



**INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE E SVILUPPO DEL PORTO  
DELLA SPEZIA - AMBITO OMOGENEO 5 "MARINA DELLA SPEZIA"  
E AMBITO OMOGENEO 6 "PORTO MERCANTILE"  
PROGETTO PRELIMINARE**



DESCRIZIONE

N° TAV.

**GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA  
RELAZIONE**

PP/ST.03.01

SCALA

DATA

IL Direttore Tecnico Operativo  
Ing. Capo Franco Pomo  
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO GENNAIO 2015

ING. FRANCO POMO



GEOLOGIA, GEOTECNICA E SISMICA

ING. LORENZO MONTANI





## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>PIANIFICAZIONE TERRITORIALE.....</b>	<b>5</b>
3.1	REGIONE LIGURIA – PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PAESISTICO .....	5
3.2	PROVINCIA DELLA SPEZIA – PIANO DI BACINO – AMBITO 20.....	6
3.3	COMUNE DELLA SPEZIA – PIANO URBANISTICO COMUNALE.....	7
3.4	AMBITO 5.....	10
3.4.1	Passerella Pedonale Tahon de Revel - PERIZIA N.1 .....	10
3.4.1.1	INDAGINI IN SITU E RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA .....	11
3.4.1.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA.....	13
3.4.2	Nuovo Waterfront della Spezia – Nuovo Molo Crociere - PERIZIA N.2.....	14
3.4.2.1	MODELLO GEOLOGICO e GEOTECNICO .....	14
3.5	AMBITO 6.....	17
3.5.1	Realizzazione Ampliamento Molo Garibaldi - Ristrutturazione della parte di Ponente dello stesso Molo e della Calata Malaspina – PERIZIA N.3 .....	17
3.5.1.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	17
3.5.1.2	SINTESI DEL MODELLO GEOTECNICO .....	18
3.5.2	Realizzazione di Nuovo banchinamento della Marina Del Canaletto – PERIZIA N.4 .....	21
3.5.2.1	4.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	21
3.5.2.2	STRATIGRAFIA LOCALE .....	22
3.5.2.3	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO .....	22
3.5.2.4	CARATTERISTICHE TECNICHE DEI TERRENI INVESTIGATI.....	23
3.5.2.5	SISMICITÀ DELL'AREA D'INTERVENTO .....	28
3.5.2.6	ANALISI DEI DATI CROSS HOLE.....	30
3.5.2.7	CLASSIFICAZIONE SISMICA IN TERMINI DI Vs30 .....	31
3.5.2.8	CONCLUSIONI .....	33
3.5.3	Realizzazione di Nuovo banchinamento del Diffusore ENEL – PERIZIA N.5 .....	34
3.5.3.1	STRATIGRAFIA DELL'AREA DI PROGETTO.....	34
3.5.3.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	38
3.5.3.3	ANALISI SISMICA E PARAMETRI DI PROGETTO .....	39
3.5.3.4	CONCLUSIONI .....	40





## 1 PREMESSA

La seguente relazione consta nell'inquadramento degli Ambiti 5 e 6 del Piano Regolatore Portuale (P.R.P.), secondo i vincoli geologici / geotecnici / sismici opportunamente individuati secondo gli strumenti urbanistici e la normativa di settore attualmente in vigore.

Secondo la "Planimetria Generale Ambiti Tav.G.03" si identifica opportunamente l'Ambito 5 "Marina della Spezia" – che vede come funzione esistente la preminenza di attività urbane, turistiche e commerciali e l'Ambito 6 "Porto Mercantile" caratterizzato da funzioni commerciali e diportistiche.

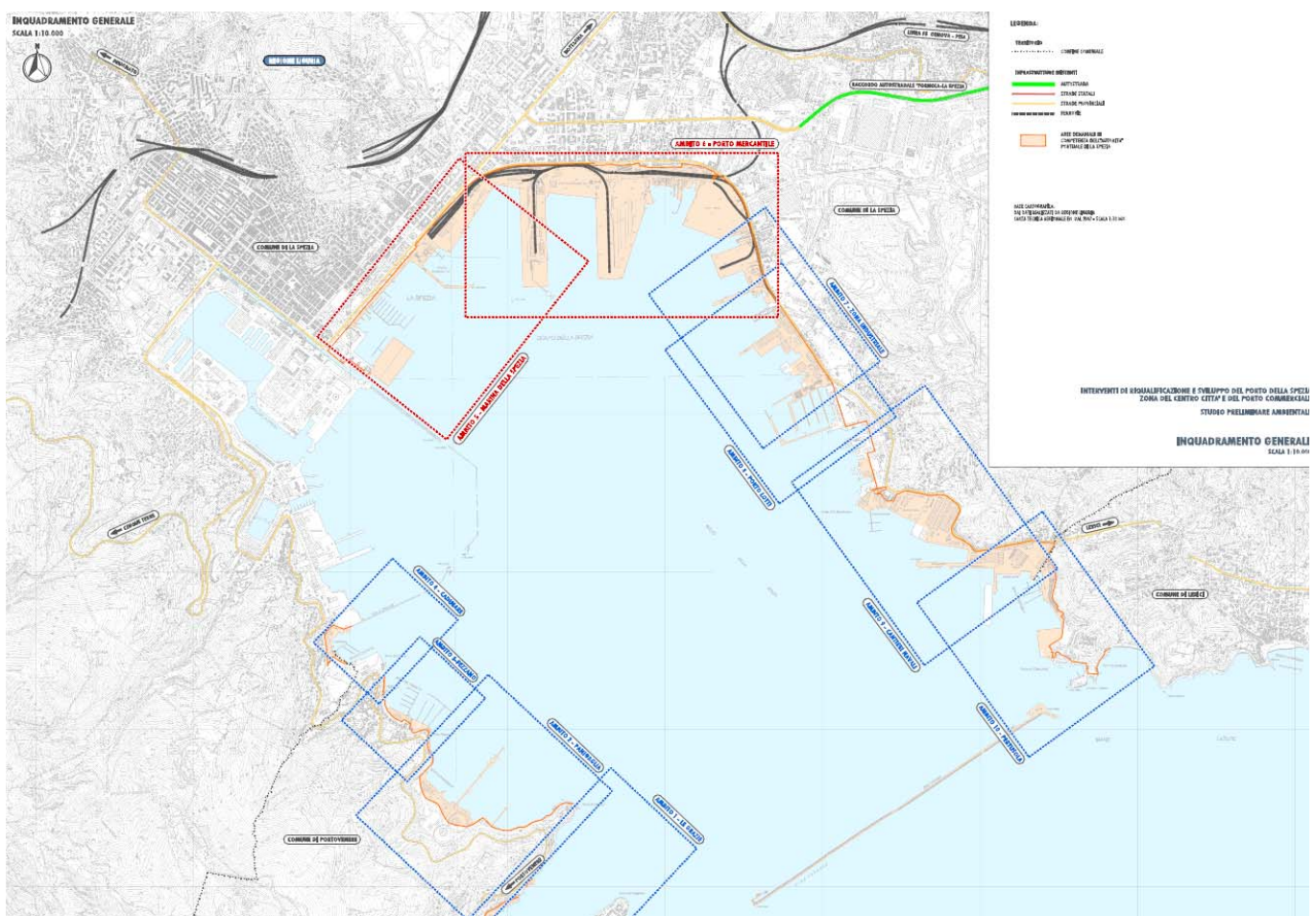


Figura 1.1 – da Tav.G.03 Ambiti P.R.P.

L'Ambito 5 prevede il recupero prevalentemente urbano delle aree aventi funzioni portuali. Trattandosi di un tema pianificatorio a scala prevalentemente urbano-paesistica, la progettazione di riqualificazione del fronte urbano (molo Italia, calata Paita e passeggiata Morin) "waterfront" è stata demandata a un concorso internazionale di idee in modo da affrontare in modo adeguato le problematiche urbanistiche ed architettoniche che un siffatto progetto comporta.

L'assetto urbanistico definitivo di tale ambito consegue dall'esito del progetto di water-front.



Le regole di trasformazione sono individuate dalla disciplina di dettaglio di *masterplan*, approvata dal Comitato portuale con Delibera n.18 nelle sedute del 30.07.2010 e del 03.08.2010.



Figura 1.2 – Ambiti 5 e 6 da P.R.P.

Per quanto concerne invece, l'Ambito 6, il P.R.P. consente ampliamenti funzionali di banchina proporzionali all'incremento atteso dei traffici. Razionalizza gli spazi a servizio delle funzioni commerciali prevedendo l'acquisizione di aree artigianali quali la marina del Canaletto e la marina di Fossamastra con trasferimento delle attività in aree esterne all'ambito portuale e consente, in accordo con le Amministrazioni Locali, eventuali ampliamenti aggiuntivi in caso di conversione ad uso urbano di aree portuali a confine con la città (Calata Paita e fascia di rispetto).

Con riferimento alla esigenza di garantire la necessaria flessibilità nell'attuazione del Piano, con ampliamenti per circa 140.000 mq di nuovi piazzali relativi al terzo bacino portuale, si ritiene ammissibile una flessibilità nella configurazione dei riempimenti esistenti. Per quanto attiene lo sviluppo progettuale, i parametri edilizi e le modalità attuative si rimanda a quanto previsto all'Art.11.3.1 “funzione commerciale” del P.R.P..



---

## 2 METODOLOGIA

---

La parte preliminare del documento si sviluppa con un'analisi sintetica di piano a cui si farà espressamente riferimento, partendo da un livello su "scala" regionale fino ad un dettaglio su "scala" comunale.

Successivamente verranno opportunamente trattati i contributi specialistici resesi necessari per l'espletamento e il relativo ottenimento dei titoli autorizzativi inerenti alla realizzazione di opere di grande e piccola infrastrutturazione negli ambiti suindicati. Le opere in oggetto riguardano interventi ricadenti nella tipologia di banchinamenti, che risultano realizzati o in fase di progettazione.



### 3 PIANIFICAZIONE TERRITORIALE

#### 3.1 REGIONE LIGURIA – PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PAESISTICO

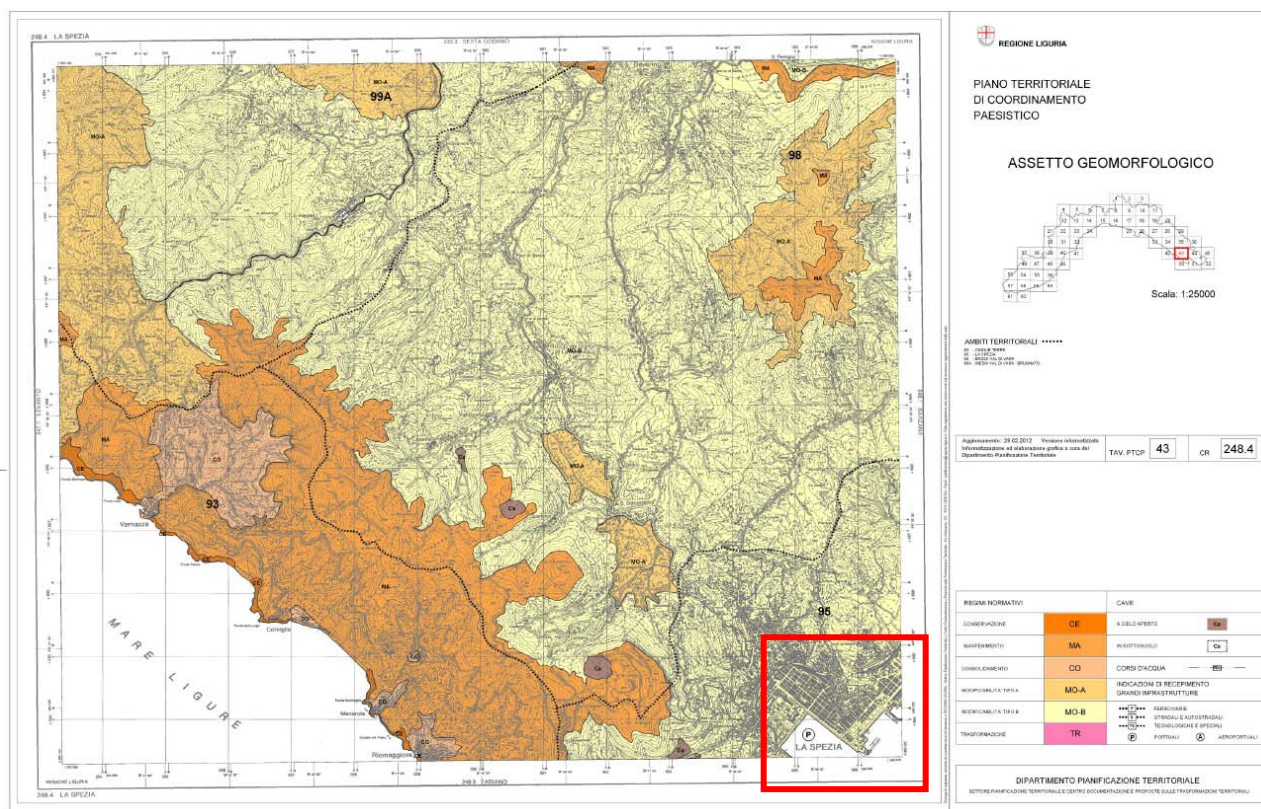


Figura 3.1 – Inquadramento P.T.C.P. – Tav. 43

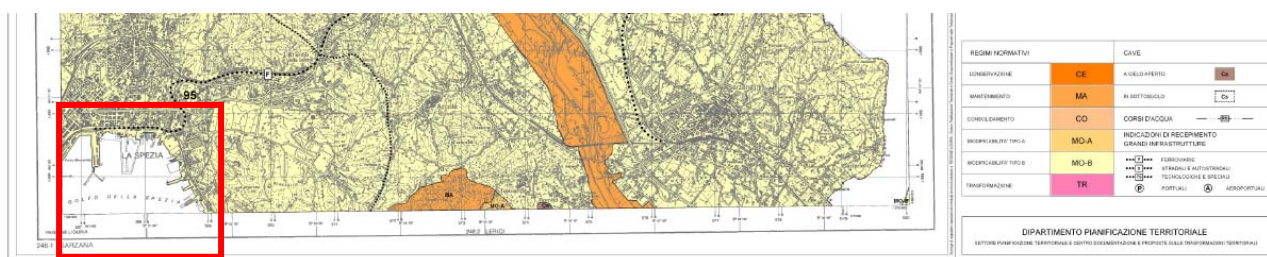


Figura 3.2 – Inquadramento P.T.C.P. – Tav. 44

Gli Ambiti 5 e 6, ricadono all'interno del PTCP - Aspetto Geomorfologico<sup>1</sup>, nella modificabilità di **tipo B** ovvero come recita l'**Art.17** della norma di piano, l'**indirizzo generale di MODIFICABILITÀ** viene applicato alle situazioni in cui l'ambiente, in assenza di valori emergenti, presenta una modesta vulnerabilità sotto il profilo geomorfologico, talché non si manifesta l'esigenza di specifiche azioni di tutela dell'attuale configurazione, ferme restando le normali cautele relative alla corretta gestione del territorio.

<sup>1</sup> Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico - Norme di Attuazione D.C.R. n°6 del 26 Febbraio 1990 e s.m.i.

