



**LA SPEZIA
CONTAINER TERMINAL**



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



**PORTO DI LA SPEZIA
AMPLIAMENTO TERMINAL RAVANO**

PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE GEOLOGICA

CODICE ELABORATO

21 08 PE R101 00

Rev.	Data	Causale
0	05/05/2023	Emissione finale per verificatore
1		
2		
3		

IL COMMITTENTE



LSCT S.p.a.
Viale San Bartolomeo, 20
19126 - La Spezia (SP)
C.F.00072960115 - P.IVA 00859620114

IL PROGETTISTA



Modimar Project S.r.l.
Via Asmara, 72 - 00199 Roma (RM)
P. IVA 16016151009



GES - Geotechnical Engineering Service S.r.l.
Via Sandro Totti, 7/A - 60131 Ancona (AN)
P. IVA 02528430420



GeoEquipe - Studio Tecnico Associato
Via Sandro Pertini, 55 - 62029 Tolentino (MC)
P. IVA 00817500432

Dimensioni foglio:

A4

Redatto:

Vita

Controllato:

Sanzone

Approvato:

Tartaglini

Note:



SOMMARIO

1	PREMESSA E OBIETTIVI	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
3	METODOLOGIA DI INDAGINE	4
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
5	GEOLOGIA	6
5.1	INQUADRAMENTO	6
5.2	STRATIGRAFIA LOCALE.....	10
6	GEOMORFOLOGIA	12
7	IDROLOGIA E RISCHIO IDRAULICO.....	15
8	IDROGEOLOGIA	19
8.1	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	19
8.2	PERMEABILITÀ DEI TERRENI INVESTIGATI DA PROVE DI LABORATORIO	21
8.3	LIVELLI PIEZOMETRICI	24
9	INDAGINI	27
10	STRATIGRAFIA E MODELLO GEOLOGICO	29
11	SISMICA.....	32
11.1	SISMICITA' STORICA E SORGENTI SIMOGENETICHE	32
11.2	PERICOLOSITÀ SISMICA.....	36
11.3	STUDI SISMICI RECENTI – MICROZONAZIONE SISMICA	39
11.4	MACROZONAZIONE SISMICA E AZIONI SISMICHE DI PROGETTO (NTC 2018)	40

Riferimento elaborati:

21_08_PE_R102_0:	Indagini geognostiche e geotecniche in sito
21_08_PE_R103_0:	Indagini geofisiche
21_08_PE_R104_0:	Prove geotecniche di laboratorio
21_08_PE_TQ01_0:	Planimetria ubicazione indagini geotecniche e sismiche e tracce sezioni stratigrafiche
21_08_PE_TQ02_0:	Sezioni stratigrafiche – Modello geologico
21_08_PE_TQ03_0:	Carta delle isobate della base dei depositi marini attuali e recenti (unità A)
21_08_PE_TQ04_0:	Carta delle isopache dei depositi marini attuali e recenti (unità A)
21_08_PE_TQ05_0:	Carta delle isobate del tetto dei depositi continentali prevalentemente sabbioso-ghiaiosi (unità D)

1 PREMESSA E OBIETTIVI

La presente relazione geologica è stata redatta al fine di elaborare il modello geologico dell'area di intervento, come supporto al progetto esecutivo dei lavori per la realizzazione del nuovo Terminal Ravano nell'area demaniale marittima del Porto di La Spezia (Fig. 1). Il presente studio ha lo scopo di fornire al Progettista, limitatamente agli aspetti geologici e sismici, tutti i dati qualitativi e quantitativi occorrenti per il progetto ed il controllo del comportamento delle opere in rapporto alle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche dell'area di intervento.

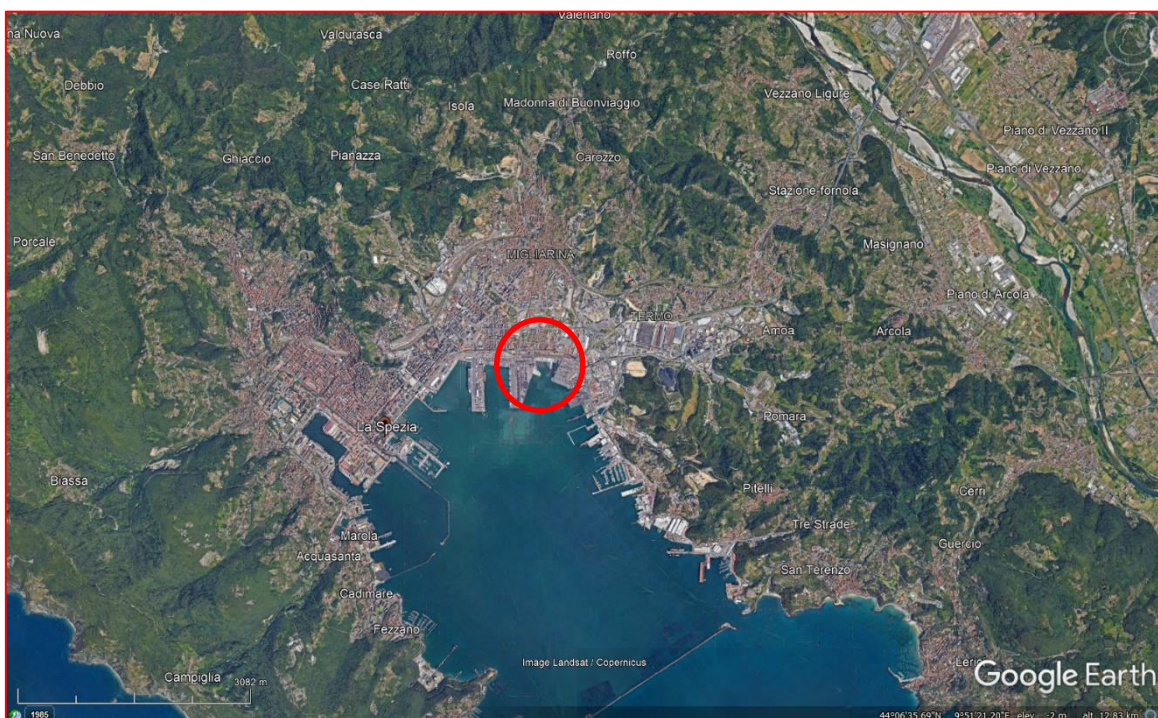


Figura 1.1 – Corografia generale

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

Normativa Nazionale

- D.M. Infrastrutture del 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” (Suppl. Ord. alla G.U. 20-02-2018, n.42);
- Circolare del 21 gennaio 2019 n.7 C.S.LL.PP “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27/07/2007;
- O.P.C.M. n. 3519/2006 (Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche per l’aggiornamento e degli elenchi delle medesime zone);
- DECRETO MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI 11 MARZO 1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;

Normativa regionale:

- L.R. 22 gennaio 1999, n.4.
- L.R. 28 dicembre 2009 n.63 Norme in materia di foreste e di assetto idrogeologico.
- DGR n.1362 del 19 novembre 2010.

