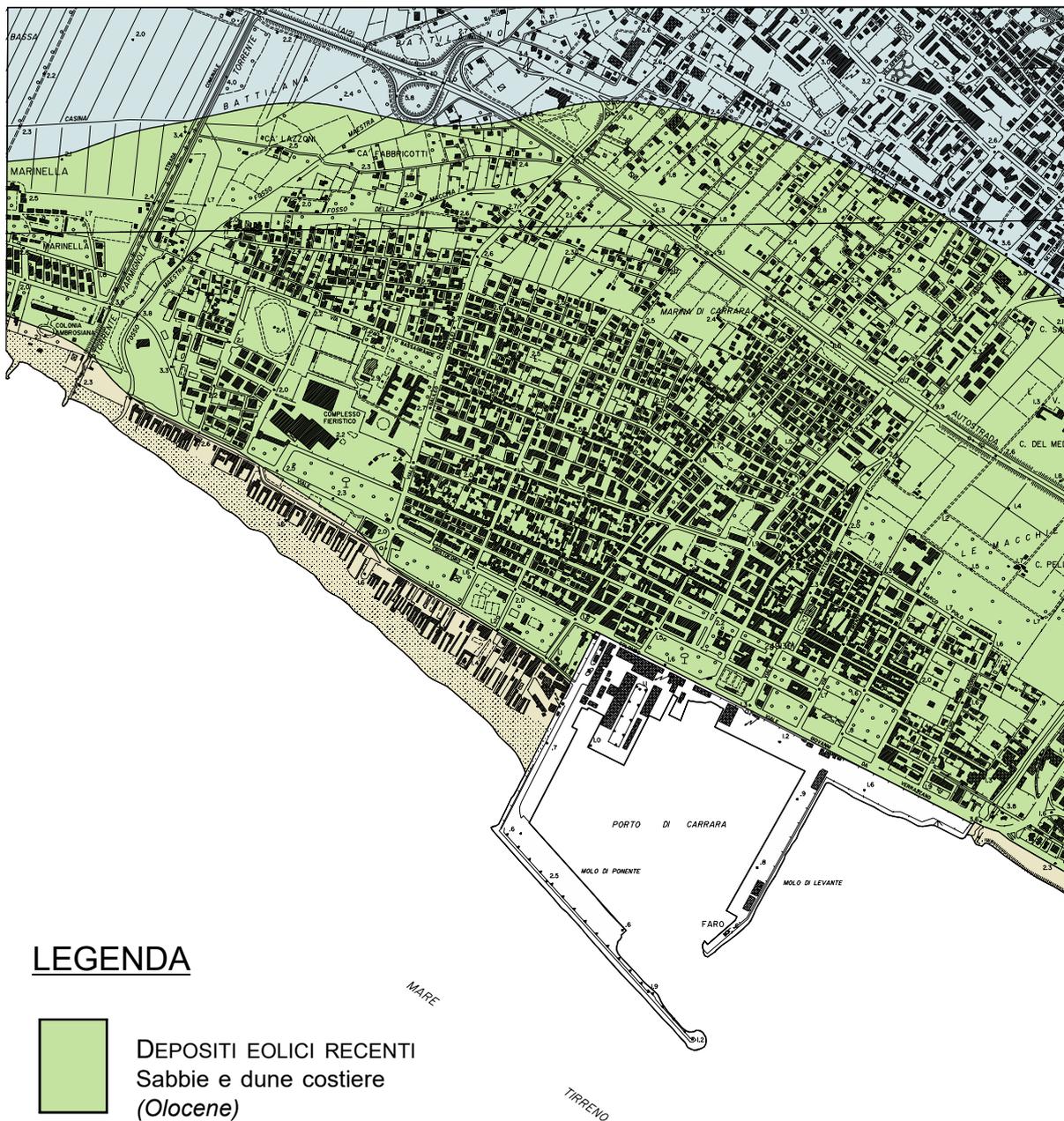
Molo foraneo  
in progetto



Ubicazione tracce  
sezioni stratigrafiche

# CARTA GEOLOGICA

Scala 1:20.000



## LEGENDA

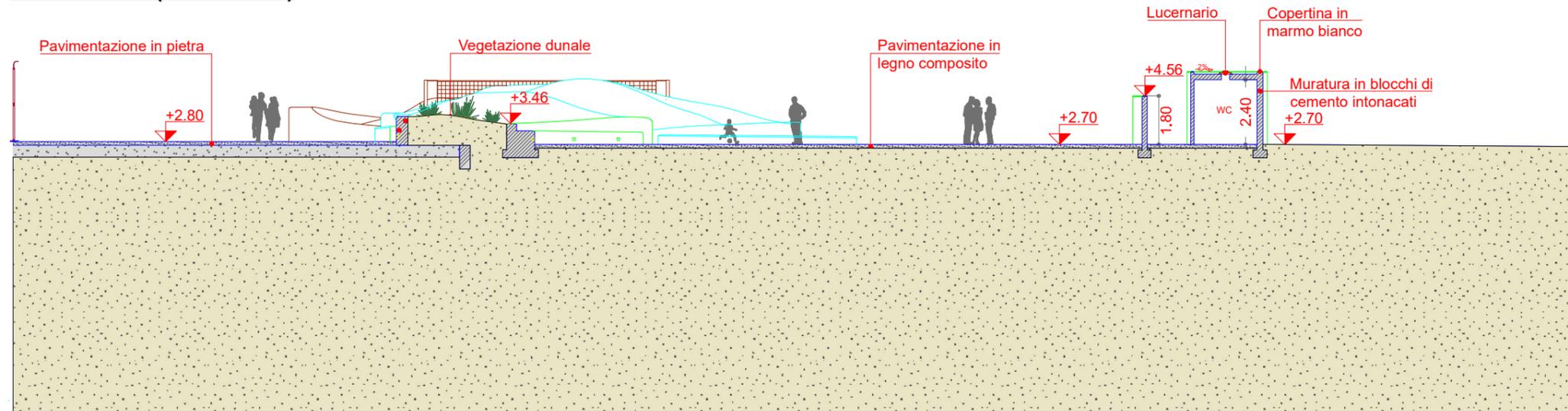
- 

DEPOSITI EOLICI RECENTI  