Pertanto l'obiettivo generale è quello di rendere possibili quegli interventi che, seppure motivati da esigenze diverse da quelle proprie del Piano, siano comunque occasione per dar luogo ad un assetto più soddisfacente sotto il profilo ambientale. La pianificazione dovrà pertanto assumere prevalentemente il compito di garantire l'osservanza delle normali cautele preordinate a tutelare la qualità dell'ambiente. L'**Art.67 Regime normativo di MODIFICABILITA' di tipo B (MO-B)** prevede che tale regime venga applicato a tutte le parti del territorio non assoggettate ai regimi normativi di cui ai restanti articoli della sezione in oggetto e che gli interventi in tali zone, oltre a rispettare la specifica disciplina di settore, dovranno conformarsi a criteri di corretto inserimento ambientale delle opere.

### 3.2 PROVINCIA DELLA SPEZIA – PIANO DI BACINO – AMBITO 20

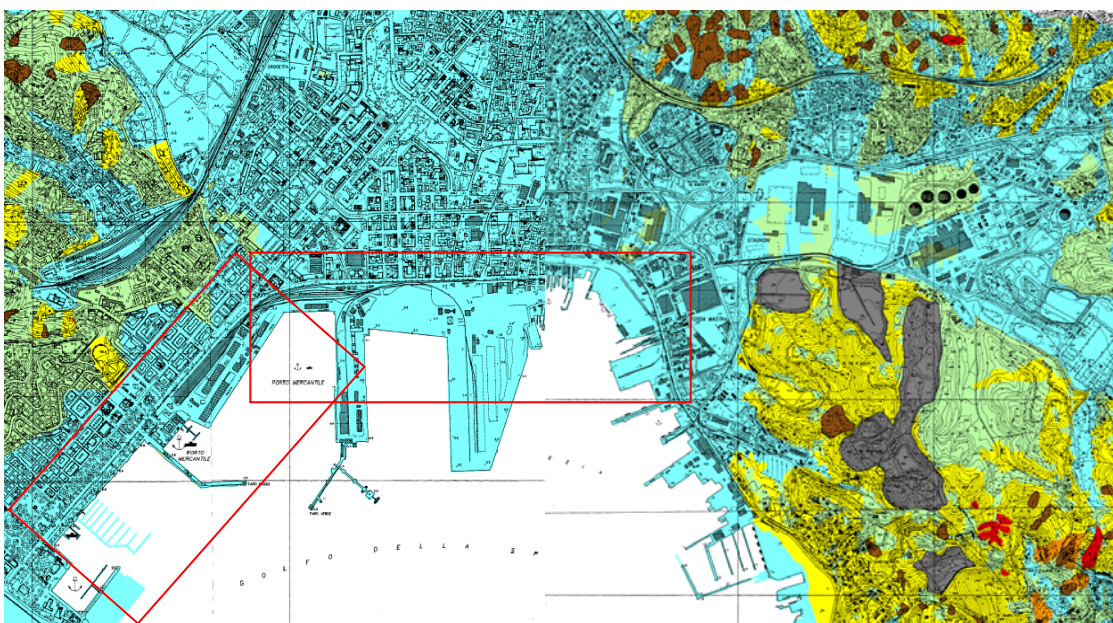


Figura 3.3 – Piano di Bacino Ambito 20 Golfo della Spezia –

Tav.10 Carta della Suscettività al dissesto dei Versanti

Gli Ambiti d'intervento sono identificati come **Aree SDV<sup>2</sup>** ovvero aree a diversa suscettività al dissesto di versante in classe **P0**.

Ovvero aree in cui, i processi geomorfologici e le caratteristiche fisiche dei terreni non costituiscono, se non occasionalmente, fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.

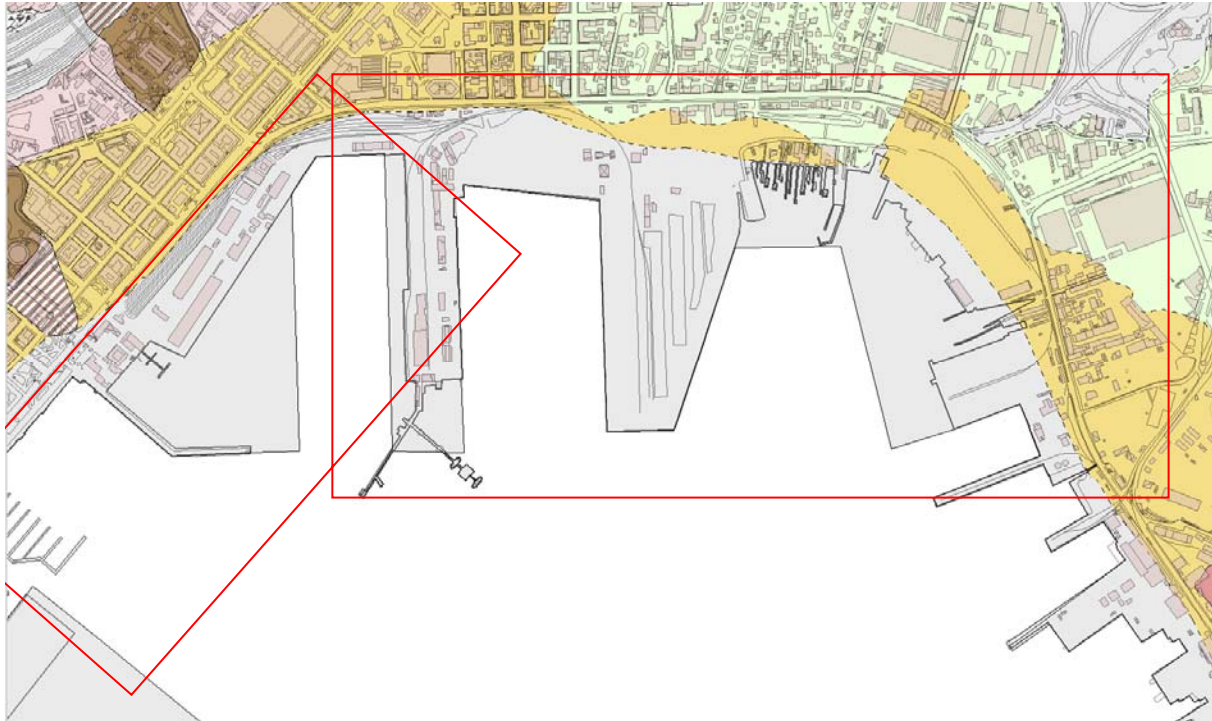
Sono altresì individuate, ai fini della valutazione della priorità degli interventi di mitigazione del rischio e delle attività di protezione civile, le aree soggette a rischio idrogeologico di diverso livello in relazione agli elementi presenti nelle stesse e articolato secondo le classi di rischio recepite dalla raccomandazione del Comitato tecnico Regionale-Sezione per le funzioni dell'Autorità di Bacino n.8/2000. Tale sezione è rimandata all'elaborato Relazione Idraulica degli Ambiti n.5 e n.6.

2 Norme Tecniche di Attuazione – Titolo II Disciplina dell'Assetto Idrogeologico del Territorio - Art.12 Piano di Bacino approvato con Delibera di Consiglio Provinciale n° 34 del 31.03.2003.





### 3.3 COMUNE DELLA SPEZIA – PIANO URBANISTICO COMUNALE



DEPOSITI ANTROPICI			
	RP	Materiale di riporto (RP)	
	AD	Area di discarica (AD)	
		Area di stoccaggio del carbone e delle ceneri ENEL ©	
	RV	Ravaneti di cava (RV)	
COPERTURE DETRITICHE			
SPESORE			TESSITURA
1,50-3,00	3,00-5,00	>5,00	
			Da massi a sabbie
			Da ciottoli ad argille
			Da sabbie a limi
DEPOSITI QUATERNARI			
	DF	Depositi di origine prevalentemente fluviale: depositi a granulometria variabile da ghiaia ad argilla (DF) - Quaternario	
	DL	Depositi di origine prevalentemente lacustre: depositi prevalentemente limo-sabbioso argillosi con frequenti livelli torbosi. Presenti resti fossili e vegetali (DL) - Quaternario	
	DM	Depositi di origine prevalentemente marina: depositi prevalentemente sabbiosi con frazioni argillose e limose subordinate e scarsi ciottoli subarrotondati. Presenti resti fossili e vegetali (DM) - Quaternario	
		Conoidi fluviali	

Figura 3.4 – PUC – Geologica - Cartografia S.I.T.



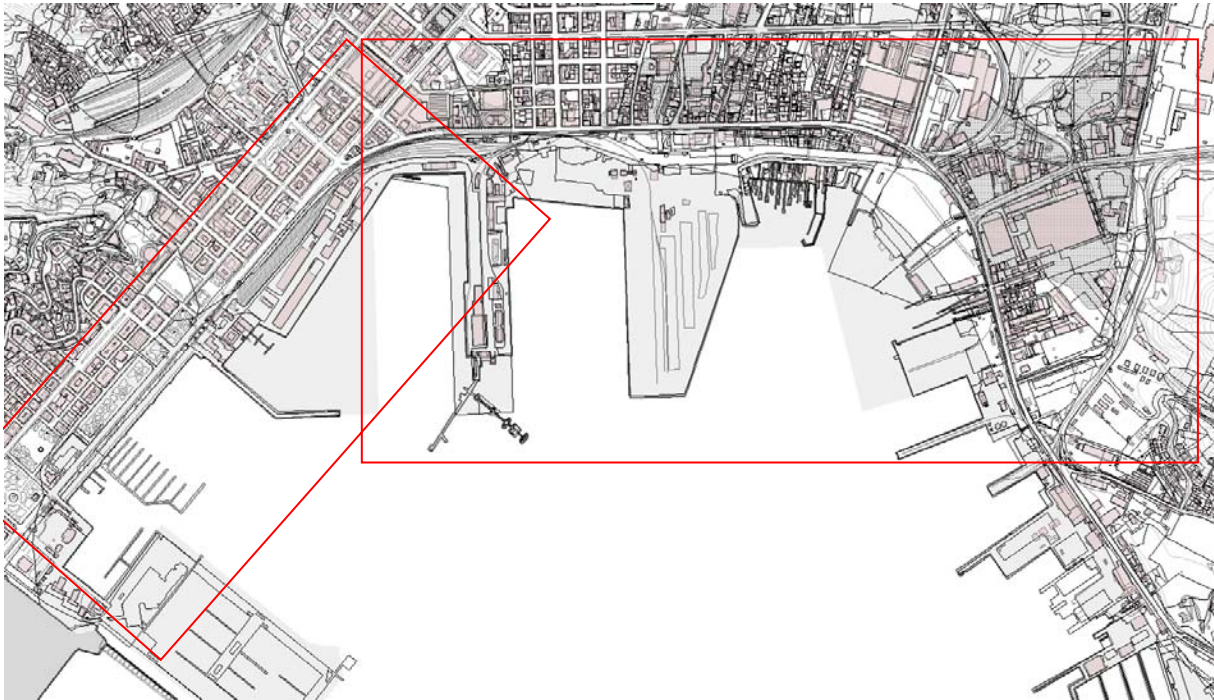
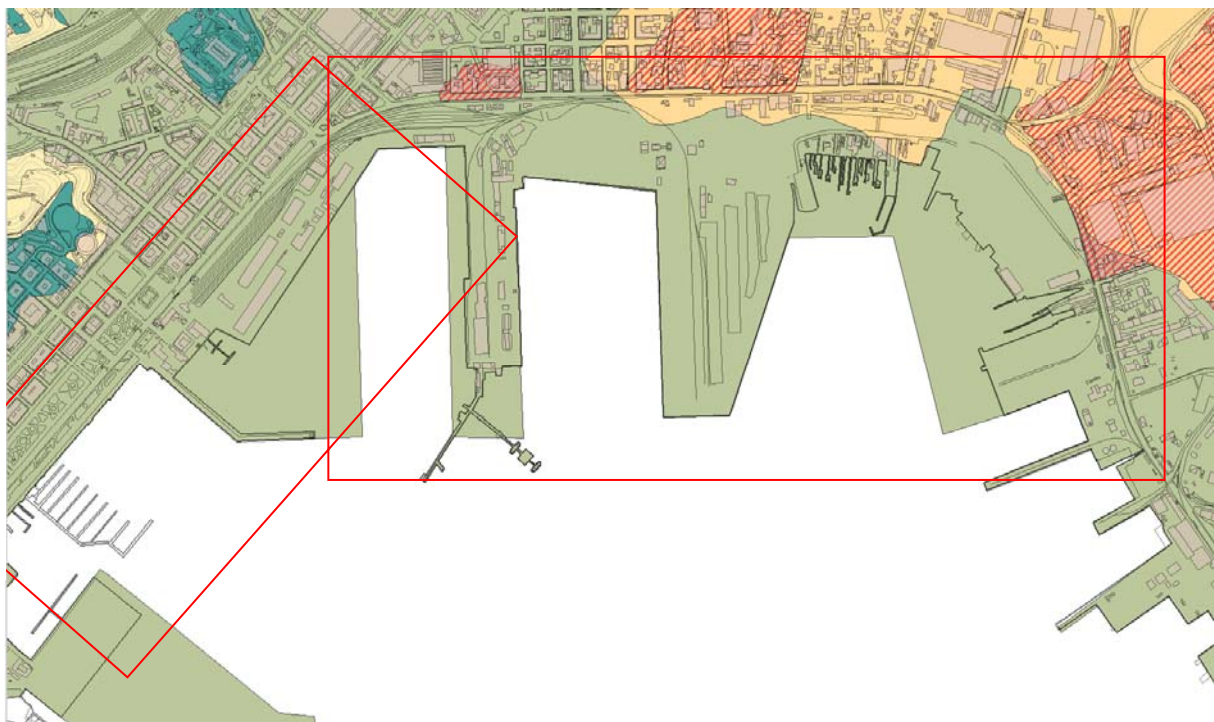


Figura 3.5 – PUC – Geomorfologica - cartografia S.I.T.



Suscettibilità		
Suscettibilità		
	SUSCETTIBILITÀ D'USO: ampia - PERICOLOSITÀ: bassa - CLASSE: A	
	SUSCETTIBILITÀ D'USO: condizionata - PERICOLOSITÀ: media - CLASSE: C1 CARATTERISTICHE: A3	
	SUSCETTIBILITÀ D'USO: condizionata - PERICOLOSITÀ: media - CLASSE: C3	
	SUSCETTIBILITÀ D'USO: condizionata - PERICOLOSITÀ: media - CLASSE: C0	SUSCETTIBILITÀ D'USO: condizionata - PERICOLOSITÀ: media - CLASSE: C1
	SUSCETTIBILITÀ D'USO: condizionata - PERICOLOSITÀ: media - CLASSE: C2	SUSCETTIBILITÀ D'USO: condizionata - PERICOLOSITÀ: media - CLASSE: C2 CARATTERISTICHE: A3
	SUSCETTIBILITÀ D'USO: limitata - PERICOLOSITÀ: alta - CLASSE: L	Carbonile

Figura 3.6 – PUC – Suscettibilità - cartografia S.I.T.