Normativa Comunale

- Piano Urbanistico Comune di La Spezia

Vincoli sovraordinati

- Piano di Assetto idrogeologico del Bacino Fiume Magra (aggiornamento Settembre 2020).

	<p style="text-align: center;">NUOVO TERMINAL RAVANO PORTO DI LA SPEZIA</p>	<p style="text-align: right;">Progetto Esecutivo</p>
--	---	--

3 METODOLOGIA DI INDAGINE

Le indagini sono state così articolate:

- inquadramento generale dell'area nel contesto geologico-stratigrafico e strutturale sulla base degli studi e delle pubblicazioni scientifiche attualmente disponibili;
- reperimento ed analisi dei dati esistenti a carattere geologico-stratigrafico e geotecnico derivanti da precedenti indagini;
- verifica ed analisi critica delle eventuali interferenze con gli strumenti di pianificazione territoriale vigenti (P.U.C., P.A.I., ecc.).
- rilevamento in sito dei principali elementi geologici, geomorfologici, idrologici ed idrogeologici che caratterizzano l'area di intervento ed un suo intorno significativo;
- esecuzione di indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni;
- indagini sismiche e caratterizzazione del sito in prospettiva sismica;
- ricostruzione del locale assetto stratigrafico e del modello geologico preliminare di riferimento per il sito in questione;
- analisi e sintesi di tutti i dati raccolti e stesura della relazione esplicativa e dei relativi elaborati grafici.

Come basi cartografiche sono state utilizzate le cartografie fornite dal Progettista.

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area di intervento è ubicata all'interno del porto mercantile di La Spezia (ambito 6), ed interessa in particolare il terminal Ravano e l'attuale area diportistica di Marina del Canaletto, quest'ultima compresa tra il terminal stesso ed il molo Fornelli (Fig. 4.1).



Figura 4.1 – Ubicazione dell'area di intervento

5 GEOLOGIA

5.1 INQUADRAMENTO

La pianura costiera urbanizzata del Golfo della Spezia costituisce una profonda insenatura che rappresenta la porzione sommersa di una depressione morfologica a controllo strutturale, parallela al tratto terminale della Val di Magra, condizionata dalla presenza di due faglie principali ad andamento NO-SE, quella della Spezia ad Ovest (FdSP) e quella del F. Magra ad Est (Fig. 5.1.1).

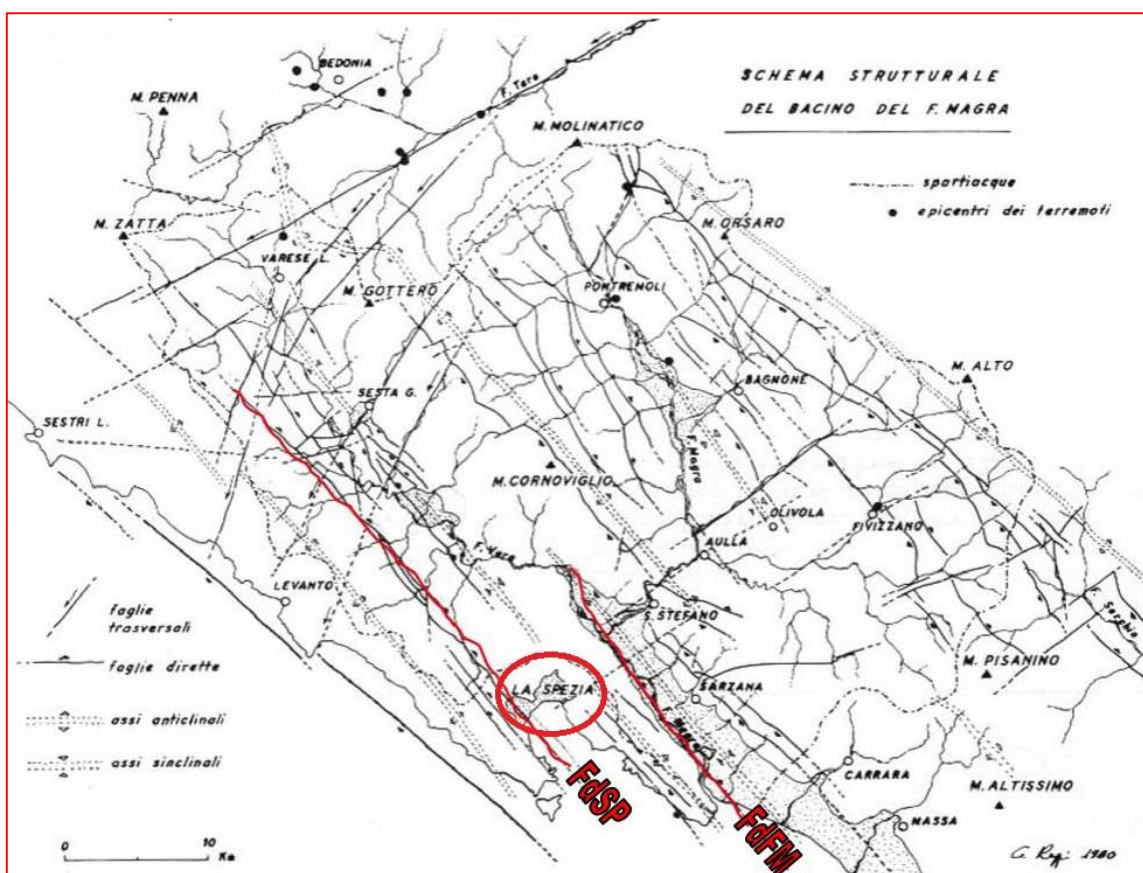


Figura 5.1.1 – Schema tettonico (tratto da Raggi, 1984-86)

Tale depressione corrisponde ad una struttura sinclinalica originatasi durante le fasi compressive dell'orogenesi appenninica cretatico-eocenica; a quest'ultima sono seguite le fasi distensive nel Miocene medio, con formazione dei bacini intermontani, e nel Pliocene medio-superiore con strutture a Horst e Graben condizionate, come sopra detto, da faglie in direzione nord ovest–sud est (Figg. 5.1.2 – 5.1.3).