Sabbie e dune costiere  
(Olocene)
- 

DEPOSITI DI SPIAGGIA ATTUALE  
Sabbie e ghiaie litorali  
(Olocene)
- 

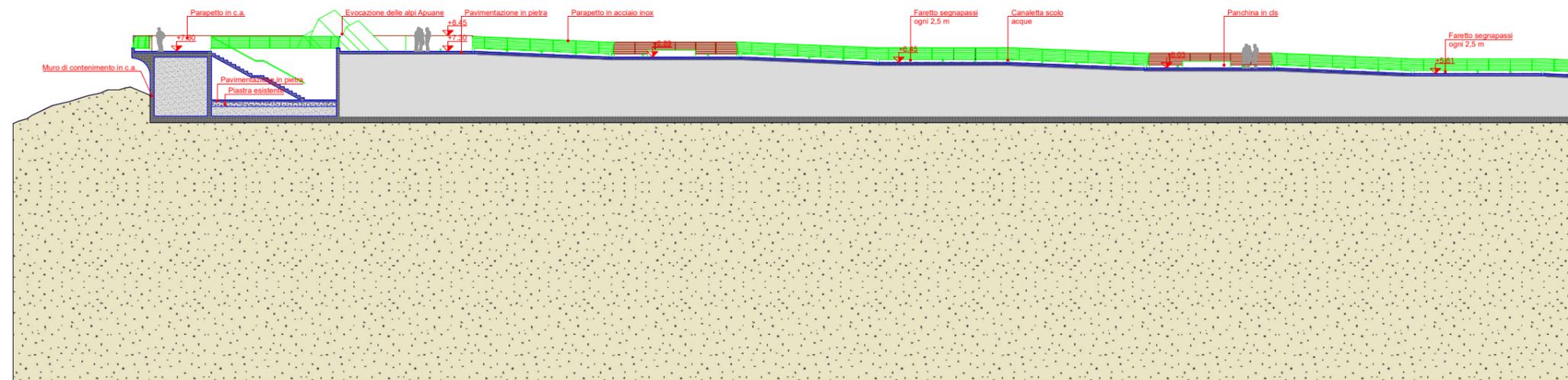
DEPOSITI ALLUVIONALI TERRAZZATI  
(Pleistocene - Olocene)