Passando ora ad un livello di inquadramento su scala comunale, è stata condotta una verifica sugli ambiti in oggetto, da cui si desume la classificazione **C1** in termini di suscettibilità d'uso. Per tale classificazione le norme di attuazione prevedono una pericolosità geomorfologica medio – bassa per opere mediamente o notevolmente incidenti sull'attuale assetto, che può essere superata con interventi di medio – bassa difficoltà ed onerosità. Le opere ed i suddetti interventi non dovranno, comunque, in alcun modo incidere negativamente sulle aree limitrofe, né condizionarne la propensione all'edificabilità.

Dal punto di vista geologico e geomorfologico, gli Ambiti 5 e 6 rientrano nella perimetrazione con indice Mr – (Materiale da Riporto). Il dettaglio sulle caratteristiche geologiche e geomorfologiche vengono debitamente valutate all'interno delle Perizie trattate nel presente documento.





### 3.4 AMBITO 5

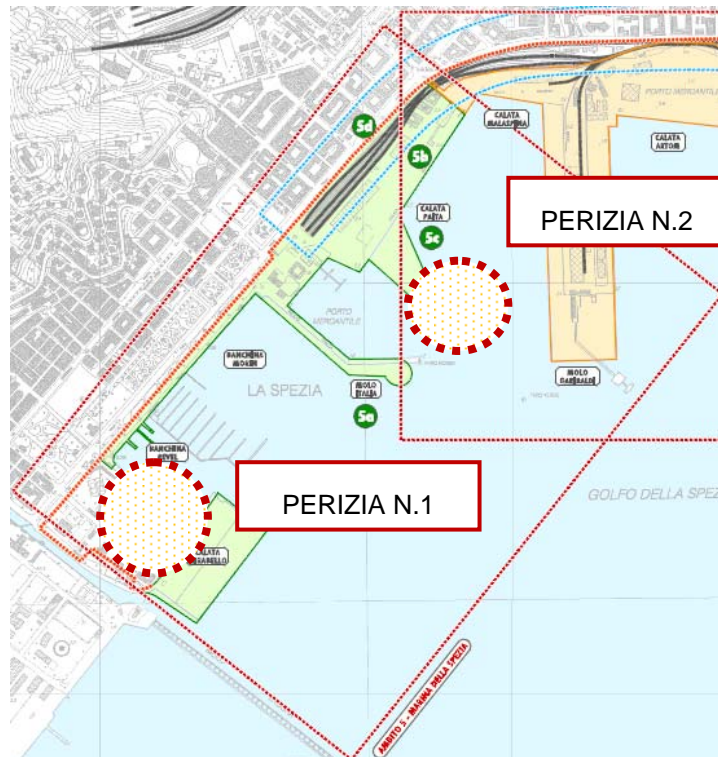


Figura 3.4.1 – Ambito 5 - inquadramento

#### 3.4.1 Passerella Pedonale Tahon de Revel<sup>3</sup> - PERIZIA N.1

La prima perizia verte sulle indagini geognostiche a mare finalizzate alla realizzazione di passerella pedonale di collegamento.

Durante la campagna d'indagine sono stati effettuati n.2 sondaggi a carotaggio continuo S1 e S2 alla profondità di 30,00 e 35,00 m dal fondale marino, in foro sono state quindi eseguite prove SPT e si è proceduto al prelievo di campioni indisturbati per le successive analisi di laboratorio geotecnica. In prossimità del sondaggio S1 sono stati inoltre eseguiti n.2 sondaggi a distruzione di nucleo per l'esecuzione di una prova sismica cross-hole alla profondità di 30 m dal fondo marino.

Nel sito in oggetto si ha la presenza di depositi quaternari, verso monte si hanno affioramenti di litologie appartenenti all'Unità del M. Gottero.

La carta geologica riporta le litologie presenti nell'areale di studio, in particolare si ha:

- L'area dei moli, dove sono previste le spalle della passerella è costituita da "Materiali di riporto";
- L'area retrostante è formata da "Depositi di origine prevalentemente marina" depositi del quaternario: sabbie argillose e limose con scarsi ciottoli subarrotondati e livelli con resti fossili. Tali sedimenti sono presenti in una vasta area del centro urbano di La Spezia e in particolare nell'area pianeggiante compresa tra l'arsenale militare e la passeggiata Morin;

<sup>3</sup> Relazione Geologica e Geotecnica redatta dalla Ecoproject Srl Dr. Geol. R. Capaccioli & dal Dipartimento di Ingegneria Civile Università di Pisa Prof. Ing. D. Lo Presti.



- Più a monte, nella fascia collinare incontriamo litologie appartenenti all'Unità del Monte Gottero, costituite da alternanze di litotipi arenacei con siltiti, argilliti, argilloscisti e livelli calcarei e marnoso-siltosi.

L'area a mare oggetto delle presenti indagini, in particolare, è caratterizzata dalla presenza di argille limose di ambiente marino chiuso per uno spessore tra 4,00 e 7,00 m, che sovrastano i depositi sabbiosi marini presenti in tutta l'area circostante.

Dal punto di vista geomorfologico l'area in esame è stata fortemente antropizzata e soggetta a interventi di urbanizzazione che ne hanno modificato le caratteristiche geomorfologiche originarie.

Nel sito di studio non sono stati riscontrati segnali di dissesto o evidenze che possano far pensare a situazioni di pericolosità per l'intervento da realizzare.

#### 3.4.1.1 INDAGINI IN SITU E RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA

La campagna geognostica ha previsto l'esecuzione di 2 sondaggi a carotaggio continuo, denominati S1 e S2, ubicati in prossimità delle aree di sedime delle fondazioni. Questi hanno raggiunto rispettivamente la profondità di 35,00 m e 30,00 m di profondità dal fondale. All'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite n.5 prove SPT ciascuno e sono stati prelevati n.6 campioni indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio per la determinazione dei parametri geotecnici.

Per la perforazione è stata utilizzata una sonda a rotazione CMV MK 600 F.

In prossimità del sondaggio S1 sono stati inoltre eseguiti due sondaggi a distruzione di nucleo fino alla profondità di 30,00 m dal fondale marino per l'esecuzione di una prova sismica Cross-Hole e la successiva determinazione dei parametri sismici e del  $V_{s30}$ .

Vengono riportate le stratigrafie relative ai sondaggi S1 e S2. Si possono individuare le seguenti litologie:

- Limo argilloso grigio scuro;
- Argilla limosa marrone chiaro con coralli e conchiglie;
- Argilla sabbiosa con clasti subarrotondati e resti coralliferi e conchiglie;
- Sabbia limosa grigio-beige con frammenti di conchiglie;
- Sabbia limoso-argillosa di colore da grigio passante a marrone chiaro;
- Argilla compatta di colore grigio con livelli sabbiosi.

Mediante i dati ottenuti dalle prove SPT è stato possibile ottenere, mediante le correlazioni di Skempton (Densità Relativa), di Schmertmann e Road Bridge Specifications (angolo di attrito efficace), i parametri geotecnici dei terreni attraversati (considerando sabbie fini e limose).





S1													
Prof. (m)	strato	tipo	n.colpi			Nspt (n2+n3)	$\gamma$ (kN/mc)*	$\sigma'v0$ (kPa)	Cn	(N1)60	Dr(%)**	$\phi'$ (°)***	$\phi'$ (°)****
7,5	2	pc	17	12	12	24	20	75	1,143	27	68	37,5	35,3
13,2	4	pa	11	14	13	27	20	132	0,862	23	62	36,7	33,7
18,85	5	pc	2	13	23	36	20	189	0,721	26	66	37,2	34,7
25	5	pc	10	16	21	37	20	250	0,626	23	62	36,7	33,6
31,5	6	pc	18	30	40	70	20	315	0,558	39	81	39,3	39,2

S2													
Prof. (m)	strato	tipo	n.colpi			Nspt (n2+n3)	$\gamma$ (kN/mc)*	$\sigma'v0$ (kPa)	Cn	(N1)60	Dr(%)**	$\phi'$ (°)***	$\phi'$ (°)****
6	2	pc	4	5	9	14	17	42	1,528	21	60	36,4	32,9
8,5	3	pa	13	18	21	39	20	85	1,074	42	84	39,7	40,1
13	4	pa	9	8	9	17	20	130	0,868	15	50	34,9	29,9
21	5	pa	15	13	13	26	20	210	0,683	18	54	35,6	31,3
30	6	pc	20	25	34	59	20	300	0,572	34	75	38,5	37,5

\* da lab. Geotecnico; \*\*metodo di Skempton (1986); \*\*\* metodo di Schmertmann (1978); \*\*\*\* metodo RBS

Figura 3.4.2 – Parametri geotecnici

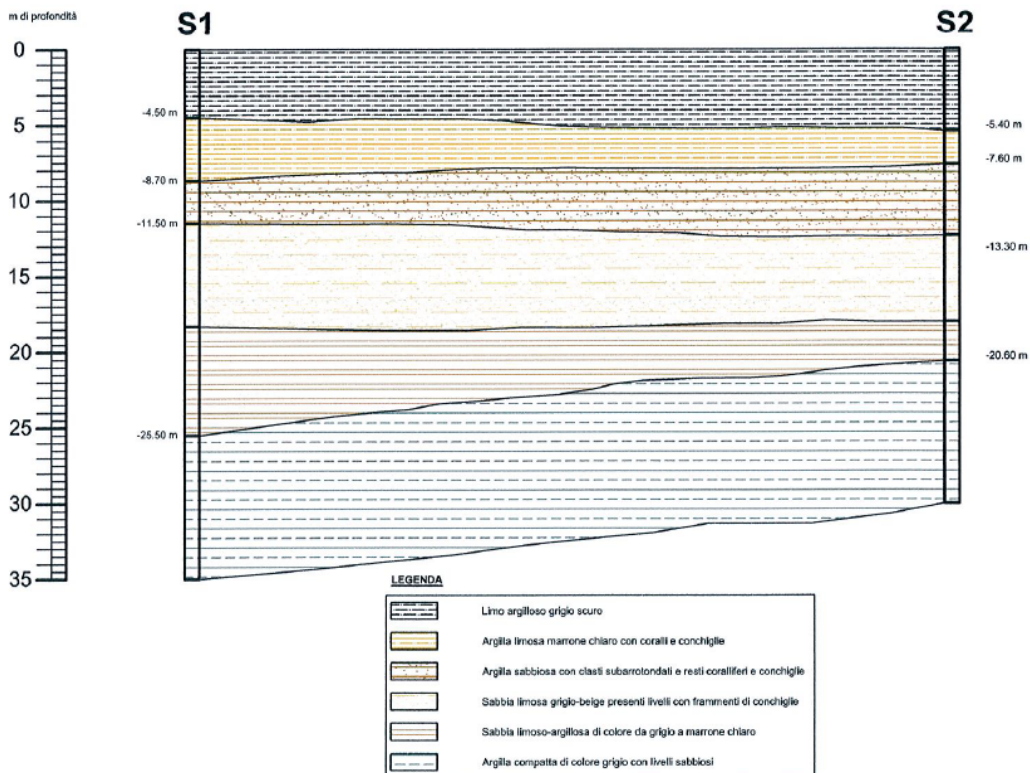


Figura 3.4.3 – Sezione litostratigrafica interpretativa



### 3.4.1.2 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

L'area di studio ricade, ai sensi della normativa sismica vigente e in particolare secondo le indicazioni dell'O.P.C.M. 3519 del 28.04.2006 e s.m.i., in zona sismica **3**, sottozona **3A**, nella quale si ha:

L'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 la stima della pericolosità sismica non viene più definita mediante una modalità "zona dipendente" ma con un criterio "sito dipendente".

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla pericolosità sismica.

*Accelerazione con probabilità  
superamento pari al 10% in 50  
anni*  
[ag]

$$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$$

*Accelerazione orizzontale o massima  
convenzionale di ancoraggio dello spettro di  
risposta elastico*  
[ag]

$$0,15 \text{ g}$$

Per l'opera in progetto vengono scelti i seguenti parametri sismici:

PARAMETRI SISMICI	
Classe dell'edificio	II
Vita Nominale	50 anni
Categoria sottosuolo	D
Categoria Topografica	T1

Si ottiene l'accelerazione orizzontale massima attesa nel sito per i vari stati limite:

ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA	
STATO LIMITE	ag (g)
Operatività (SLO)	0,040
Danno (SLD)	0,050
Salvaguardia della vita (SLV)	0,122
Prevenzione collasso (SLC)	0,158

Poiché il rispetto dei vari stati limite considerato dalle NTC nei confronti di tutti gli stati limite ultimi (SLU) si ha quando siano soddisfatte le verifiche relative al solo SLV, è rispetto a questo che viene ricavata la valutazione dell'accelerazione massima attesa al sito ed i coefficienti sismici orizzontale e verticale:

COEFFICIENTI SISMICI (SLV)	
kh	0,053
kv	0,026
a max(m/s <sup>2</sup> )	2,161
β	0,24



### 3.4.2 Nuovo Waterfront della Spezia – Nuovo Molo Crociere<sup>4</sup> - PERIZIA N.2

Per quanto concerne l'intervento in oggetto viene illustrato la sintesi del modello geologico per la progettazione definitiva ed esecutiva delle opere relative alla costruzione del Nuovo Molo Crociere nel Porto di La Spezia.

#### 3.4.2.1 *MODELLO GEOLOGICO e GEOTECNICO*

L'insieme delle indagini ha consentito di definire il modello geologico – geotecnico semplificato riportato nel seguito. La nomenclatura adottata fa riferimento alla classificazione USCS (ASTM D2488-84) per quel che riguarda le indagini di laboratorio. Le prove CPTU sono state interpretate tramite il software "CPeT-IT" (GeoLogismiki 2011) utilizzando il sistema di classificazione SBT (Soil Behaviour Type) secondo Robertson et al. 1986 e Robertson (1990).

1) Orizzonte A costituito da argille e argille limose poco consistenti e con presenza non continua di sostanze organiche. Questo orizzonte si estende dal fondale (-14 m circa s.l.m.m) sino alla profondità massima di 5 m circa. In prossimità della costa questo orizzonte tende ad assottigliarsi notevolmente sin quasi a sparire. Nel modello di progetto si assume che l'orizzonte A abbia uno spessore costante di 5 m. All'interno di questo orizzonte si assume che i primi 2.5 m siano interessati dalla presenza di sostanze organiche mentre la parte sottostante ne sia priva. Le ipotesi assunte nella definizione del modello di calcolo sono a favore di sicurezza seppure rimangono ragionevoli;

2) Orizzonte B costituito da un'alternanza di sabbie grossolane e sabbie limose da dense (a terra) a sciolte (a mare). Questo orizzonte si estende al disotto del precedente orizzonte A ed è possibile assumere uno spessore medio di 5 m. In prossimità della costa questo orizzonte ha potenza maggiore a scapito del sovrastante Orizzonte A che tuttavia si è ipotizzato di spessore costante e che ha caratteristiche meccaniche più scadenti;

3) Orizzonte C costituito da argille limose e limi sabbiosi. E' possibile assumere uno spessore medio di circa 4 m. Anche all'interno dell'Orizzonte C è possibile rinvenire, soprattutto al largo, sacche di argille organiche. Questa tipologia di terreno non si riscontra nei campioni prelevati ma è individuabile dalle prove CPTU. Si è assunto nel modello di calcolo che questo strato rappresenta la metà superiore dell'Orizzonte C;

4) Orizzonte D costituito da argille consistenti, si estende dalla base dell'Orizzonte C con uno spessore pari mediamente a 6 m circa. In questo orizzonte è possibile rinvenire isolate sacche di ghiaia che ovviamente non hanno caratteristiche di continuità;

5) Orizzonte E rappresenta la fascia alterata del substrato di spessore variabile. E' possibile assumere uno spessore medio di 4 m;

6) Orizzonte F costituito dal substrato arenaceo/siltitico intatto che si estende al disotto del sovrastante Orizzonte E da una quota media di -38 m s.l.m.m;

La figura, di seguito riportata, riassume la sezione stratigrafica interpretativa del modello geologico semplificato sopra indicato.