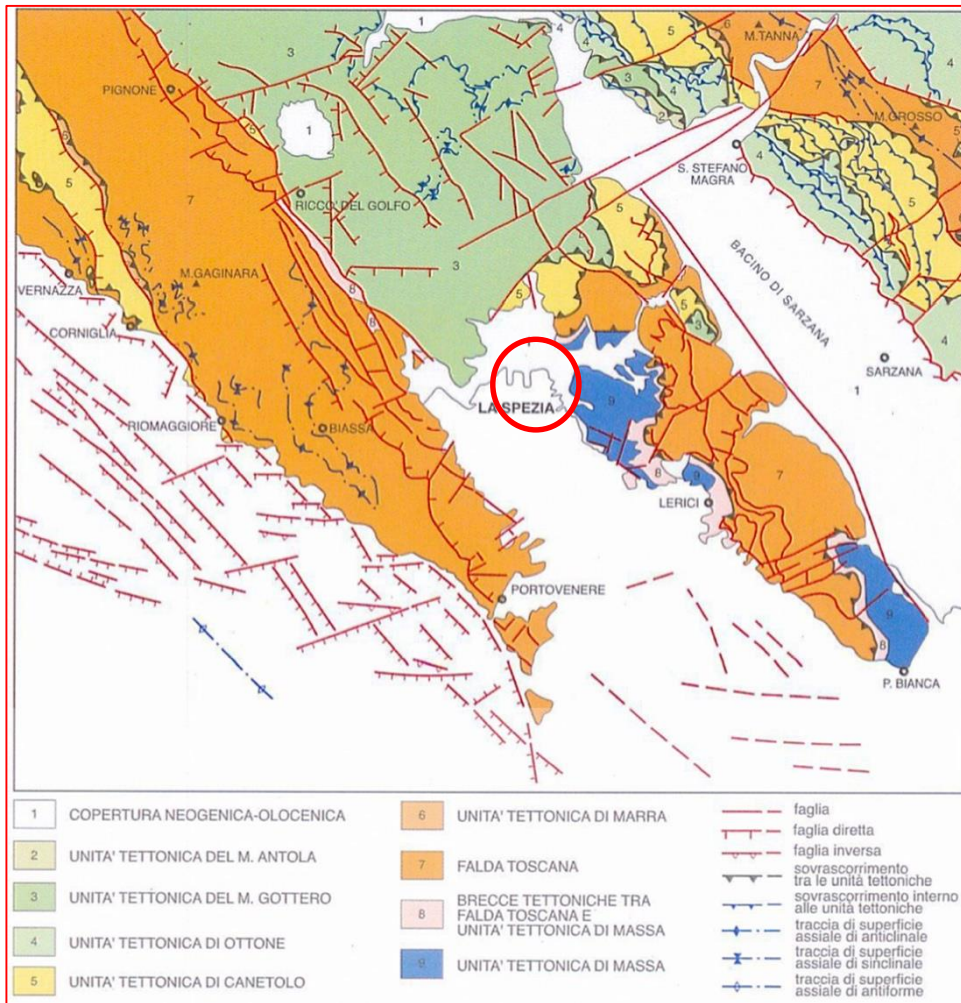


Figura 5.1.2 – Schema geologico-strutturale dell'area del Golfo di La Spezia (stralcio CARG)

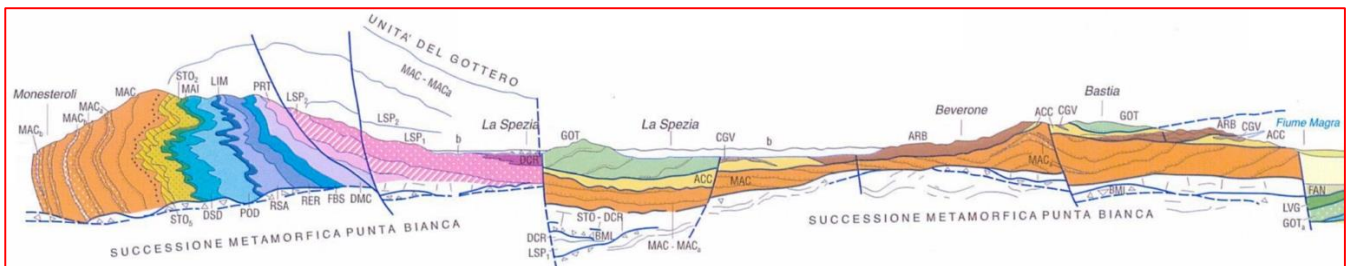


Figura 5.1.3 – Sezione trasversale al Golfo della Spezia lungo la direttrice Monesteroli (sudovest) - Vezzano Ligure (nordest) – Val di Magra (ISPRA, Carta Geol. d'Italia F. 248 – La Spezia)

Tali aree sono state interessate da deposizione di sedimenti in prevalenza ghiaioso-sabbioso-argillosi, di natura sia continentale, fluvio-lacustre, che marina.

Le strutture morfologiche in elevazione rappresentano, invece, il culmine delle varie anticlinali e dei sovrascorrimenti che caratterizzano il territorio dello spezzino.

La struttura e l'assetto attuale delle varie unità tettoniche sono il risultato, quindi, di una complessa storia deformativa iniziata nel Cretaceo superiore in seguito alla convergenza dei margini dell'Oceano Ligure-piemontese.

Si riporta di seguito un inquadramento geologico dell'area di studio (CARG – Foglio 248 La Spezia – Figg. 5.1.4/5.1.5).