**Sezione B-B' (Scala 1:200)**

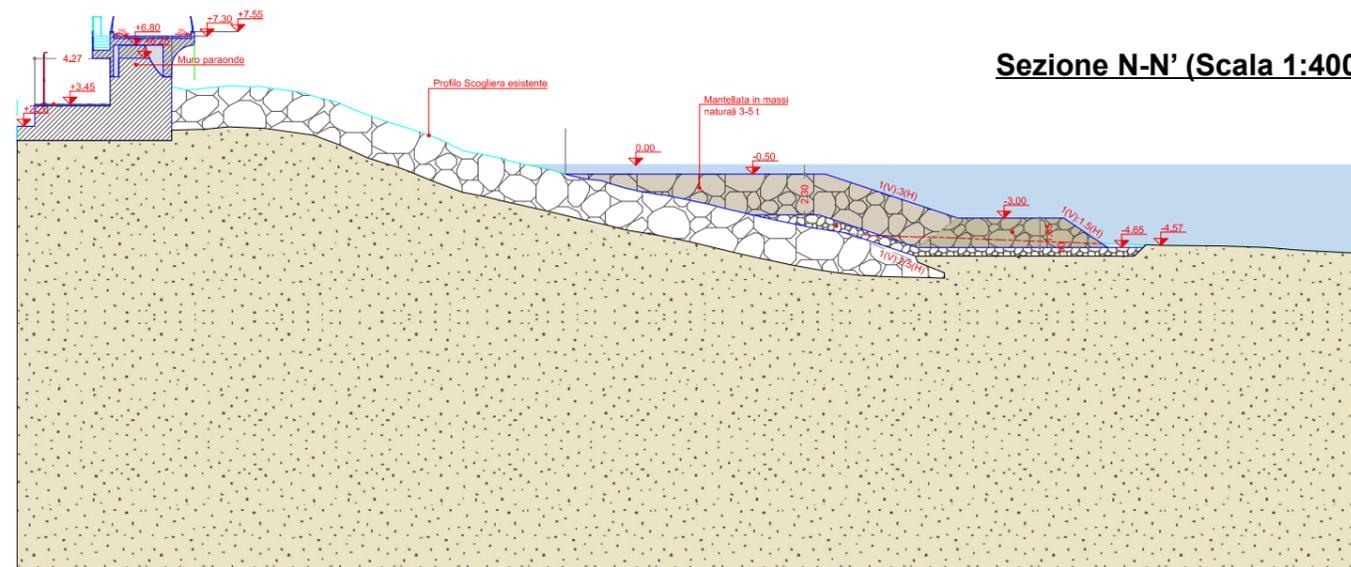


**SEZIONI STRATIGRAFICHE**

**Sezione