---

<sup>4</sup> Consulenza tecnico-specialistica redatta da Prof. Ing. D. Lo Presti & Ing. Nunziante Squeglia

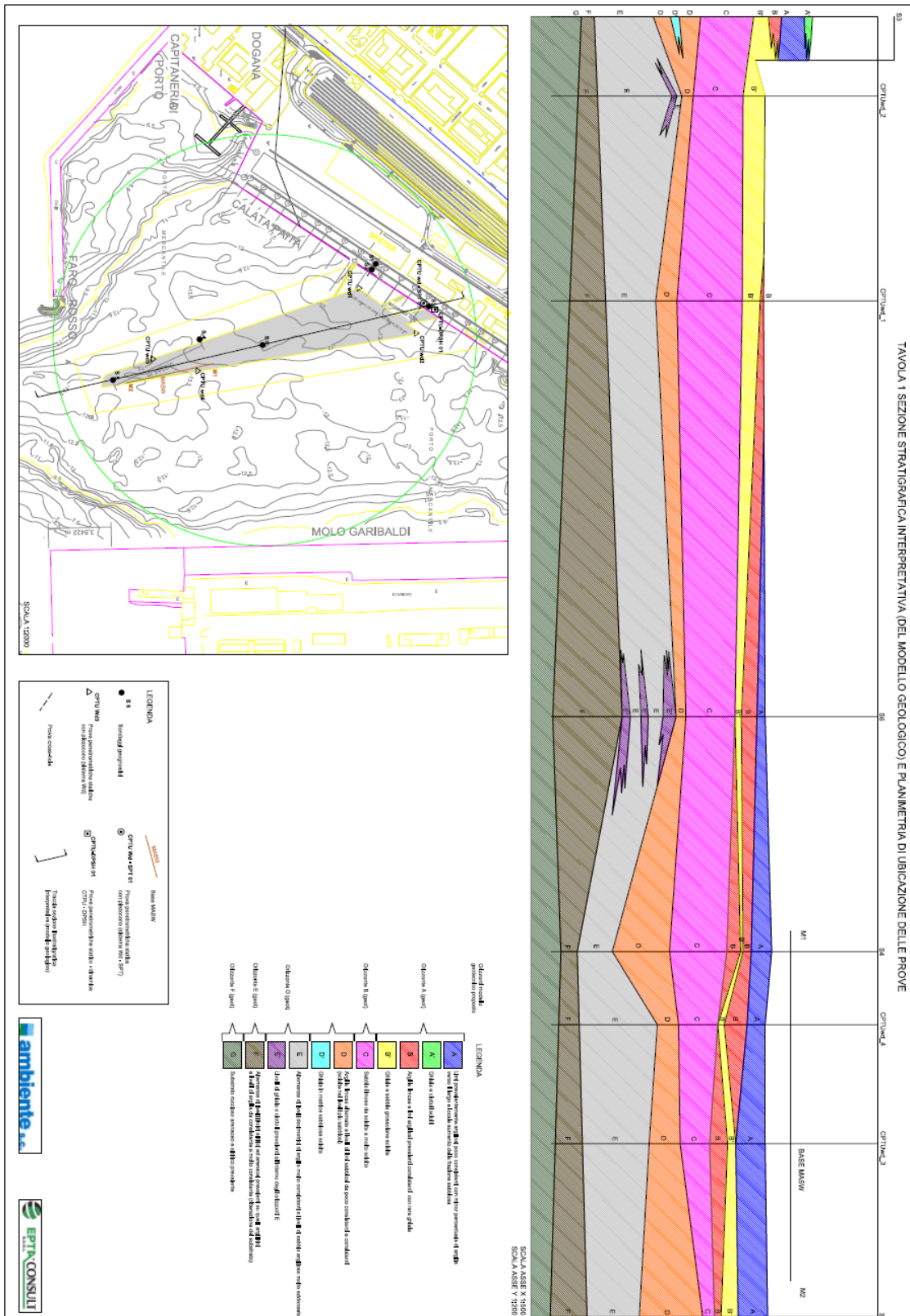


Figura 3.4.4 – Stratigrafia





La Tabella 1 riassume la caratterizzazione geotecnica del modello geologico semplificato sopra indicato per quanto attiene ai parametri di resistenza.

La resistenza al taglio non drenata è stata ricavata dai risultati delle prove CPTU. Il peso di volume naturale e l'angolo di resistenza al taglio degli orizzonti a grana grossa sono stati ricavati dalle prove CPTU. I parametri di resistenza ed il peso di volume naturale degli orizzonti A e C sono stati ricavati dalle prove triassiali considerando un unico inviluppo e forzando il passaggio della retta interpolatrice per l'origine (coesione nulla). Per l'orizzonte D sono indicati sia parametri di resistenza efficaci sia parametri di resistenza non drenata ricavati dalle prove CPTU rispettivamente negli strati a grana grossa ed in quelli a grana fine. I parametri di resistenza degli Orizzonti E ed F sono ricavati da prove di carico puntuale (eseguite nel Laboratorio Geotecnico del DIC dell'Università di Pisa su spezzoni di carota prelevati dalle cassette catalogatrici) e dalla stima dell'indice RMR.

**Tabella 1 - MODELLO GEOTECNICO. PARAMETRI DI RESISTENZA.**

Orizzonte	Profondità (m)	$C_u - q_u$ (kPa)	$c'$ (kPa)	$\varphi'$ (°)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
A (x)	0 - 5	60 (*) 130	0	31	18.50
B	5 - 10	-	0	34 (**)	18.0 (***)
C (x)	10 - 14	60 (*) 140	0	31	18.50
D	14 - 20	200 (*)	0	37 (**)	19.5 (***)
E	20 - 24	15000 (+)	50 (+)	15 (+)	22.0 (+)
F	>24	53000 (+)	100 (+)	25 (+)	25.0 (+)

**Tabella 2 MODELLO GEOTECNICO PARAMETRI DI COMPRESSIBILITA'**

Orizzonte	Profondità (m)	RR (-)	CR (-)	$E_{ed}$ (MPa)	$C_{\alpha\varepsilon}$ (-)	K (cm/s)	OCR (-)
A (x)	0 - 5	0.017 0.035	0.18 0.31		0.0008 - 0.0015	10-8/10-9	1.3 - 1.9
B	5 - 10	-	-	40	-	-	-
C (x)	10 - 14	0.017 0.035	0.18 0.31		0.0008 - 0.0015	10-8/10-9	2.6 - 3.3
D	14 - 20	0.01	0.17	70	0.0008 - 0.0015	-	-
E	20 - 24	-	-	1000 (*)	-	-	-
F	>24	-	-	1900 (*)	-	-	-

(x) I parametri della seconda riga si riferiscono alla formazione quando sono presenti sostanze organiche

(\*) Modulo di Young

**Figura 3.4.5 –Tabb.1, 2 – Modelli geotecnici**



### 3.5 AMBITO 6

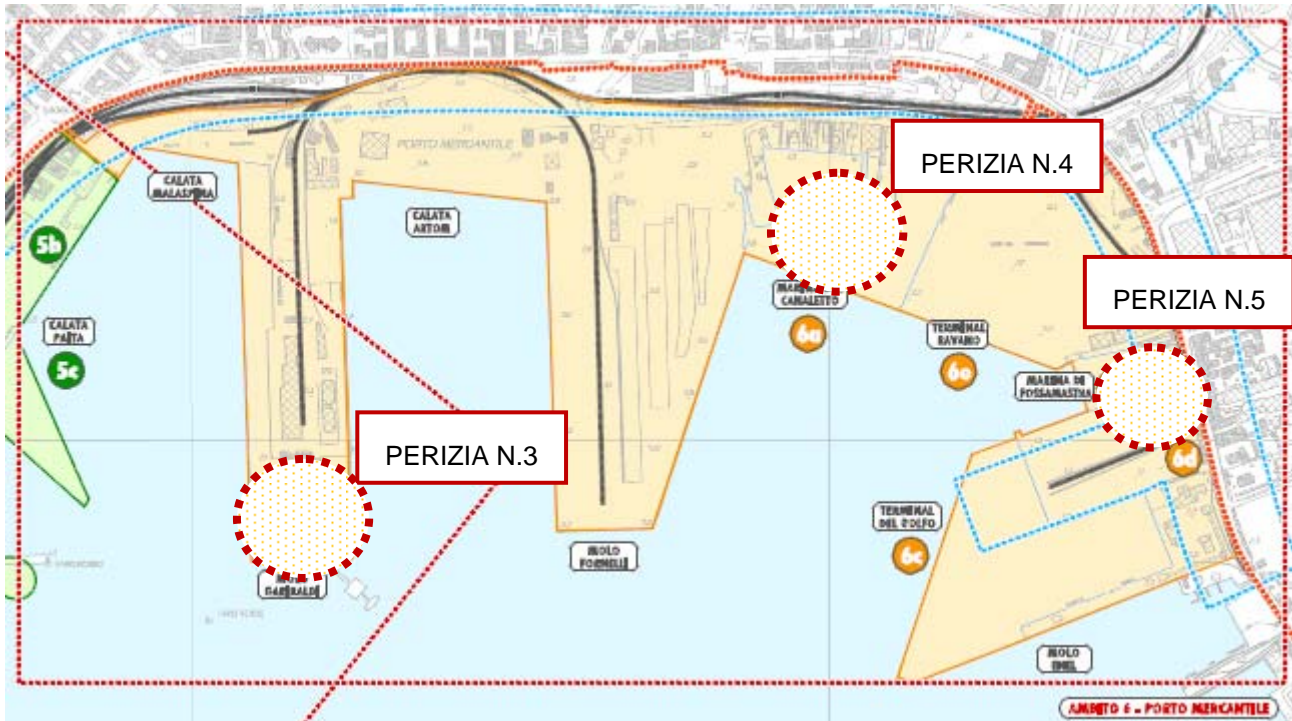


Figura 3.5.1 – Ambito 6 - inquadramento

#### 3.5.1 Realizzazione Ampliamento Molo Garibaldi - Ristrutturazione della parte di Ponente dello stesso Molo e della Calata Malaspina<sup>5</sup> – PERIZIA N.3

Di seguito viene riportato il contributo della relazione specialistica geotecnica presentata a seguito della Perizia di Variante relativa ai lavori di ampliamento del Molo Garibaldi di La Spezia, redatta a seguito del parere del C.S. LL.PP. espresso con voto n. 86 del 30.07.2008.

Dopo aver sintetizzato il quadro geologico dell'area d'interesse, verrà illustrato il modello geotecnico di sottosuolo risultante a seguito delle campagne di indagini realizzate durante la redazione del Progetto Esecutivo, che viene poi verificato ed aggiornato attraverso l'interpretazione delle indagini geognostiche e delle prove di laboratorio aggiuntive eseguite nel corso dell'anno 2007.

##### 3.5.1.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Sotto il profilo geomorfologico, la zona portuale della Spezia si sviluppa sul bordo della zona pianeggiante su cui la città ha impostato le sue fondamenta.

In tale area si articolano tre bacini principali: il primo forma la piana del torrente Lagora, che raccoglie le acque provenienti da Biassa e dal bacino della Chiappa; il secondo è costituito dalla piana di Migliarina dove sfociano alcuni torrenti, l'Ora, il Cappelletto, le due Dorgie Vecchia e Nuova; il terzo è il bacino di Melara con i canali che confluivano nella piana degli Stagnoni poi di Fossamastra, provenienti dalle colline di Pitelli e dal versante di San Venerio - Brigola. I terreni sono costituiti da depositi alluvionali terrazzati nella parte pedemontana, da depositi lacustri nella zona degli Stagnoni e da depositi marini sulla linea litoranea.

La costa, un tempo costituita da spiaggia, ha subito diversi interventi antropici arretrando fino al livello attuale

<sup>5</sup> Relazione Geotecnica redatta da DMS Geotechnical Engineering Prof. Ing. S. Miliziano.



di banchina; lo stesso fondo marino è stato rimaneggiato più volte con vari interventi di dragaggio allo scopo di mantenere costante la profondità del livello medio marino per la navigazione dei natanti.

Da un punto di vista geologico si evidenzia quindi come i materiali presenti nella fascia di fondale interessato dall'intervento in questione, costituiti da alternanze di limi sabbiosi argillosi e di sabbie con frazioni argillose e limose, siano piuttosto recenti. Tali depositi presentano a tratti livelli ghiaiosi molto discontinui a maggiore permeabilità, mentre nei livelli più superficiali sono costituiti da livelli fangosi con tracce di sostanze organiche.

Il substrato rigido, costituito da formazioni di siltiti ed argilliti fittamente stratificate e da marne fissili, risulta presente a profondità maggiori pari mediamente a circa 40-45 m, e pertanto non è direttamente interessato dall'intervento in questione.

### 3.5.1.2 SINTESI DEL MODELLO GEOTECNICO

In modello geotecnico evidenzia una situazione in cui il comportamento meccanico dei materiali costituenti il fondale, eccezion fatta per i primi 4-6m costituiti da materiale fangoso, è rappresentabile come quella di un mezzo continuo equivalente caratterizzato dalla significativa e diffusa presenza di materiali a componente granulare con buoni parametri di resistenza, ma da una altrettanto diffusa presenza di materiali limosi/argillosi con scadenti caratteristiche di deformabilità.

Tabella 4.6 – Campagna 2007: parametri geotecnici adottati nel progetto di variante.