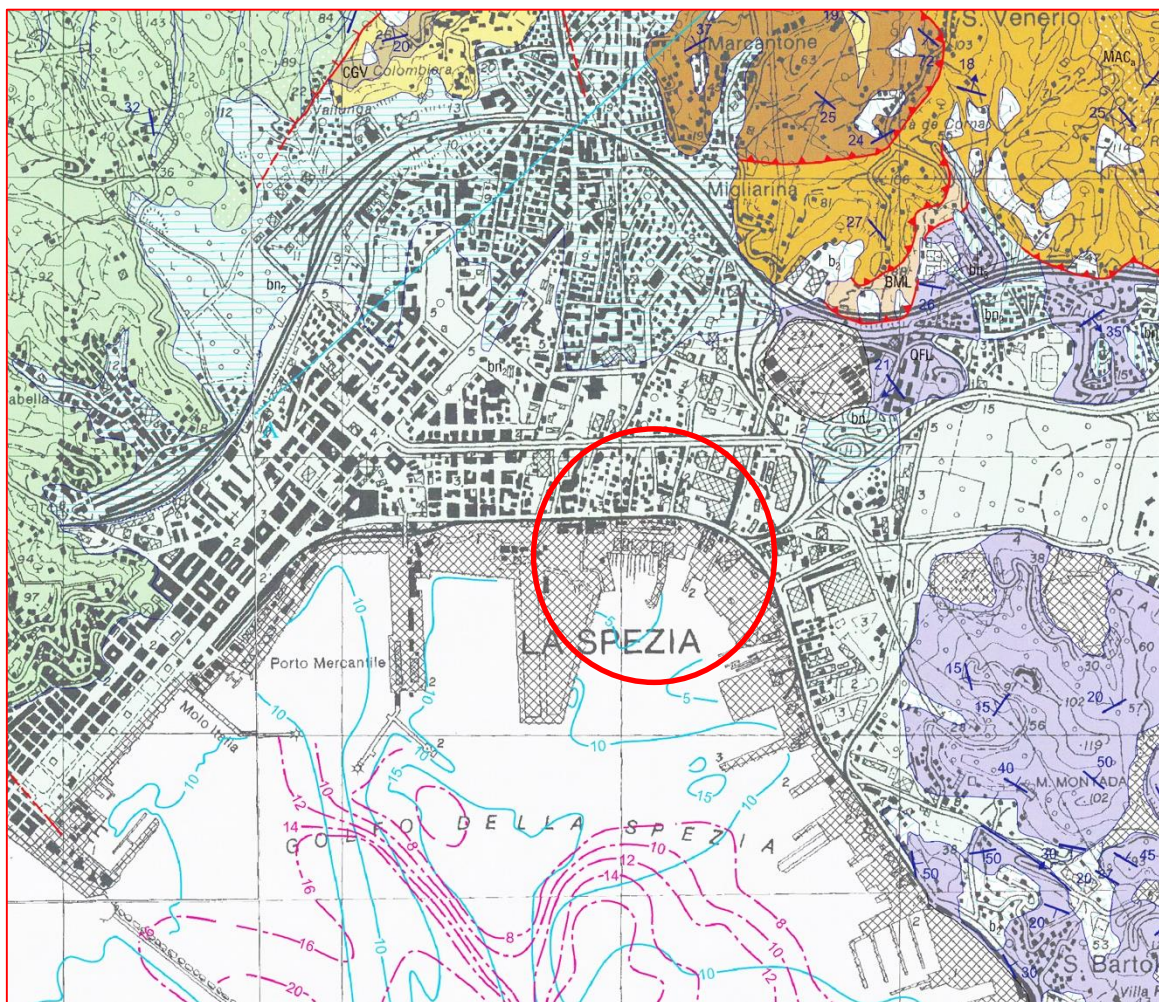


Figura 5.1.4 – Inquadramento geologico generale (CARG – Foglio 248 La Spezia)

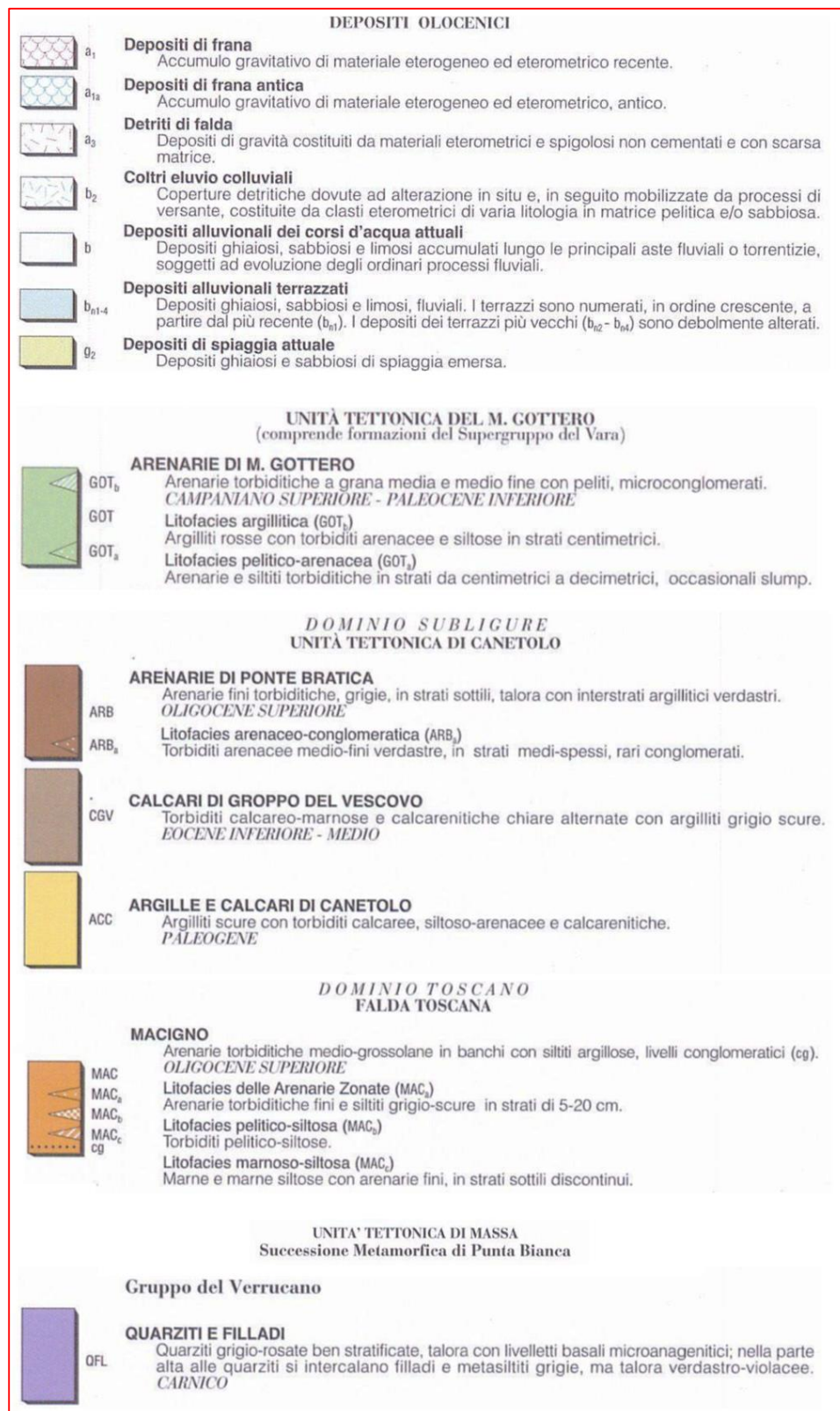


Figura 5.1.5 – Inquadramento geologico generale - Legenda (CARG – Foglio 248 La Spezia)

I terreni superficiali sono di origine prevalentemente alluvionale di età quaternaria (bn), poggianti su un substrato triassico, presumibilmente costituito localmente dalle Quarziti e Filladi (QFL) appartenenti all'unità tettonica di Massa. Lo spessore del deposito quaternario risulta molto variabile da zona a zona e comunque sempre maggiore in asse al golfo e crescente in direzione mare. La natura litologica dei terreni è condizionata dall'ambiente di sedimentazione e, pertanto, influenzata dalle ingressioni e regressioni marine per effetto delle oscillazioni climatiche legate ai cicli glaciali e post-glaciali.