L-L' (Scala 1:400)**



**Sezione N-N' (Scala 1:400)**

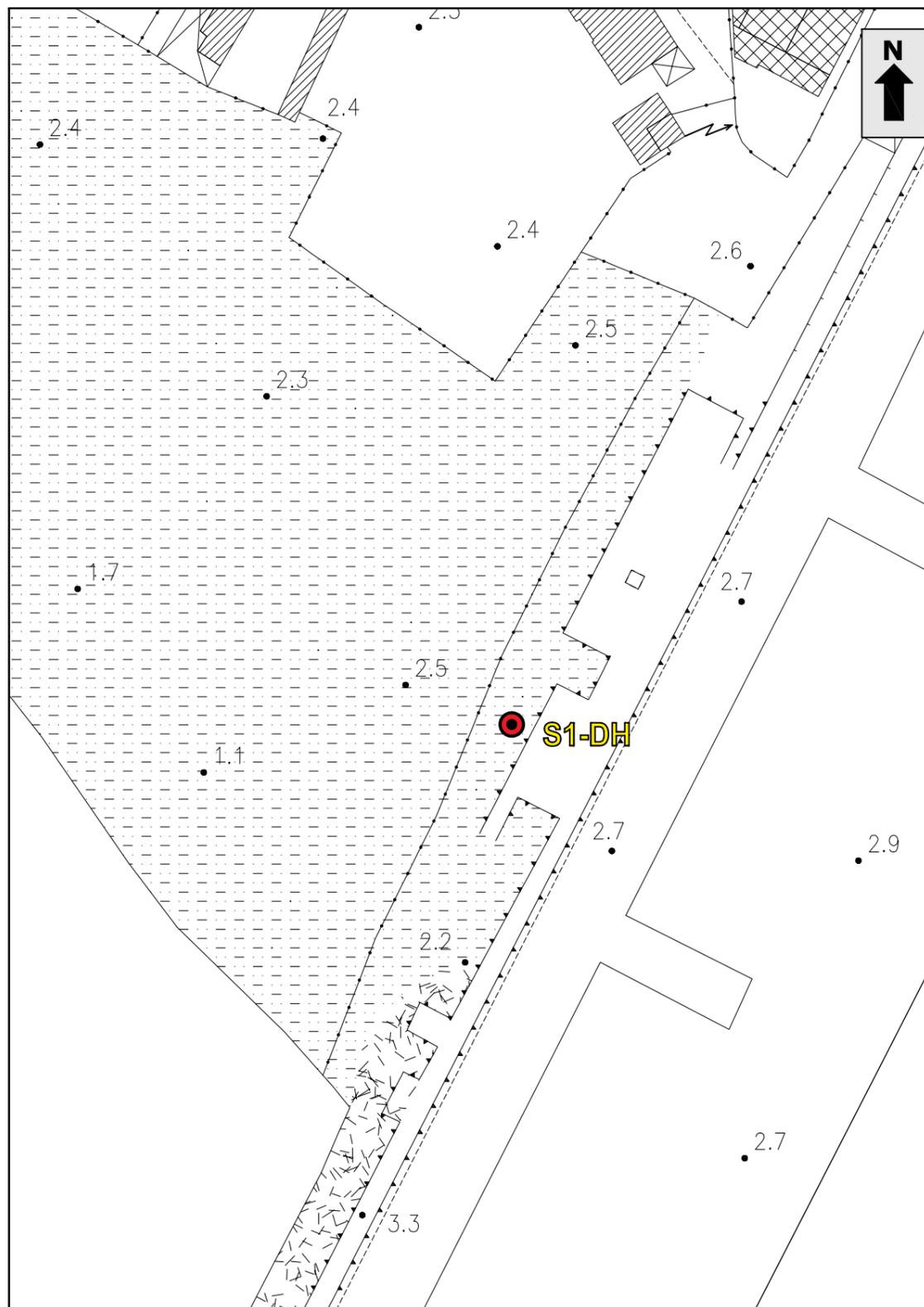


**LEGENDA**