Strato	Unità	prof. (m l.m.m.)	$\gamma$ ( $kN/m^3$ )	$c_u$ ( $kPa$ )	$c'$ ( $kPa$ )	$\varphi'$ ( $^\circ$ )	$E'$ ( $MPa$ )
1	Riempimento	0.0 ÷ -11.0	19	-	0	35	30
	Scapolame da cava		20	-	0	45	50
2	Fango	-11.0 ÷ -15.0	15	2-5	0	15	0.25-0.75
3	Alternanze di sabbie limose - limi sabbiosi - limi argillosi	-15.0 ÷ -37,0	19	20-86	0	30	0.9-7.8
4	Sabbie limose	-37.0 ÷ -40,0	22	-	0	35	7.8-9.6

Figura 3.5.2 – Parametri Geotecnici



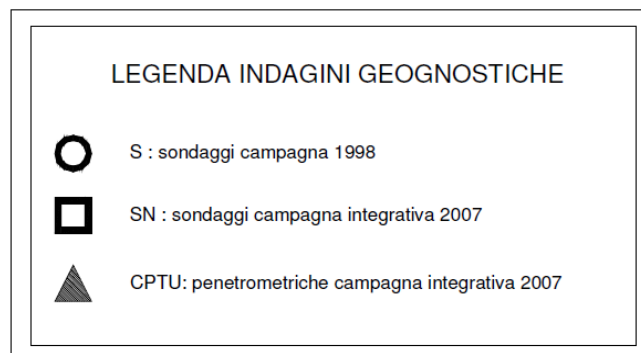
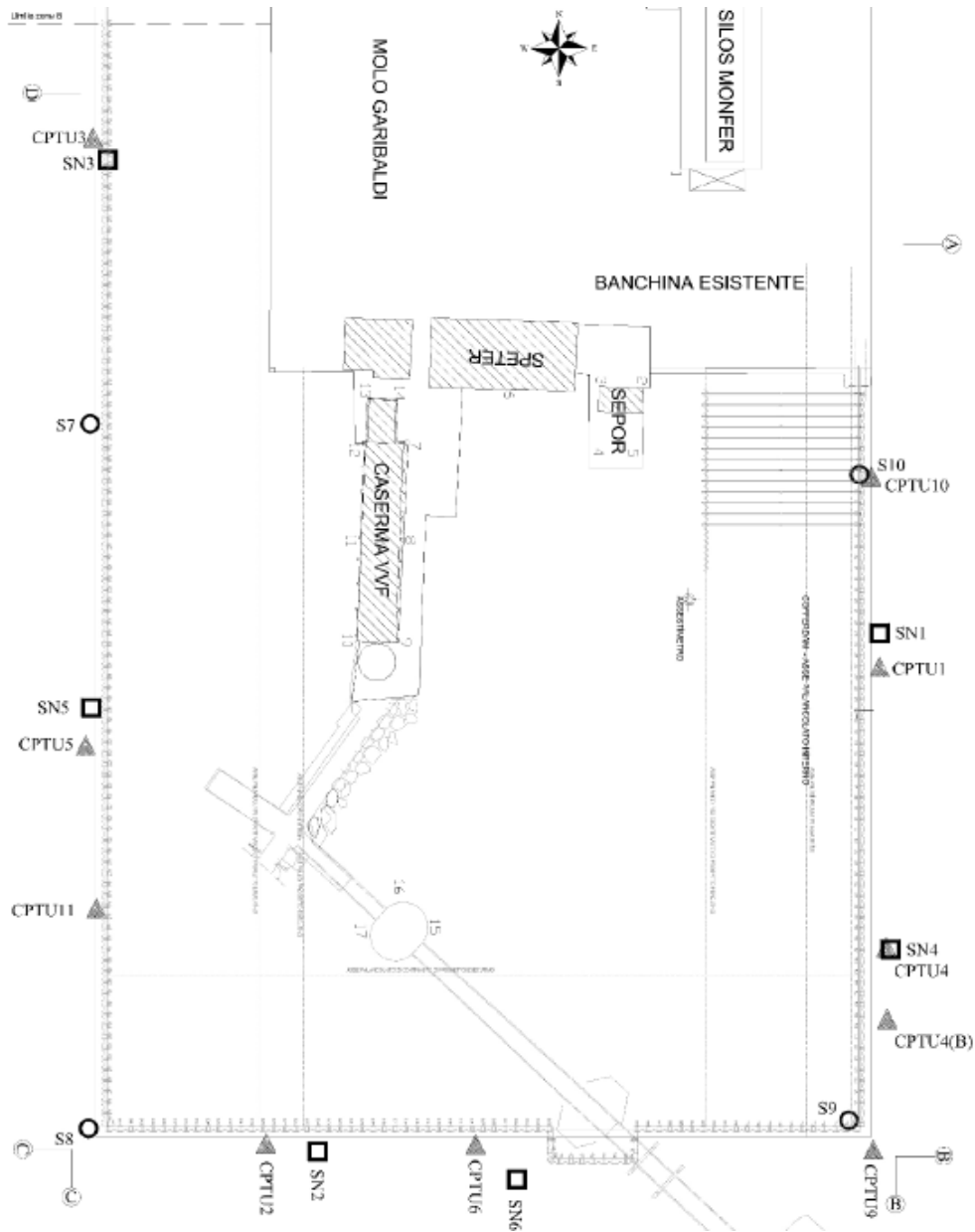


Figura 3.5.3 – Campagna geognostica 2007



Tabella 4.4 – Campagna 2007: riepilogo delle proprietà indice.

Sond.	Camp.	Quota da l.m.m.		Quota media da fondale (m)	A	L	S	G	$\gamma$	e	w	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>
		da(m)	a(m)		(%)	(%)	(%)	(%)	(kN/m <sup>3</sup> )	(-)	(%)	(%)	(%)	(%)	(-)
SN4	C1	16.2	16.8	4.5	12.0	82.0	5.9	0.1	18.9	0.8	31.4	25.7	-	-	-
SN2	C1	18.9	19.6	7.1	34.1	60.9	4.9	0.1	17.9	1.1	39.7	46.8	26.1	20.7	0.34
SN5	C2	21.2	21.8	13.8	17.9	44.1	38.0	0.0	18.9	0.8	29.9	29.4	-	-	-
SN2	SPT1	22.2	22.2	10.0	3.0	22.0	73.8	1.2	-	-	-	-	-	-	-
SN1	C1	21.9	23.0	10.2	10.7	34.3	55.0	0.0	20.8	0.5	18.6	19.0	-	-	-
SN3	C2	22.4	23.0	13.5	15.4	66.6	18.0	0.0	19.3	0.7	27.7	30.8	21.4	9.4	0.33
SN1	C2	26.7	27.4	14.9	32.4	57.6	9.4	0.6	18.1	1.0	37.1	43.1	22.4	20.8	0.29
SN1	SPT5	33.2	33.2	21.0	25.0	57.0	17.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-
SN5	C3	36.7	37.3	29.3	10.3	36.0	53.7	0.0	20.7	0.5	19.0	19.7	-	-	-
SN1	SPT6	37.0	37.0	24.8	12.0	53.0	35.0	0.0	-	-	-	-	-	-	-
SN6	C3	38.4	39.0	26.3	11.6	38.4	50.0	0.0	20.7	0.5	19.7	20.9	-	-	-
SN1	C3	40.2	40.9	28.3	12.0	34.0	54.0	0.0	20.7	0.5	19.3	18.6	-	-	-
SN1	SPT7	42.7	42.7	30.5	5.0	15.0	45.0	35.0	-	-	-	-	-	-	-

Figura 3.5.4 – Parametri geotecnici / proprietà d'indice

### 3.5.2 Realizzazione di Nuovo banchinamento della Marina Del Canaletto<sup>6</sup> – PERIZIA N.4

Il presente studio tiene conto, oltre che dei risultati emersi durante la campagna geognostica eseguita nei mesi di Dicembre e Gennaio 2011, anche della bibliografia esistente per l'area di studio e di attente osservazioni fatte direttamente sul posto.

La presente relazione giunge alla definizione del modello geologico in scala locale, arrivando a definire in maniera dettagliata le singole unità litologiche che costituiscono il sottosuolo dell'area in cui è inserita l'opera.

Il presente lavoro tiene conto dei dettami del D.M. 14 Gennaio 08 "Norme Tecniche sulle Costruzioni" e della Circolare Ministeriale del 02 Febbraio 2009; inoltre, tutte le indagini fanno riferimento in maniera scrupolosa a quanto prescritto nelle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" A.G.I. 1977 e nelle "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio" A.G.I. 1994.

#### 3.5.2.1 4.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio regionale si affaccia direttamente sul Mar Ligure ed è delimitato, a nord, dai contrafforti montuosi appartenenti ai sistemi orografici alpino ed appenninico. La superficie territoriale è di 5.416,03 Km<sup>2</sup> corrispondente ad una sottile striscia di terra avente una larghezza variabile dai 7 ai 35 Km ed una lunghezza media di circa 240 Km. Le catene montuose sono il risultato di enormi masse rocciose (distinte in falde o Unità tettoniche) che, durante le varie fasi orogenetiche, sono state deformate, traslate e dislocate dalla loro posizione originaria ed appilate una sull'altra.

In Liguria sono così presenti due sistemi di appilamento, o di vergenza, corrispondenti alla catena alpina a ponente e a quella appenninica a levante. Il confine, o meglio la linea che differenzia i due settori, è da ricercarsi in corrispondenza di una lineazione tettonica conosciuta in letteratura come "Linea Sestri-Voltaggio".

Dalla linea dello spartiacque, posta ad una quota media di circa 1.000 m s.l.m., si osserva una disposizione asimmetrica dei versanti che comporta un'energia di rilievo mediamente più elevata lungo il settore tirrenico rispetto a quello padano; in particolare il versante marittimo, nel tratto appenninico, presenta una disposizione delle valli parallele alla linea di costa (ad es. Val Fontanabuona o Val di Magra), diversamente dall'area alpina dove l'asse vallivo presenta mediamente un assetto sub-meridiano.

Le fasi principali dell'orogenesi alpina si realizzarono, nel settore delle Alpi liguri, all'incirca tra i 90 e 40 milioni di anni fa, attraverso l'avvicinamento e la successiva collisione di due paleocontinenti: l'Euroasia e l'Africa. Ciò produsse la deformazione sia dei materiali oceanici interposti, sia di quelli continentali più prossimi alla zona di collisione, che vennero traslati verso l'avampaese e impilati gli uni sugli altri, formando un edificio a falde di ricoprimento. L'orogenesi appenninica invece è legata all'apertura del mar Ligure avvenuta nel Miocene inferiore (24-5 milioni di anni fa). Anche in questo caso la rotazione del blocco sardo-corso ha determinato un raccorciamento crostale e quindi l'appilamento di falde verso le regioni esterne ossia verso l'attuale Adriatico. In epoche più recenti (Oligocene e Miocene) il mare avanzando sulle terre emerse forma un bacino (noto come Bacino Terziario Piemontese) che corrisponde in parte all'attuale versante padano. Le successive fasi distensive plioceniche hanno determinato una tettonica di tipo fragile instaurando situazioni di alti e bassi morfologici con prevalenza di depositi fini (es. Argille di Ortovero). Le lineazioni principali, associate a tale dinamica distensiva, presentano orientazioni prevalenti verso NW-SE, NE-SW, N-S e E-W e risultano condizionare spesso la disposizione degli assi vallivi, della linea di costa oltrechè l'evoluzione dei rilievi.

Da un punto di vista geologico è possibile individuare alcuni ambiti di caratteristiche litologiche omogenee: nella zona compresa tra Ventimiglia ed Albenga sono ben rappresentati i flysch calcareo marnosi ed arenacei, tra cui

<sup>6</sup> Relazione Geotecnica redatta dal Dr. Geol. Antonio D'Andrea





spiccano il gruppo calcareo del Toraggio (1.973 m), Pietravecchia (2.038 m) e il monte Saccarello (2.200 m), il più alto della Regione. Nell'area centro-occidentale, prevalgono, nell'areale savonese, litotipi appartenenti al "Dominio Brianzonese" (principalmente gneiss, anfiboliti, graniti, porfiroidi e successioni sedimentarie calcaree dolomitiche) mentre nel genovesano, fino al Passo dei Giovi, si rilevano terreni di natura metamorfica (ofioliti e calcescisti) oltreché argilliti e successioni carbonatiche, lungo l'allineamento Sestri-Voltaggio.

Nel settore di competenza padana sono presenti litotipi afferenti al complesso sedimentario denominato "BTP - Bacino Terziario Piemontese" sovrastanti, in discordanza stratigrafica, i terreni di cui sopra. A levante dei Giovi, fino all'abitato di Chiavari, il versante marittimo è costituito prevalentemente da flysch calcareo marnosi, per la restante parte si rilevano flysch scistoso argillitici e, in minor misura, successioni ofiolitiche ed arenacee. Nell'estremità orientale ligure affiorano masse calcaree ed arenacee di natura flyschoidi afferenti alle sequenze "toscano".

### 3.5.2.2 STRATIGRAFIA LOCALE

Sulla base di quanto appena esposto, i terreni presenti nell'area oggetto di indagine sono riconducibili a prodotti del sistema deposizionale del Golfo di La Spezia. La carta geologica indica in affioramento depositi alluvionali marini e fluviali costituiti principalmente da regolari alternanze di sabbie, limi e argille.

In particolare sono stati riscontrati durante le indagini, nei primi 11,00 m dal piano fondo del mare, terreni molto teneri riconducibili a depositi limoso sabbiosi di alluvione. Successivamente è stato identificato uno strato a maggiore resistenza alla penetrazione riferibile a delle sabbie moderatamente addensate, indicate in leggenda con a fino a circa 20,00 m di profondità. Al di sotto è stato individuato un livello argilloso in entrambe le verticali con uno spessore medio di circa 3,00 m.

Oltre i 23,0 metri dal piano campagna le 2 verticali hanno rinvenuto due distinti depositi di sedimentazione, in particolare il sondaggio S1 ha individuato dei depositi sabbiosi fino alla massima profondità indagata che vanno a riempire una depressione di un antico bacino, mentre nel sondaggio S2 sono state individuati dei depositi argillosi.

### 3.5.2.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Tutta la piana costiera del Lido della Spezia è caratterizzata da forme di modellamento influenzate dalle varie oscillazioni del livello del mare avvenute nel Quaternario. Il ripetersi dei vari cicli sedimentari (Calabrian, Siciliano, Tirreniano), ha determinato l'alternarsi di fasi erosive e deposizionali, con il sovrapporsi di terrazzi fluviali di vario ordine. Parallelamente le continue fluttuazioni della linea di costa hanno favorito l'instaurarsi di ambienti lagunari e palustri, oggi bonificati. Attualmente l'evoluzione litoranea è ancora in atto con continue modificazioni della linea di costa e della foce dei corsi d'acqua.

Nello specifico l'area d'intervento è caratterizzata da un piano campagna pianeggiante, che oramai non rispecchia più la situazione paleomorfológica naturale a causa delle intense modifiche apportate dagli interventi antropici.

Anche la paleobatimetria del sito è stata completamente modificata ad opera dalle attività sia passata che recente operata all'interno dell'area portuale (dragaggi, costruzione di corpi diga etc.). La morfologia presente all'interno del lotto è caratterizzata da quote oscillanti intorno a 1.00 m. (s.l.m.).

Secondo quanto riportato nel piano stralcio di assetto idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino della Provincia Della La Spezia, l'area di studio ricade nella fascia di suscettività al dissesto molto bassa (P0): aree, in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche fisiche dei terreni non costituiscono, se non occasionalmente, fattori predisponenti al verificarsi di movimenti di massa.



Figura 3.5.6 – Geomorfologia

### 3.5.2.4 CARATTERISTICHE TECNICHE DEI TERRENI INVESTIGATI

Nelle fasi preliminari alla stesura del progetto delle indagini, si è attinto alla folta bibliografia esistente.

La caratterizzazione e l'inquadramento litostratigrafico dei terreni presenti nel sottosuolo, è stata effettuata sia grazie all'analisi delle carote di terreno direttamente in cantiere che alle prove in foro e alle analisi di laboratorio.

In tutti i sondaggi eseguiti in questa campagna i vari livelli attraversati mostrano delle successioni litologiche molto simili, tali da individuare una certa continuità orizzontale e permettere in una sezione geologica interpretativa una facile e sicura interpolazione degli strati stessi. Tale similitudine viene a mancare da quota – 25,00 evidenziando due differenti ambienti deposizionali.

Nelle colonne stratigrafiche sono descritti tutti i livelli e gli orizzonti riscontrati. Nella sezione geologica i vari livelli di terreno sono stati accorpati in Unità litostratigrafiche principali.