5.2 STRATIGRAFIA LOCALE

Nell'area oggetto di indagine sono presenti le unità stratigrafiche del sistema deposizionale del Golfo di La Spezia. La carta geologica del PUC (Fig. 5.2.1) indica la presenza di depositi quaternari, sia di prevalente origine marina (DM), che fluvio-lacustre (DL), oltre a terreni di riporto di varia natura messi in posto per la realizzazione delle banchine portuali.

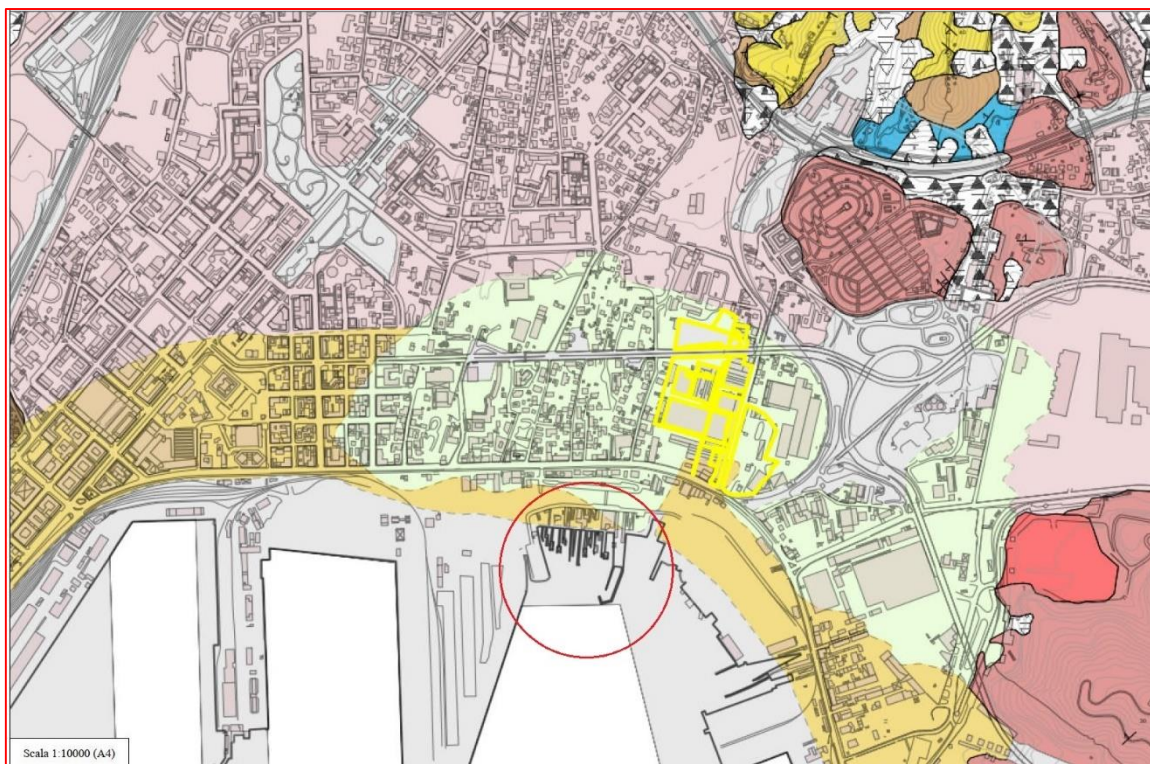


Figura 5.2.1 – Stralcio Carta Geologica in scala 1:10.000 (PUC La Spezia)



NUOVO TERMINAL RAVANO
PORTO DI LA SPEZIA

Progetto Esecutivo

ZONA MILITARE	Materiale di riporto	Discarica (AD)
Area stoccaggio carbone e ceneri ENEL	Ravaneti di cava	Coperture detritiche da massi a sabbie (spessore da 1,50 a 3,00)
Coperture detritiche da massi a sabbie (spessore da 3,00 a 5,00)	Coperture detritiche da massi a sabbie (spessore >5,00)	Coperture detritiche da ciottoli ad argille (spessore da 1,50 a 3,00)
Coperture detritiche da ciottoli ad argille (spessore da 3,00 a 5,00)	Coperture detritiche da ciottoli ad argille (spessore >5,00)	Depositi di origine prevalentemente fluviale depositi a granulometria variabile da ghiaia ad argilla (DF) - Quaternario
Depositi di origine prevalentemente lacustre depositi prevalentemente limo-sabbioso argillosi con frequenti livelli torbosi. Presenti resti fossili e vegetali (DL) - Quaternario	Depositi di origine prevalentemente marina depositi prevalentemente sabbiosi con frazioni argillose e limose subordinate a scarsi ciottoli subarrotondati. Presenti resti fossili e vegetali (DM) - Quaternario	Conoidi fluviali
Arenaria del Monte Gottero alternanze turbiditiche di arenarie argilliti e marne siliose (arG) - Senoniano - Paleocene	Arenaria del Monte Gottero su Materiale di riporto	Arenaria del Bratica alternanze di siltiti e argilliti grigio scure, talora alternate con straterelli di calcarenite a grana molto fine/ArBa
Arenaria del Bratica alternanze di arenarie calcaree leggermente micacee gradate grige e di siltiti con livelli subordinati di argilliti grigio scure/arBs	Depositi continentali terrigeni del Trias medio (Verrucano) porzione inferiore costituita da anageniti (con ciottoli di quarzo bianco, rosa e nero, di quarziti e probanili porfiroidi) Porzione mediana con quarziti prevalenti sulle filladi e sulle anageniti. Porzione superiore costituita soprattutto da scisti e quarziti (VR) - Trias	Scisti policromi (scaglia rossa) argilliti rosse con intercalazioni di brecciole calcaree gradate (SP) - Cretaceo sup. - Focene
Calcare maiolica calcari e calcari litografici talvolta selciferi di colore bianco a frattura concoidale (MAC) - Titoniano sup? - Neocomiano/Barremiano	Diaspri depositi silicei e radiolari (radiolariti) in strati di spessore centimetrico a frattura prismatica ortogonale alla stratificazione, di colore variabile da rosso chiaro al rosso, violetto verdastro e grigio (D) - Malm	Marne a Posidonia marne grigio verdastre talvolta a livelli calcarenitici nelle sequenze piA'jA' potenti (GM9 - Dogger
Calcarei selciferi calcari grigio scuri, stratificati, con selci nere (GS) - Lias sup.	Calcare Ammonitico micrite nodulare rossa, ricca di enatite, piA'jA' raramente grigio chiara o nocciola (GC) - Lias inf. medio	Calcarei ad angulati calcari e calcari marnosi grigio scuri, stratificati, talvolta selciferi con marne. Nella parte inferiore calcari dolomitici in grosse bancate (GCML) - Lias inf.
Calcarei massicci calcari bianchi molto cristallini con scarsa stratificazione. Presentano talvolta livelli oolitici (GCM) - Lias inf.	Calcarei e marne rhaeta vicula contorta calcari e calcari dolomitici alternanti a sottili strati di marne grigie e nerastre. Sono presenti strati dolomitici e calcari organogeni a lumachelle (TC) - Norico	Calcare cavernoso calcari a cellette derivanti da una serie anidritico-dolomitica successivamente idrata per effetto delle acque percolanti con conseguente frammentazione delle dolomie e parziale ricristallizzazione in calcite con formazione delle caratteristiche cellette (TCV) - Norico
Arenaria macigno arenarie turbiditiche a grana media prevalenti. Arenarie zonate verso l'alto Rare siltiti e marne/MGS	Arenaria macigno alla base livello discontinuo di argilloscisti siltosi/MGA	Arenaria macigno livello conglomeratico costituito da ciottoli di rocce prevalentemente magmatiche/K