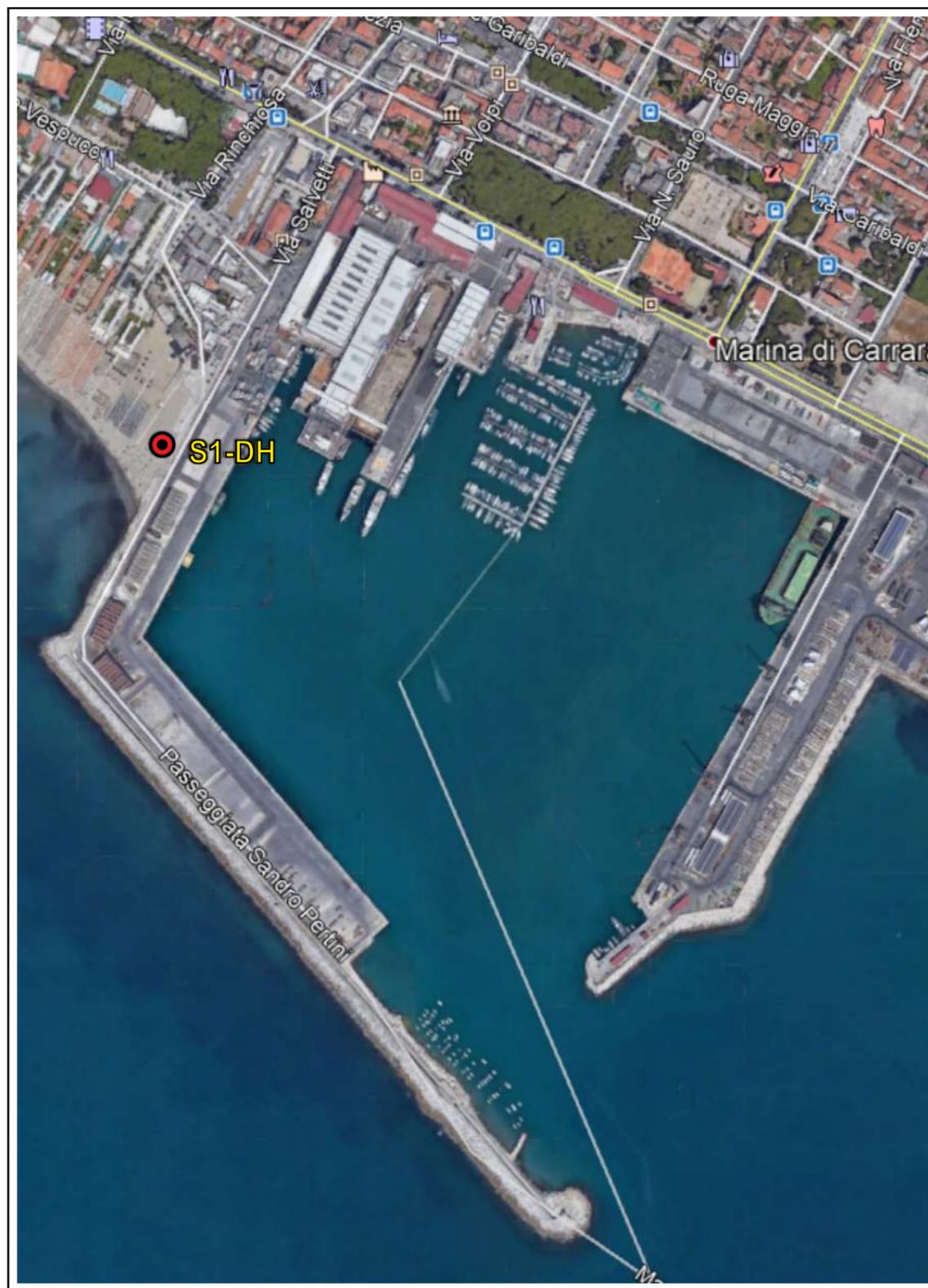
- DEPOSITI DI SPIAGGIA (*Olocene*)
- Sabbia medio fine
- debolmente limosa argillosa