Come deciso dalla Committenza, il campionamento delle verticali, è iniziato dalla quota del fondo marino. Per quanto riguarda il sondaggio S1 la perforazione a carotaggio continuo è iniziata a - 3.00 m dal piano banchina e per il sondaggio S2 a -3.60 m, precedentemente la perforazione è avvenuta a distruzione di nucleo.

#### Unità litostratigrafica "A" - Terreno di Riporto

Questa unità è costituita da sabbie ghiaiose limose rimaneggiate dall'attività antropica. Tali terreni presentano un colore grigio e abbondanti frammenti di laterizi.

Al tetto comprende un livello di cemento industriale di circa 50 cm. La tabella seguente mostra, per ogni sondaggio, la quota del tetto e del letto rispetto al piano campagna. Quest'unità, successiva all'attraversamento del corpo di banchina, è stata incontrata esclusivamente nella verticale S1.

Unità litostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
A	tetto	3.00	-
	letto	8.10	-
	Spessore	5.10	



### Unità litostratigrafica "B" - limo argilloso sabbioso

Questa unità raccoglie limi argilloso-sabbiosi, di colore grigio, in testa di colore grigio scuro. Essa è caratterizzata da settori a prevalente componente sabbiosa alternati a livelli più coesivi. L'unità, riconosciuta in tutti i sondaggi, presenta rari frammenti di gusci di molluschi e accumuli di lignite ed alghe.

Unità litostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
B	tetto	8.10	3.60
	letto	15.50	13.60
	Spessore	7.40	10.00

Nella tabella di seguito riportata, vengono illustrati i parametri geotecnici nominali ottenuti dalle prove eseguite in laboratorio, sul campione prelevato all'interno della singola unità.

Parametro geotecnico		Valore
Classificazione granulometrica A.G.I.		Limo con argilla debolmente sabbioso
Contenuto naturale d'acqua (%)	W <sub>n</sub>	33.31
Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>n</sub>	18.68
Angolo di attrito efficace (°)	φ	17
Coesione drenata (kN/m <sup>2</sup> )	C	19
Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	C <sub>u</sub>	8.8
Modulo edometrico (Mpa)	E	1.50-2.54-2.71-3.77-6.40-11.34-22.30

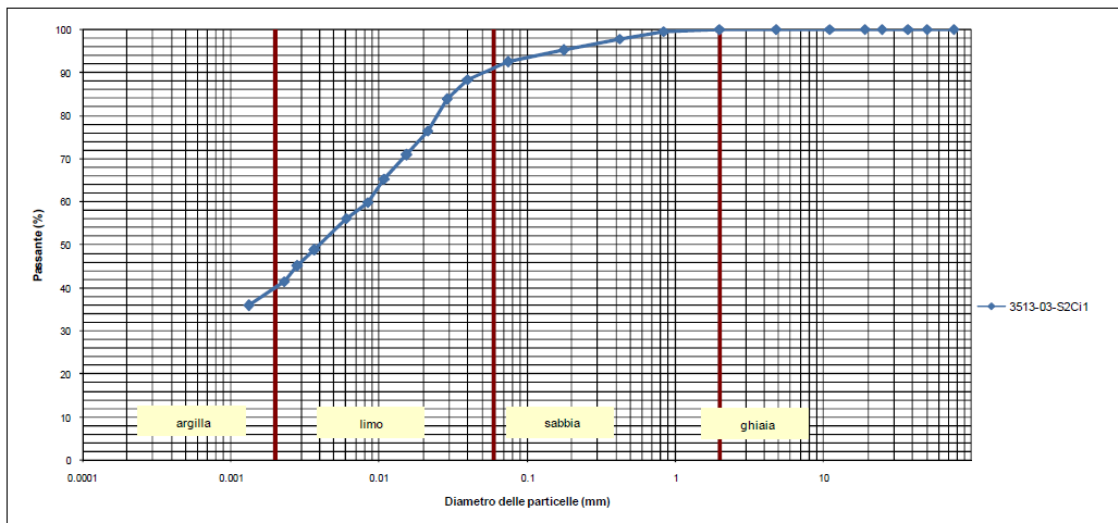


Figura 3.5.7 – fuso granulometrico relativo al campione prelevato all'interno dell'Unità

### Unità litostratigrafica "C" – Sabbie limose

L'unità C è costituita da delle sabbie da limose a con limo di colore grigio, al cui interno si rinviene la presenza di diffusi frammenti di gusci di molluschi e bivalvi di natura carbonatica. Sono presenti locali frammenti lignei non del tutto decomposti all'interno della matrice.





All'interno dell'unità è stato individuato un livello sabbioso di circa un metro di spessore. Inoltre sono stati riscontrati diffusi livelli decimetrici a maggiore componente argilloso-limosa. L'unità è riconducibile, per caratteristiche generali, all'unità dei depositi marini e fluviali.

Unità litotostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
C	tetto	18.10	14.90
	letto	27.50	23.30
	Spessore	9.40	8.40

Parametro geotecnico		Valore
Classificazione granulometrica A.G.I.		sabbia limosa argillosa
Contenuto naturale d'acqua (%)	Wn	da 18.96 a 20.23
Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_n$	da 19.58 a 20.84
Angolo di attrito efficace (°)	$\phi$	da 19 a 26
Coesione drenata (kN/m <sup>2</sup> )	C	da 32 a 45
Coesione non drenata (kN/m <sup>2</sup> )	Cu	56
Modulo edometrico (Mpa)	E	2.97-4.02-6.06-8.28-11.88-19.71-42.96

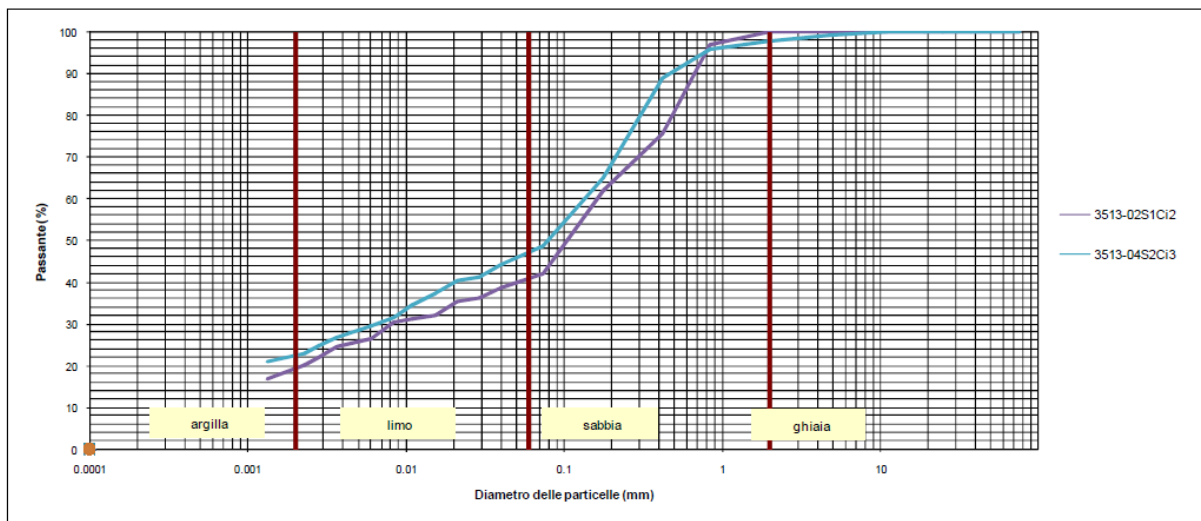


Figura 3.5.8 – fuso granulometrico relativo al campione prelevato all'interno dell'Unità

### Sottounità "C1" - Sabbie con argilla di colore grigio-arancio

Tale sottounità, ubicata al tetto dell'Unità C, è costituita da argille sabbiose, passanti a sabbie con argilla ed in fine a sabbia limoso argillose.

Riscontrati in entrambi i sondaggi per uno spessore di 4.0 m, questi terreni si presentano di colore grigio chiaro con macchie, plaghe e livelli centimetrici di colore marrone-arancio.



Unità litostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
C1	tetto	13.00	11.50
	letto	18.10	14.90
	Spessore	5.10	3.40

Parametro geotecnico		Valore
Contenuto naturale d'acqua (%)	Wn	19.35
Peso di volume naturale (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_n$	20.59
Angolo di attrito efficace (°)	$\phi$	29
Coesione drenata (kN/m <sup>2</sup> )	C	6
Coesione non drenata	Cu	111
Modulo edometrico (Mpa)	E	3.11-3.82-4.26-6.50-10.42-18.22-52.46

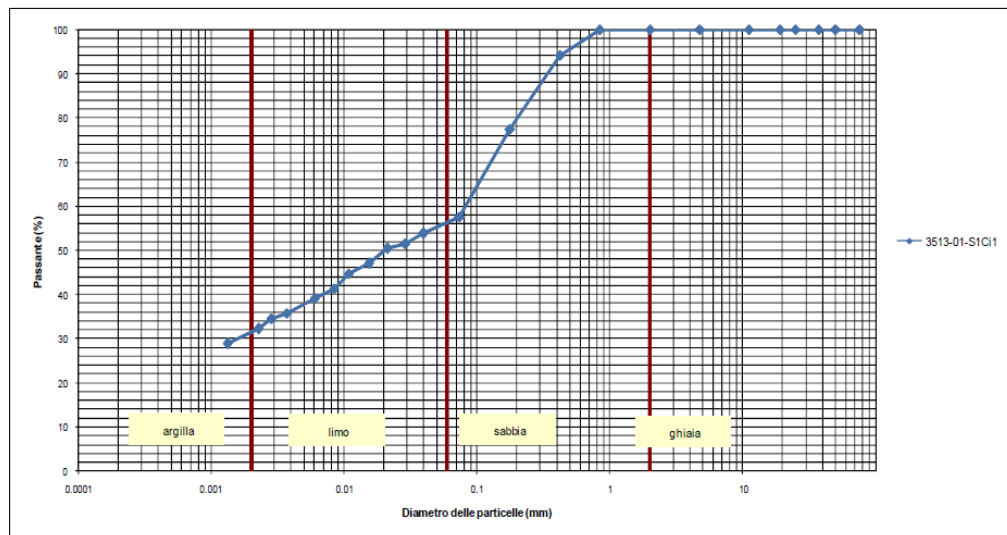


Figura 3.5.9 – fuso granulometrico relativo al campione prelevato all'interno dell'Unità

### Unità litostratigrafica "D" – Argilla limosa

L'unità D è rappresentata da terreni a granulometria argilloso limoso.

La colorazione varia dal grigio chiaro marrone al cui interno si rinviene la presenza di frequenti grumi di sabbia ossidata.

L'unità è stata attraversata in entrambe le verticali di sondaggio e mostra uno spessore medio e di circa 3.0 metri.

Unità litostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
D	tetto	27.70	23.30
	letto	31.30	26.30
	Spessore	3.60	3.00



### Unità litostratigrafica "E" – Sabbie limose

L'unità E è costituita da sabbie limose debolmente ghiaiosa, di colore grigio chiaro al cui interno si rinviene la presenza di frequenti frammenti di gusci di molluschi e bivalvi di natura carbonatica e di rari clasti arenacei arrotondati di diametro di 2 -3 cm.

All'interno dell'unità sono stati individuati frequenti livelli centimetrici argilloso-limosi. L'unità è stata incontrata esclusivamente nella verticale S1.

Unità litostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
E	tetto	31.30	
	letto	36.95	
	Spessore	5.65	

### Unità litostratigrafica "F" – Sabbie ghiaiose

L'unità F è costituita da sabbie limose ghiaiose, di colore marrone chiaro giallastro al cui interno si rinviene la presenza di frequenti clasti arenacei arrotondati di diametro di 3-4 cm. L'unità è stata incontrata esclusivamente nella verticale S1.

Unità litostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
F	tetto	36.95	
	letto	38.00	
	Spessore	-	

### Unità litostratigrafica "G" – Argilla limosa

L'unità G è costituita da argille limose debolmente sabbiose, di colore grigio chiaro al cui interno si rinviene la presenza di frequenti lignei e plaghe di materia organica umificata.

Presenti locali livelli decimetrici a maggiore componente sabbiosa. L'unità è stata incontrata esclusivamente nella verticale S2.

Unità litostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
G	tetto	-	26.30
	letto	-	34.90
	Spessore		8.60



Parametro geotecnico		Valore
Classificazione granulometrica A.G.I.		Limo con sabbia e argilla
Contenuto naturale d'acqua ( % )	W <sub>n</sub>	20.41
Peso di volume naturale ( kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>n</sub>	20.20
Angolo di attrito efficace (°)	φ	19
Coesione drenata ( kN/m <sup>2</sup> )	c	56
Modulo edometrico ( Mpa )	E	4.17-5.35-6.45-11.24-26.98-51.86

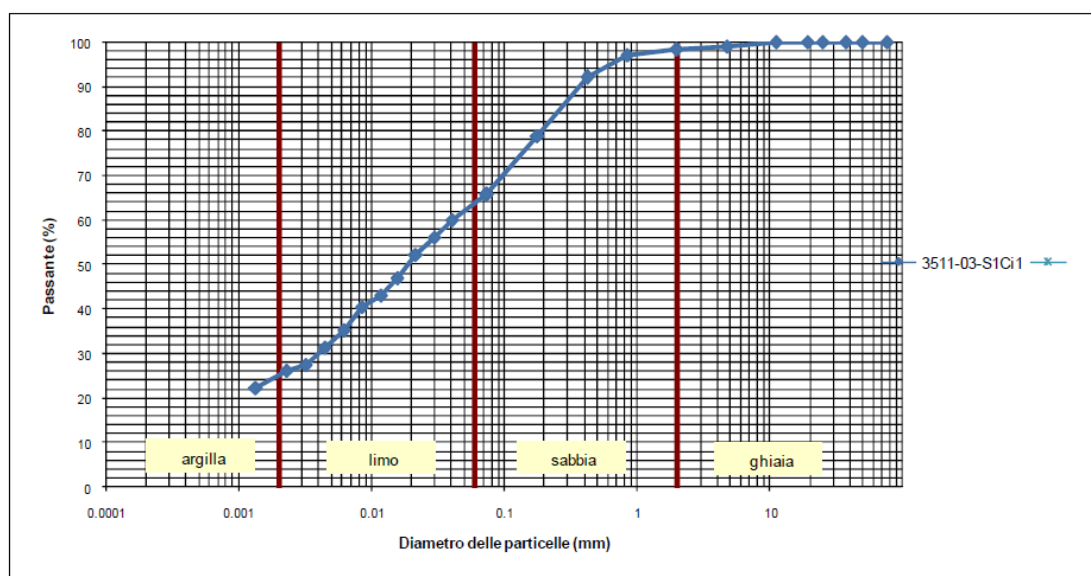


Figura 3.5.10 – fuso granulometrico relativo al campione prelevato all'interno dell'Unità

### Unità litostratigrafica "H" – Argilla limosa

L'unità H è costituita da argille limose debolmente sabbiose, di colore rosso con frequenti screziature beige e grigie, al cui interno si rinviene la presenza di locali plaghe a maggiore componente sabbiosa.

L'unità è stata incontrata esclusivamente nella verticale S2.