Figura 5.2.2 – Legenda Carta Geologica in scala 1:10.000 (PUC La Spezia)

I depositi marini sono per lo più costituiti da limi argillosi e sabbie di colore grigio-marrone con numerosi gusci di lamellibranchi e ghiaie sparse, con intercalazioni di argille molli con elevato contenuto organico e livelli di torba.

I depositi fluvio-lacustri sono costituiti da argille, limi e sabbie e, secondariamente, da lenti di ciottolami sabbiosi da sub angolosi ad arrotondati deposti nelle facies di canale.

Superficialmente sono poi presenti diffusamente i terreni di riporto, localmente di spessore considerevole, connessi all'antropizzazione dell'area con particolare riguardo alle colmate per la formazione delle strutture portuali.

6 GEOMORFOLOGIA

Si riporta di seguito un inquadramento geomorfologico dell'area di intervento tratto dal PUC del Comune di La Spezia (Fig. 6.1).

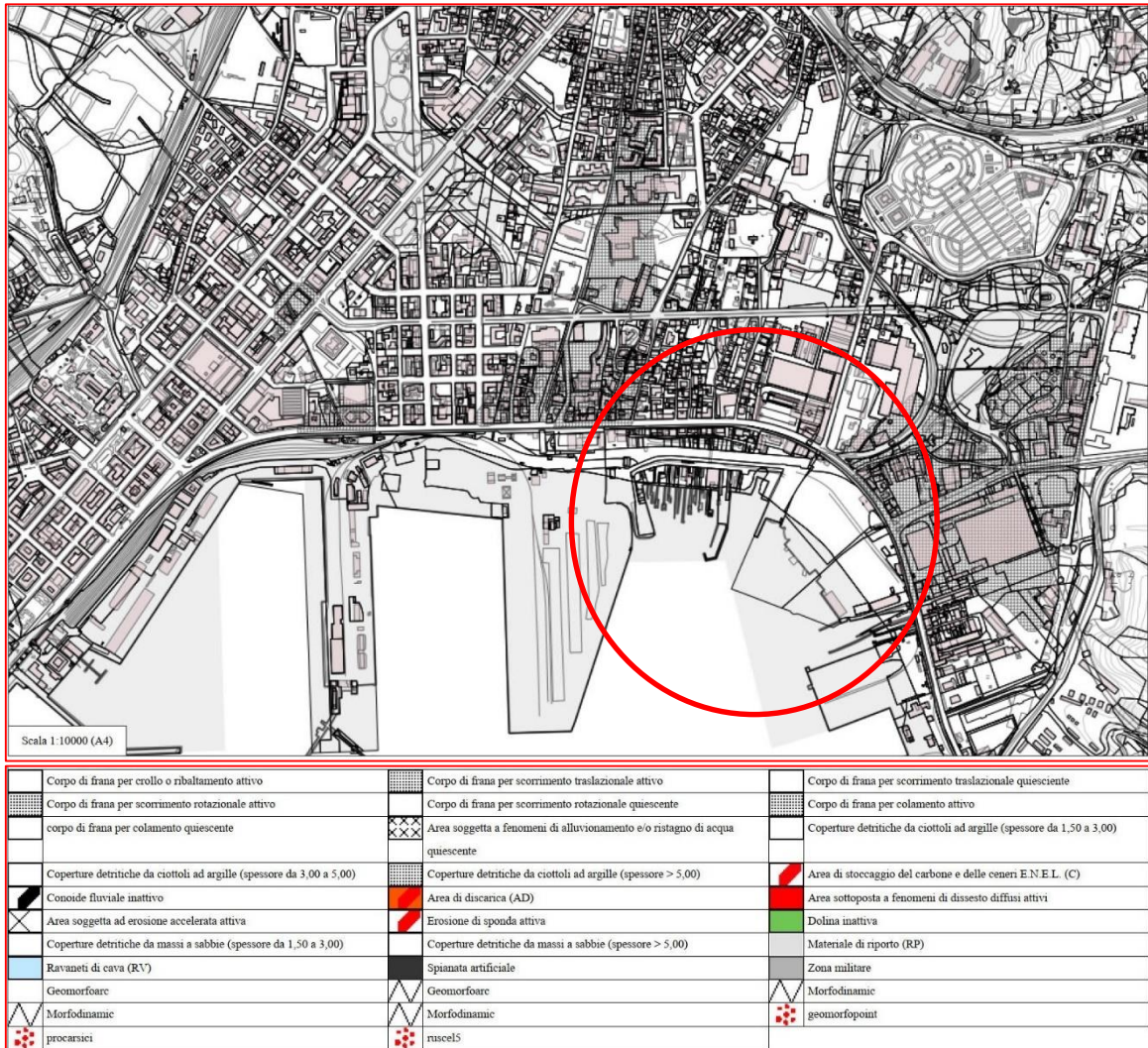


Figura 6.1 – Stralcio Carta Geomorfologica in scala 1:10.000 (PUC La Spezia)

La piana costiera del golfo di La Spezia si presenta nel complesso subpianeggiante o debolmente acclive, raccordandosi ai rilievi circostanti in modo piuttosto brusco e repentino. Dal punto di vista geomorfologico nell'area di intervento ed in un suo intorno significativo non si rilevano indizi di instabilità riconducibili a forme, depositi e processi morfogenetici legati all'azione della gravità. Con riferimento al PAI l'area di intervento è classificata a "Rischio Geomorfologico molto basso – Rg0" ed a "Susceptività al Dissesto molto bassa - Pg0" (Figg. 6.2 – 6.3).