**CARTA  
UBICAZIONE  
INDAGINI**

(C.T.R. Regione Toscana - Foglio n. 21C07 - Scala 1:1.000)



(Foto aerea Google Earth)



**LEGENDA**

- ⊙ Sondaggio geognostico a carotaggio continuo
- Sismica in foro down-hole

Coordinate geografiche (WGS84) sondaggio S1-DH:  
Latitudine: 44,034913 N  
Longitudine: 10,035861 E



EPC LIBRI

## VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(DA PROVE SISMICHE)

METODO DI ANDRUS E STOKOE (1997)

**FORMULE:**

$$V_{s1} = V_s \cdot \left( \frac{1}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

$$CRR = 0,03 \cdot \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{0,9}{(V_{s1c} - V_{s1})} - \frac{0,9}{V_{s1c}}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

**RISULTATI:**

	1° STRATO	2° STRATO
Spessore	3	12

$V_{s1}$	148,006	176,604
----------	---------	---------

CRR	0,076	0,116
-----	-------	-------

Mw = 6,14	CSR	0,053	0,069
-----------	-----	-------	-------

$r_d$	0,98	0,86
-------	------	------

1	< $F_s = CRR/CSR$	Mw = 6,14	$F_s (A. e S.)$	1,440	1,690
				Verificato	Verificato

1,25	< $F_s = CRR/CSR$	Mw = 6,14	$F_s (EC8)$	1,440	1,690
				Verificato	Verificato

RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et.al., 1978)	Molto Basso	
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et. al., 2001) [ $P_L$ (%)]	0,09	0,05
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et. al., 2001)	Liquef. incerta	Liquef. incerta

**Committente:** AUTORITÀ SISTEMA PORTUALE MAR LIGURE OR. PORTI L.S. E M.C.

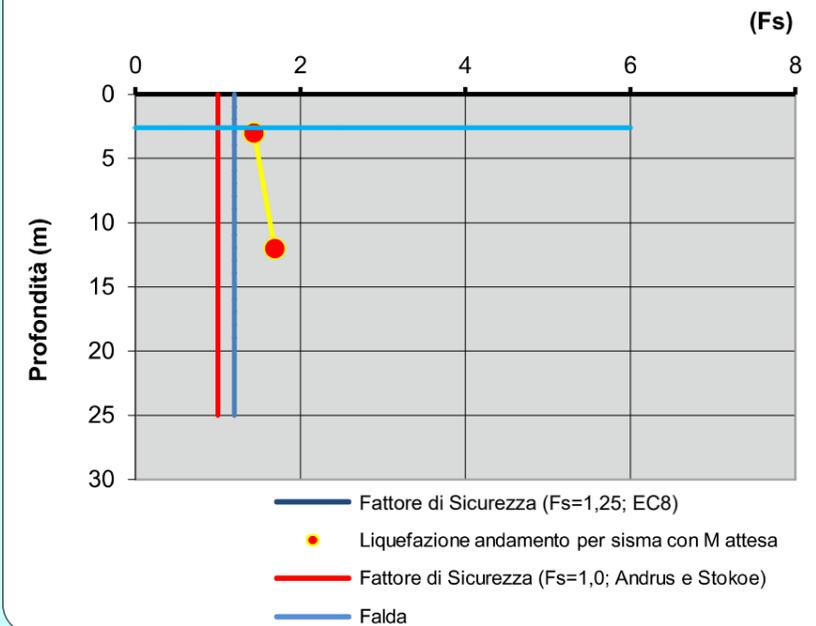
**Riferimento:** STUDIO GEOLOGICO

**Località:** MARINA DI GARRARA

**Prov.:** MS

**Oggetto:** AMBITO 4 PROGETTO DI INTERFACCIA PORTO CITTÀ

**TEORIA DI ANDRUS E STOKOE (1997)**



**CARICO LITOSTATICO**