Unità litostratigrafica		Sondaggi (profondità da fondo mare)	
		S1	S2
H	tetto	-	33.90
	letto	-	38.00
	Spessore		-

### 3.5.2.5 SISMICITÀ DELL'AREA D'INTERVENTO

In base alla recente normativa antisismica (O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003 - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" modificata dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 03/05/2005 "Ulteriori modifiche ed integrazioni dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274..."; ordinanza PCM 3519 del 28/04/2006; D.M.14/09/2005 "norme tecniche per le costruzioni" sostituito dal DM del 14/01/2008 "nuove norme tecniche per le costruzioni"), il territorio italiano è stato suddiviso in 4 zone sismiche



principali con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. In particolare, nell'allegato relativo ai "Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – individuazione, formazione e aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone" si è proceduto alla riclassificazione sismica dei comuni italiani in funzione di fattori quali l'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni e l'accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. Sono state così definite quattro zone con fattori di rischio decrescente.

ZONA	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)	Accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico(ag)
1	>0.25	0.35
2	0.15-0.25	0.25
3	0.05-0.15	0.15
4	<0.05	0.05

**Figura 3.5.11 - O.P.C.M. 3519/06 - Valori di accelerazioni orizzontali d'ancoraggio**

Secondo l'ordinanza PCM 3519 del 28/04/2006, le zone 1, 2 e 3 possono essere ulteriormente divise in sottozone caratterizzate da valori di Ag intermedi rispetto a quelli riportati in tabella ed intervallati da valori non minori di 0.025 g. Le valutazioni di Ag dovranno essere effettuate sulla base di studi di pericolosità condotti su dati aggiornati.

Si riporta a tal proposito la Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale secondo l'Istituto di geofisica e vulcanologia, nella quale vengono messe in evidenza 12 sottozone secondo quanto sopra detto.

Secondo tale proposta L'INGV inserisce il Comune di La Spezia nella sottozona 3.1- 3.2 con valori di accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compresi:

In base alla nuova classificazione sismica la Regione Liguria ha riclassificato il proprio territorio (DGR n. 530/03 del 16 Maggio 2003), dalla suddetta proposta risulta una diversa classificazione sismica che comporta la suddivisione del territorio ligure dalle attuali tre classi di pericolosità (zona 2 = media pericolosità; zona 3 =bassa pericolosità; zona 4 = molto bassa pericolosità) a due classi e relative sottozone (zona 3S, 3A, 3B = bassa pericolosità; zona 4 = molto bassa pericolosità);

La tabella seguente riporta uno stralcio dalla tabella 3 all'Allegato 1 relativo all' DGR della Regione Liguria n. 1308 del 24 Ottobre 2008.

In base alla nuova classificazione quindi, la zona di studio appartenente al Comune di La Spezia è stata inserita in zona 3A mostrando, così, un valore di accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni compreso/uguale tra 0.15-0.18 g.

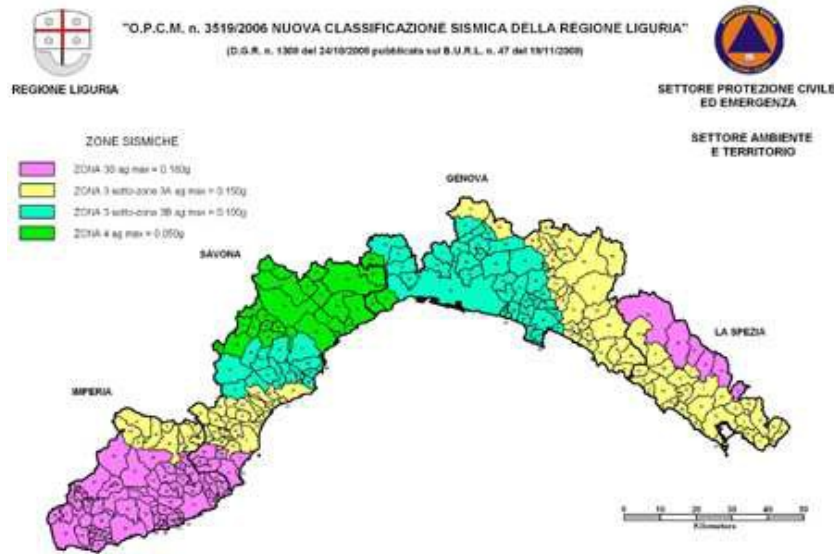


Figura 3.5.12 – Zonizzazione Sismica

### 3.5.2.6 ANALISI DEI DATI CROSS HOLE

I sismogrammi acquisiti in campagna e registrati su hard disk sono stati esaminati per l'acquisizione dei tempi d'arrivo delle onde longitudinali (P) e trasversali (S).

Con le misure di verticalità è stata elaborata la distanza per ogni metro di profondità tra il foro di energizzazione e registrazione.

Quindi, noti i tempi di arrivo delle onde e le distanze tra i fori sono state calcolate le velocità di propagazione per ogni metro di profondità delle onde P ed S.

Infine, inserendo le velocità nelle formule, sono stati ricavati il coefficiente di Poisson (  $\nu$  ) ed i parametri elastici E e G. Per il calcolo di questi ultimi è stato introdotto un peso di volume naturale stimato. Le velocità e i parametri elastici dinamici, sintetizzati nelle tabelle e visualizzati nei grafici allegati, sono pertanto i seguenti:

- V<sub>p</sub>** - Velocità onde longitudinali (m/s)
- V<sub>s</sub>** - Velocità onde trasversali (m/s)
- $\nu$**  - Modulo di Poisson (adimensionale)
- E** - Modulo elastico (MPa)
- G** - Modulo di taglio (MPa)

S1-S2	
Profondità (m)	38
N° misure	38
Intervallo di misura (m)	5,.00

Figura 3.5.13 – prova CH-SC18





### Osservazioni sulle velocità delle onde P

Il profilo delle  $V_p$  mostra valori crescenti con la profondità e presenta fino ai 30 metri di profondità un andamento caratterizzato da gradini di velocità seguiti da tratti costanti ad eccezione dei valori registrati nel corpo banchina dove la discontinuità e la varietà dei materiali di riempimento che la costituiscono determinano la presenza di valori di velocità crescenti e decrescenti, (da 0 a 5 metri 600-1000 m/s; da 5 a 26 metri 600 m/s; da 27 a 38 metri 600-800 m/s).

### Osservazioni sulle velocità delle onde S

Il profilo di velocità delle onde S fino ai 21 metri di profondità indica materiali con caratteristiche elastiche simili con velocità intorno ai 150 m/s, dai 22 metri si registrano nuovamente incrementi di velocità fino ai 190 m/s e localmente dei decrementi al massimo a 131 m/s.

Velocità e moduli elastici sono visualizzati in tabelle e grafici presenti tra gli allegati.

Per il calcolo dei parametri meccanici in regime dinamico sono stati inseriti dei valori di peso dei terreni medi noti da bibliografia, e quindi in realtà possono in parte variare.

#### 3.5.2.7 CLASSIFICAZIONE SISMICA IN TERMINI DI $V_{s30}$

Ai fini della definizione/valutazione dell'azione sismica di progetto secondo quanto riportato nel nuovo DM del 14/01/2008, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante studi specifici. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione sia di categorie di sottosuolo di riferimento che topografiche.

Per la differenziazione delle prime, la classificazione può essere basata sulla stima dei valori della velocità media delle onde sismiche di taglio VS ovvero sul numero medio di colpi NSPT ottenuti in una prova penetrometrica dinamica ovvero sulla coesione non drenata media  $c_u$ . In base alle grandezze sopra definite si identificano le seguenti le categorie del suolo di fondazione:

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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 con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Figura 3.5.14: D.M. 14/01/2009 – Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo

In aggiunta a queste categorie di terreno se ne definiscono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Figura 3.5.15: D.M. 14/01/2009 – Tab. 3.2.IV – Categorie aggiuntive di sottosuolo

Lo stesso decreto specifica, inoltre, che qualora si è in presenza di un alternanza di terreni coesivi e granulari distribuiti con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità e nel contempo non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio, si può procedere determinando NSPT30 limitatamente agli strati granulari e  $Cu_{30}$  limitatamente agli strati coesivi. Una volta individuate le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri NSPT30 e  $Cu_{30}$  si riferirà il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle specificate.

Nelle definizioni precedenti  $VS_{30}$  è la velocità media di propagazione entro i 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$VS_{30} = 30 / \sum (h_i / V_i)$$

Allo stesso modo la resistenza penetrometrica dinamica equivalente NSPT30 e la resistenza non drenata equivalente  $Cu_{30}$  vengono definite dalle seguenti espressioni:

$$NSPT_{30} = 30 / \sum (h_i / N_{spti}) \quad Cu_{30} = 30 / \sum (h_i / C_{ui})$$

dove  $h_i$  indica lo spessore  $i$ -esimo; mentre  $V_i$ ,  $NSPT_i$  e  $Cu_i$  indicano rispettivamente la velocità delle onde di taglio, il numero di colpi (ultimi 30 cm) alla prova Spt (per i terreni granulari) e la coesione non drenata (per i terreni coesivi) dello strato  $i$ -esimo per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Tenendo conto di quanto scaturito dall'indagine sismica di tipo CROSS HOLE è stato possibile attribuire ai terreni di fondazione nell'area di studio la categoria di sottosuolo "D".

La tabella sottostante indica quanto in merito.

Categoria di suolo
D

Per ciò che concerne invece le categorie topografiche in caso di configurazioni superficiali semplici che non richiedano particolari studi di risposta sismica locale le stesse andranno individuate sulla base della successiva tabella:

Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche

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

Figura 3.5.16: D.M. 14/01/2009 – Tab. 3.2.IV – Categorie topografiche



### 3.5.2.8 CONCLUSIONI

A conclusione della presente relazione si riassumono alcune valutazioni circa la situazione geologica presente nella zona d'intervento.

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di depositi alluvionali, marini e fluviali. Sulla base di quanto esposto nei capitoli precedenti, sono state individuate 8 unità litostratigrafiche.

L'unità A raccoglie termini di riporto costituiti da ghiaie sabbiose localmente argillose, di spessore di circa cinque metri. Seguono, fino a circa 14,0 m di profondità, dei depositi limosi sabbioso argillosi, teneri e caratterizzati dalla presenza di materia organica decomposta (Unità B). L'unità C, spessa mediamente 8.50 m, è costituita da depositi sabbioso limosi di colore grigio chiaro, moderatamente addensati, riconducibili all'unità dei depositi alluvionali marini. Al tetto è presente un livello da argilloso sabbioso a sabbioso argilloso (Sottounità C1). L'unità D, spessa mediamente 3.0 m, è costituita da delle argille limose di colore grigio marrone, molto consistenti. Alla base, in corrispondenza del sondaggio S1, a partire da 28.30 m, si riscontra la presenza di sabbie limose di colorazione grigiastrea (Unità E) seguite da sabbie ghiaiose di colore giallo ocra (Unità F); mentre nella verticale S2 sono presenti a partire da quota 26.30 m, delle argille limose di colore grigio molto consistenti (Unità G); seguite, a partire da 34.90 m, da argille limose di colore rosso con locali screziature grigiastre (unità H).

Dal punto di vista idrogeologico è da notare l'esistenza, in prossimità della costa, di una falda freatica a pochi metri di profondità all'interno dei terreni sabbiosi. E' presumibile, data la vicinanza al mare, che essa galleggi su un cuneo d'acqua di ingressione marina, quindi non si esclude un tenore alto in sali delle acque in questione.

Per ciò che concerne gli aspetti geomorfologici la zona in oggetto è ubicata su di un ampio pianoro posizionato ad una quota di circa 1 m s.l.m. Secondo quanto riportato nel piano stralcio di assetto idrogeologico (PAI) l'area di studio non comprende zone a pericolosità idraulica. E' da segnalare che l'area circostante le foci dei torrenti Nuovo e Vecchia Dorgia, distante circa un trecento metri dall'area di studio, è collocata nella fascia di rischio A; essa comprende zone con rischio di esondazione con tempi di ritorno inferiori a 50 anni.

Secondo quanto riportato nel piano stralcio di assetto idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino della Provincia Della La Spezia, l'area di studio ricade nella fascia di suscettività al dissesto molto bassa (P0).

Dal punto di vista sismico l'area oggetto d'indagine ricade, in base alla nuova classificazione sismica la Regione Lazio (DGR n.387 del 25 Maggio 2009), nella sottozona 3A.

Ai fini della definizione/valutazione dell'azione sismica di progetto secondo quanto riportato nel nuovo DM del 14/01/2008 è stata eseguita un'indagine geofisica di tipo Cross - Hole, che ha permesso di attribuire ai terreni di fondazione nell'area di studio la categoria di sottosuolo "D".

La ricostruzione del modello geologico scaturita dal presente studio è derivata da un'attenta analisi dei dati provenienti dall'indagine geognostica in sito.

Le indagini in questione hanno avuto come fine ultimo, oltre alla ricostruzione dell'andamento litostratigrafico anche quella della caratterizzazione fisico meccanica delle singole unità individuate.





### 3.5.3 **Realizzazione di Nuovo banchinamento del Diffusore ENEL<sup>7</sup> – PERIZIA N.5**

Durante il mese di Gennaio 2014 è stata eseguita una indagine geologica/geotecnica relativa al Progetto di Banchinamento in loc. Diffusore ENEL nel Porto Mercantile della Spezia.

La presente analisi si basa pertanto sulle seguenti indagini:

- Esecuzione di n 3 sondaggi a carotaggio continuo denominati :  
S1 (spinto alla profondità di 30 metri), S2 (spinto alla profondità di 30 metri), S3 (spinto alla profondità di 20 metri), per un totale di ml 80;
- Esecuzione di n.10 prove SCPT in foro.
- Ricostruzione litostratigrafica di ciascun sondaggio.
- Caratterizzazione geotecnica dei principali strati.

La presente relazione intende fornire le caratteristiche geologiche e sismiche del sito ed i principali parametri geotecnici dei terreni di fondazione desunti dal rilevamento geologico di superficie, dai dati disponibili quali cartografia, letteratura, indagini geognostiche e prove eseguite in situ, in conformità a quanto previsto dalle "Norme geologiche di attuazione" del PUC del Comune della Spezia e dal D.M.14/01/2008, Testo Unico.

#### 3.5.3.1 *STRATIGRAFIA DELL'AREA DI PROGETTO*

Le stratigrafie dei terreni nell'area di progetto sono state determinate con l'esame delle carote prelevate nel corso dei sondaggi, la cui ubicazione si ritrova alla Tav. n°3, che hanno fornito un recupero pari a circa il 100%.

In maniera schematica e sintetica gli strati di sedimenti descritti con caratteristiche litologiche e geotecniche analoghe e omogenee sono stati raggruppati e distinti con un numero di riferimento, che faciliterà la sintesi dei parametri geotecnici.

Si fa osservare che strati con analoghe caratteristiche litologiche e geotecniche si rinvengono anche a profondità diverse.