Per quanto riguarda invece la morfogenesi legata all'azione delle acque correnti superficiali ed all'azione marina, è stata in gran parte obliterata dall'intensa trasformazione antropica dell'area.

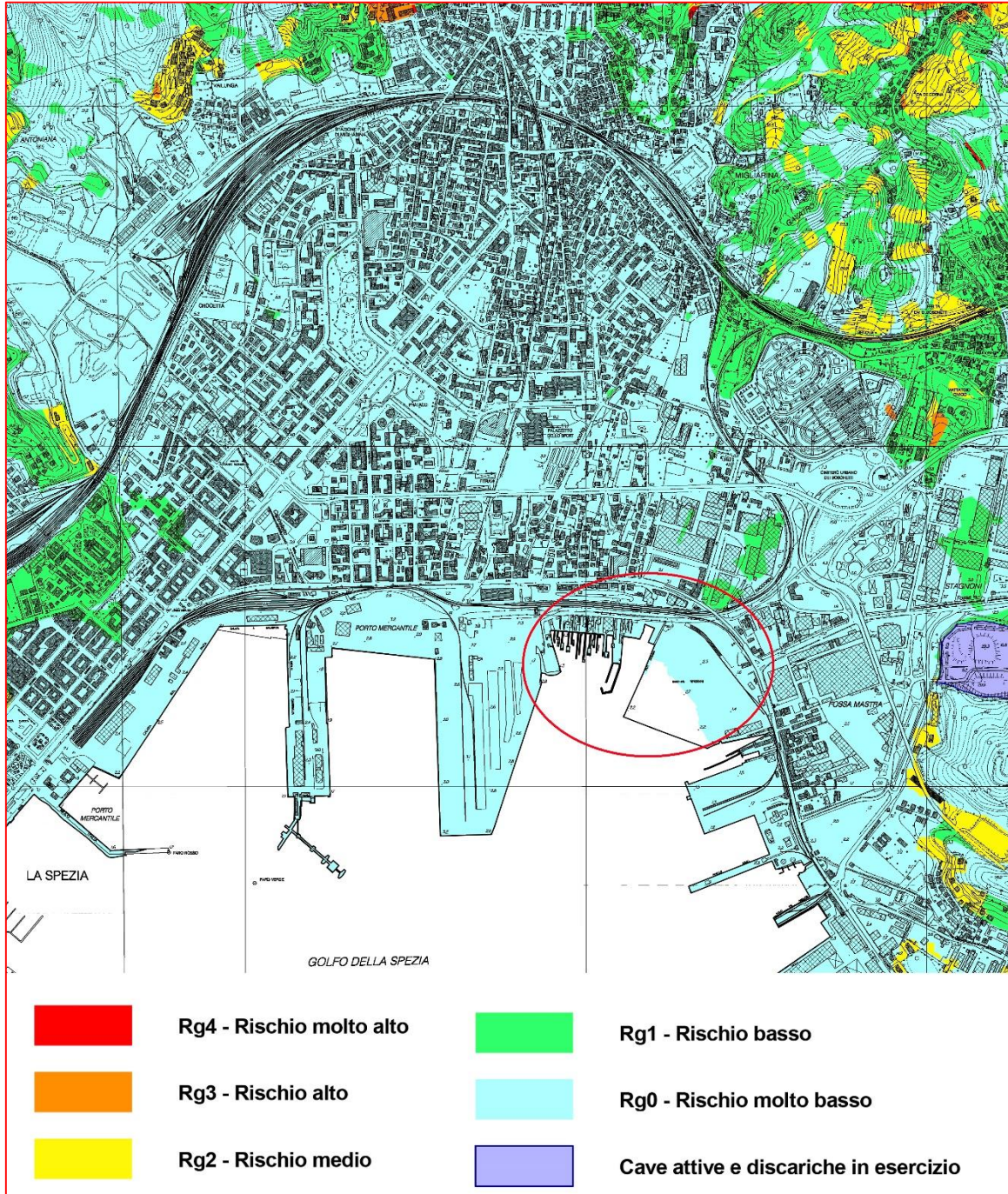


Figura 6.2 – Stralcio Carta del Rischio Geomorfologico (PAI – Ambito 20)