---

<sup>7</sup> Relazione Geotecnica redatta dallo Studio Tecnico - Geologico Associato Previdi/Simonelli/Bertocchi

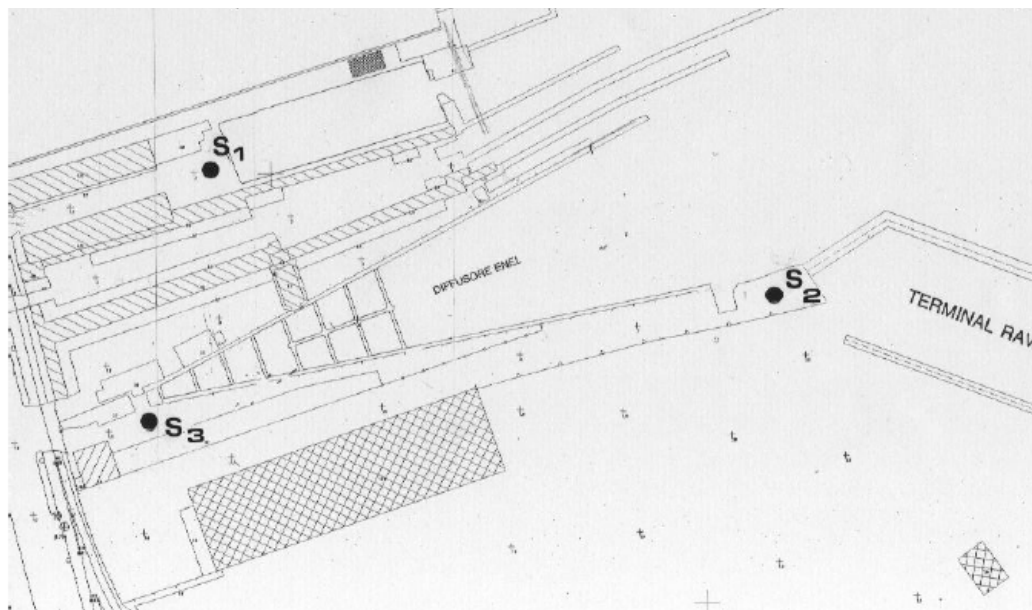


Figura 3.5.17 – Inquadramento sondaggi

### **SONDAGGIO S1**

#### **Strato 1: da 0,00 m a 2,00 m**

Terreno di riporto di natura eterogenea costituito da, ciottoli, sabbia e frammenti di laterizi e cls.

#### **Strato 2: da 2,00 m a 8,00 m**

Argille limose organiche molli con poca sabbia

#### **Strato 3: da 8,00 m a 8,80 m**

Sabbia grigia e ghiaietto compatta

#### **Strato 4: da 8,80 m a 12,00 m**

Sabbie limose poco addensate con resti organici

#### **Strato 3: da 12,00m a 12,50 m**

Sabbie ghiaiose e argille compatte

#### **Strato 4: da 12,50 m a 15,00 m**

Argilla limosa mediamente compatta

#### **Strato 2 bis: da 15,00 m a 20,00 m**

Argilla limosa grigie molli

#### **Strato 3: da 20,00 m a 23,50 m**

Sabbia limosa ocre, compatta di media ed alta consistenza

#### **Strato 4: da 23,50 m a 25,80 m**

Limo argilloso debolmente sabbioso mediamente consistente

#### **Strato 2 bis: da 25,80 m a 26,30 m**

Limo argilloso grigi molli

**Strato 3: da 26,30 m a 27,00 m**

Sabbia debolmente limose mediamente consistenti

**Strato 2 bis: da 27,00 m a 27,80 m**

Limi argillosi grigi molli

**Strato 3: da 27,80 m a 30,00 m**

Sabbia mediamente consistente con ghiaia

## SONDAGGIO S2

**Strato 1: da 0,00 m a 1,40 m**

Terreno di riporto di natura eterogenea costituito da calcestruzzo e cemento

**Strato 1 bis : da 1,40 m a 3,30 m**

Terreno di riporto costituito da sabbia e ghiaia

**Strato 2: da 3,30 m a 7,50 m**

Argille limose organiche molli di colore grigio scuro con di alghe

**Strato 3: da 7,50 m a 8,70 m**

Sabbia limosa mediamente consistente con ghiaia e conchiglie

**Strato 2: da 8,70 m a 9,00 m**

Argille limose organiche molli di colore grigio scuro con alghe

**Strato 3: da 9,00 m a 13,50 m**

Sabbie fini limose con resti organici e livelli ghiaiosi

**Strato 4: da 13,50 m a 15,00 m**

Argille limose grigie mediamente consistenti

**Strato 2 bis: da 15,00 m a 20,50 m**

Argille limose grigie organiche molli

**Strato 4: da 20,50 m a 22,00 m**

Argille e sabbie ghiaiose grigie

**Strato 2 bis: da 22,00 m a 23,20 m**

Argille con ghiaia organiche molli

**Strato 3: da 23,20 m a 24,00 m**

Sabbie e limi grigi poco addensate

**Strato 2 bis: da 24,00 m a 26,80 m**

Argille limose organiche con lamellibranchi

**Strato 3: da 26,80 m a 30,00 m**

Sabbie ocra compatte con ghiaia e ciottoli



## SONDAGGIO S3

### **Strato 1: da 0,00 m a 2,00 m**

Terreno di riporto di natura eterogenea

### **Strato 4: da 2,00 m a 10,00 m**

Sabbie fini grigio azzurre

### **Strato 2: da 10,00 m a 14,00 m**

Limi argillosi di colore grigio scuro

### **Strato 3: da 14,00 m a 14,30 m**

Sabbie fini e ghiaietto

### **Strato 4: da 14,30 m a 16,80 m**

Sabbie fini limose

### **Strato 2 bis: da 16,80 m a 19,30 m**

Argille limose grigie organiche

### **Strato 3: da 19,30 m a 20,00 m**

Sabbia ocra compatta

Le stratigrafie dei terreni nei tre punti di sondaggio sono state correlate tra loro e si può notare che esiste una sostanziale uniformità stratigrafica nei vari punti di sondaggio, anche se alcuni strati si presentano sotto forma lenticolare e di conseguenza presentano potenza diversa nei vari punti di sondaggio.

Lo strato di terreni più consistenti, formato da sabbie limose abbastanza compatte si rinviene nei carotaggi S1 ed S3, posti in prossimità della vecchia linea di costa a profondità di circa 20 metri, mentre nel sondaggio S2, più avanzato rispetto alla linea di costa, tale strato si rinviene alla profondità di circa 27 metri. Nel corso dei sondaggi geognostici, eseguiti con tubo incamicciato, è stata rilevata la presenza di una falda acquifera in pressione nel sondaggio S1, alla quota di 20 -21 m dal piano campagna.

Tale falda presentava una risalita di circa 2,20 m sopra il piano campagna.

Nel sondaggio S2 è stata altresì rinvenuta una falda acquifera in pressione alla quota di circa 9m da p.c. ma con un gradiente decisamente inferiore rispetto alla falda sopradescritta.

Infatti questa falda acquifera si livellava ad una quota leggermente inferiore a piano campagna, la cui quota è + 0,50 rispetto al livello medio mare.

Possiamo affermare che il sondaggio denominato S2 è quello che meglio caratterizza lo specchio acqueo in cui verranno infissi la maggior parte dei pali necessari per la realizzazione del pontile a giorno. Il battente acqueo in tale area è mediamente 2,5 metri.

Si può notare che in questo sondaggio il 50% delle carote è costituito da argille limose organiche molli con scadenti caratteristiche geotecniche. Soltanto alla profondità di circa 27m affiora uno strato compatto con buone caratteristiche fisiche.



### 3.5.3.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione delle opere in progetto è stata ottenuta mediante esecuzione di prove penetrometriche dinamiche in foro, oltre che con confronto con analisi già effettuate nelle vicinanze su terreni simili.

I parametri geotecnici caratteristici, come accennato in fase di analisi, sono stati ricavati elaborando statisticamente i dati ed assumendo come parametro caratteristico quello corrispondente al frattile 5%.

I vari strati sono stati raggruppati in n.5 tipi geotecnici, indicati con i numeri 1; 2; 2bis; 3; 4. Tali numeri sono indicati nelle colonne stratigrafiche.

#### Parametri geotecnici caratteristici.

##### Tipo geotecnico 1 (strato n° 1) – Riporto eterogeneo.

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 38^\circ$

Coesione effettiva  $c' = 0$ ;

Peso di volume  $\gamma = 1,70 \text{ T/mc}$ ;

Modulo elastico  $E_{el} = 2000 \text{ T/mq}$ .

##### Tipo geotecnico 2 (strato n° 2) – Argille limose organiche

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 15^\circ$

Coesione effettiva  $c' = 0,5 \text{ T/mq}$ ;

Coesione non drenata  $C_u = 1,5 \text{ T/mq}$

Peso di volume  $\gamma = 1,70 \text{ T/mc}$

Modulo edometrico  $E_{ed} = 350 \text{ T/mq}$ .

##### Tipo geotecnico 2 bis (strato n° 2bis) – Argille limose

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 25^\circ$

Coesione effettiva  $c' = 1,5 \text{ T/mq}$

Peso di volume  $\gamma = 1,75 \text{ T/mc}$ ;

Coesione non drenata  $C_u = 3,0 \text{ T/mq}$

Modulo edometrico  $E_{ed} = 600 \text{ T/mq}$

##### Tipo geotecnico 3 (strato n° 3) – Sabbie limose

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 28^\circ$ ;

Coesione effettiva  $c' = 0,5 \text{ T/mq}$

Peso di volume  $\gamma = 1,85 \text{ T/mc}$ ;

Modulo elastico  $E_{el} = 3000 \text{ T/mq}$

##### Tipo geotecnico 4 (strato n° 4) – Argille sabbiose

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 22^\circ$ ;

Coesione effettiva  $c' = 1 \text{ T/mq}$

Peso di volume  $\gamma = 1,80 \text{ T/mc}$ ;

Modulo edometrico  $E_{ed} = 1000 \text{ T/mq}$



### 3.5.3.3 ANALISI SISMICA E PARAMETRI DI PROGETTO

Poiché le condizioni del sito di riferimento rigido non corrispondono, nel nostro caso, a quelle effettive, è necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera ed anche delle condizioni topografiche, poiché entrambi questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

Tali modifiche, in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, sono il risultato della risposta sismica locale.

#### Categoria di sottosuolo

Riguardo alla categoria dei terreni, il profilo stratigrafico dell'area di progetto determinato dalle indagini geognostiche eseguite risulta piuttosto eterogeneo.

La categoria compatibile dal punto di vista sismico risulta la D, cioè "Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30} < 180$  m/s (ovvero  $N_{spt} < 15$  nei terreni a grana grossa e  $C_u < 70$  kPa nei terreni a grana fine).

#### Categoria topografica

La topografia dell'area corrisponde alla categoria T1 "Superfici subpianeggianti, pendii con inclinazione media  $< 15^\circ$ ".

#### Liquefazione dei terreni

Si esclude la possibilità di liquefazione dei terreni in caso di sisma in quanto effettuando il calcolo con il metodo di Seed e Idriss si ottiene che il deposito non è liquefacibile.

#### Coefficienti sismici relativi alle fondazioni in progetto

Applicando software di calcolo adeguati (Geostru) si otterranno per SLD (fondazioni e stabilità dei pendii).

$$T_r = 50 \text{ anni } a_g = 0.050$$

$$F_o = 2.519$$

$$T_c = 0.244$$

I coefficienti sismici, sempre riferiti a SLD risultano: **Amplificazione stratigrafica  $S_s = 1.80$**

#### Amplificazione topografica $S_t = 1.00$

$$K_h = 0.018$$

$$K_v = 0.009$$

$$A_{max} = 0,882$$

$$\text{Beta} = 0.200$$

I parametri geotecnici di progetto (d) sono stati calcolati dividendo il parametro caratteristico (k) per un coefficiente parziale così individuato:

$$tg \phi' d = tg \phi' / 1.25;$$

$$c' d = c' / 1.25;$$

$$C_{ud} = C_u / 1.4;$$

$$\gamma d = \gamma / 1;$$

$$E_{ed} = E_{ed} / 1;$$

$$E_{eld} = E_{el} / 1.$$

#### Parametri geotecnici di progetto:

Tipo geotecnico 1 (strato n° 1) – Ripporto eterogeneo.

Angolo di attrito effettivo  $\phi' d = 32^\circ$ ;

Coesione effettiva  $c' d = 0$ ;

Peso di volume  $\gamma d = 1,70$  T/mc;

Modulo elastico  $E_{eld} = 2000$  T/mq.



Tipo geotecnico 2 (strato n° 2) – Argille limose organiche

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 12^\circ$

Coesione effettiva  $c' = 0,4 \text{ T/mq}$ ;

Coesione non drenata  $C_u = 1,07 \text{ T/mq}$

Peso di volume  $\gamma = 1,70 \text{ T/mc}$

Modulo edometrico  $E_{ed} = 350 \text{ T/mq}$ .

Tipo geotecnico 2 bis (strato n° 2bis) – Argille limose

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 20^\circ$

Coesione effettiva  $c' = 1,2 \text{ T/mq}$

Peso di volume  $\gamma = 1,75 \text{ T/mc}$ ;

Coesione non drenata  $C_u = 2,1 \text{ T/mq}$

Modulo edometrico  $E_{ed} = 600 \text{ T/mq}$

Tipo geotecnico 3 (strato n° 3) – Sabbie limose

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 23^\circ$ ;

Coesione effettiva  $c' = 0,4 \text{ T/mq}$

Peso di volume  $\gamma = 1,85 \text{ T/mc}$ ;

Modulo elastico  $E_{dl} = 3000 \text{ T/mq}$

Tipo geotecnico 4 (strato n° 4) – Argille sabbiose

Angolo di attrito effettivo  $\phi' = 18^\circ$ ;

Coesione effettiva  $c' = 0,8 \text{ T/mq}$

Peso di volume  $\gamma = 1,80 \text{ T/mc}$ ;

Modulo edometrico  $E_{ed} = 1000 \text{ T/mq}$

#### 3.5.3.4 CONCLUSIONI

La zona in esame è al di fuori delle aree a rischio geomorfologico e idraulico individuate dall'Autorità di Bacino ed anche per quanto riguarda le Norme di PUC ricade in un'area con media suscettività geologica.

L'indagine geologica e geognostica ha verificato che i terreni superficiali sono costituiti da depositi sciolti eterogenei attribuibili alla deposizione dei torrenti ancora attivi.

Al di sotto si rinvencono depositi di palespiaggia, ed in profondità depositi argillosi/sabbiosi abbastanza compatti.

Le caratteristiche geotecniche piuttosto scadenti dei depositi superficiali migliorano con la profondità dove si rinvencono depositi argillosi/sabbiosi più compatti.

La profondità di tale deposito più compatto varia da una profondità minima nella zona verso monte (sondaggi S1 ed S2) di circa 20 metri, ad una profondità massima di 27 metri verso la parte più esterna dello specchio d'acqua.

Nella zona in cui è previsto il banchinamento a giorno, la profondità dello strato più compatto dovrebbe variare tra i 24 m ed i 27 metri rispetto al piano della banchina esistente.



E' necessario ricordare che nell'area sono state rinvenute falde acquifere in pressione con gradienti diversi, descritte ai paragrafi precedenti, che in alcuni punti verranno intercettate durante la perforazione dei pali.

Alla zona in esame, in base alle caratteristiche geologiche e geotecniche è stata attribuita la categoria sismica di sottosuolo D ed in base ad essa sono stati calcolati i parametri sismici.