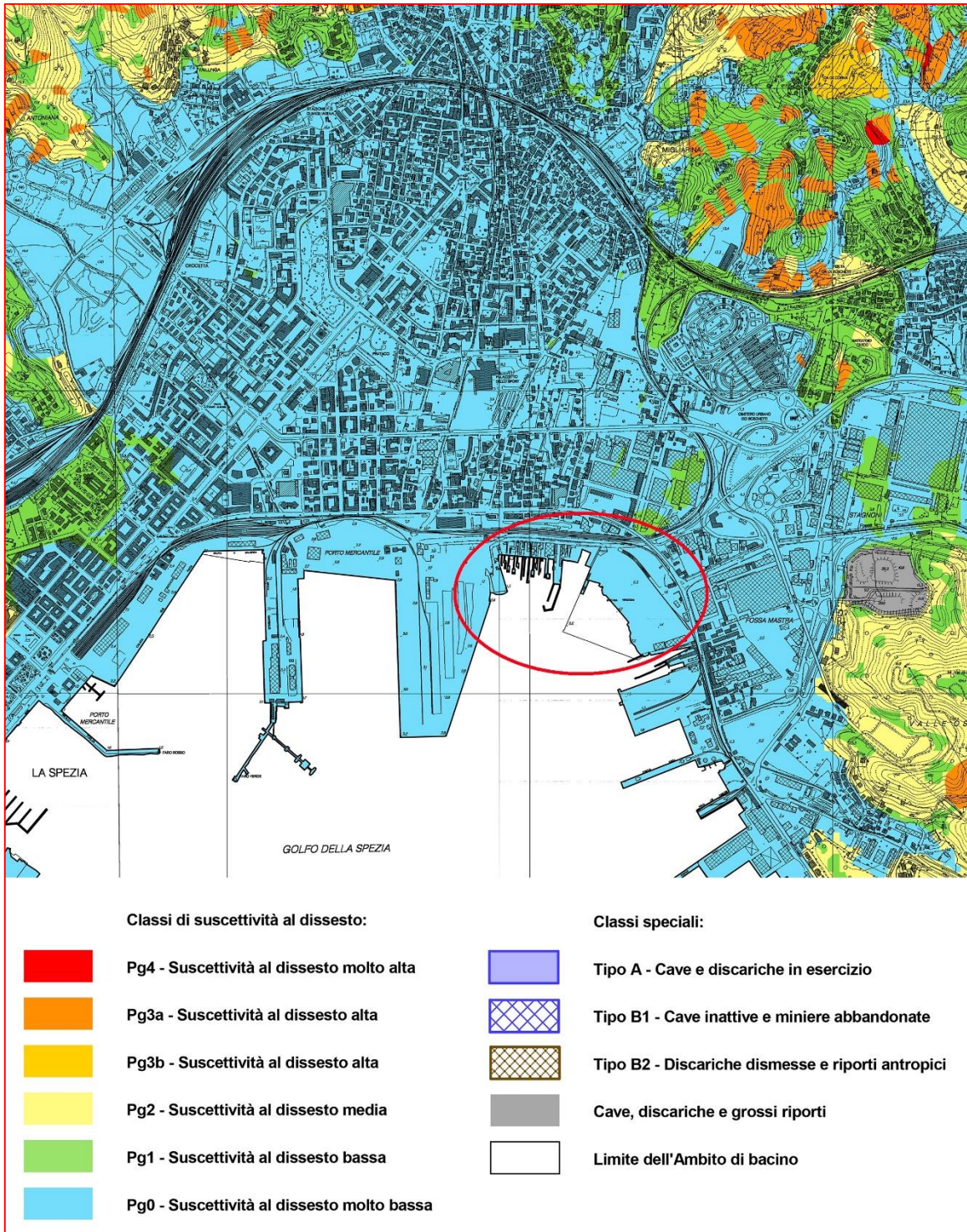


Figura 6.3 – Stralcio Carta della Suscettività al dissesto (PAI – Ambito 20)

7 IDROLOGIA E RISCHIO IDRAULICO

Per quanto riguarda il reticolo idrografico, la zona del porto, come gran parte della piana costiera circostante è stata oggetto nel tempo di una intensa urbanizzazione con realizzazione di riempimenti per la formazione dell'edificato, delle strutture portuali e degli importanti assi viari connessi (autostrada, ferrovia, ecc..). Tale trasformazione ha fortemente interessato anche il reticolo idrografico che è stato "condizionato" con diffuse opere di regimazione superficiale (canali) e tombamenti.

Nell'area in oggetto confluiscono le acque canalizzate di 4 bacini idrografici, che, da ovest verso est, sono:

- A. Torrente Nuova Dorgia;
- B. Torrente Vecchia Dorgia;
- C. Fosso Melara;
- D. Canale Fossamastra.

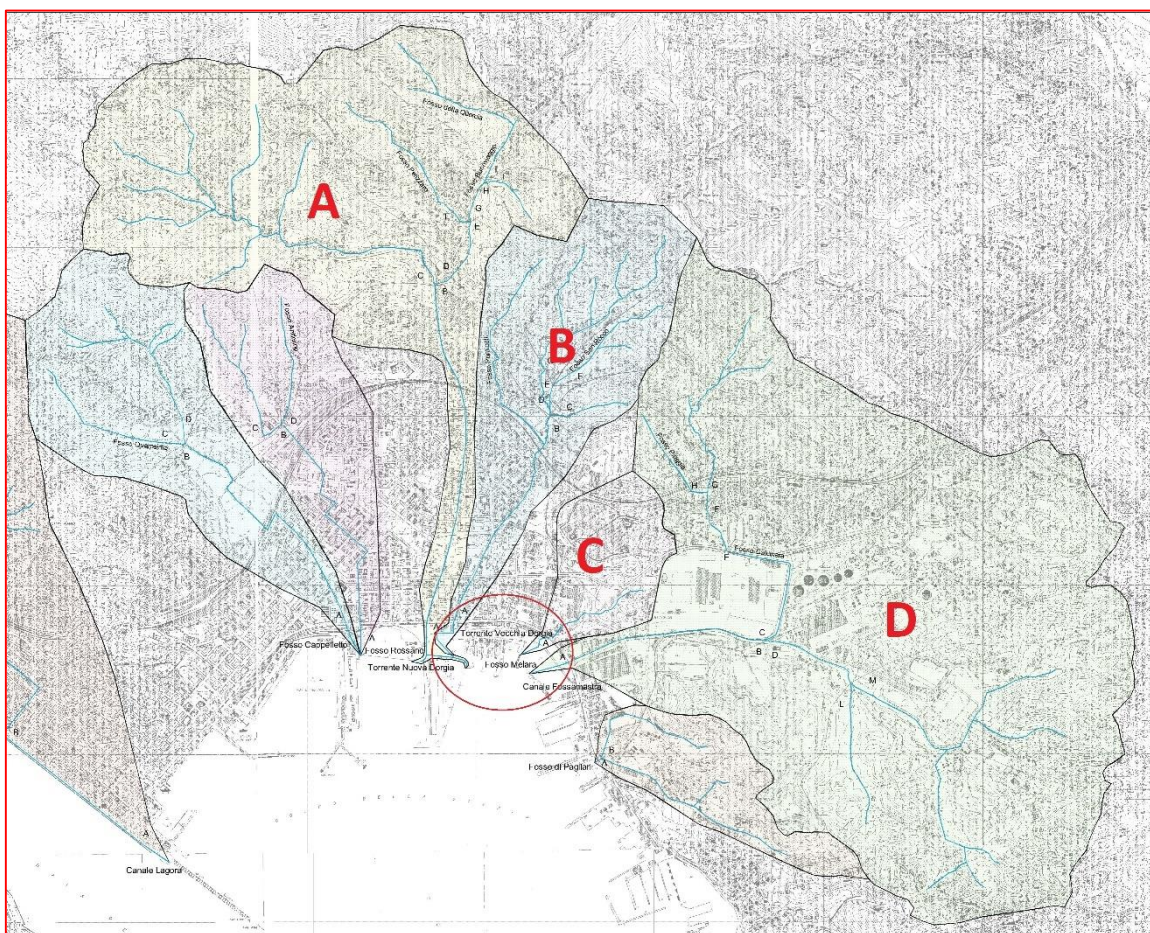


Figura 7.1 – Stralcio del Reticolo Idrografico principale (PAI – Ambito 20)

Nelle Tabb. 7.1 e 7.2 sono riportati, per ciascun corso d'acqua e per ciascuna sezione di chiusura, i valori di portata per diversi tempi di ritorno, unitamente ai valori della superficie del bacino sotteso e del corrispondente tempo di corrivazione. I valori evidenziati si riferiscono alle sezioni di chiusura allo sbocco a mare.

Torrente Vecchia Dorgia

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]
T. Vecchia Dorgia	A	1.64	45	27.7	28.9	32.2	41.8	35.0	50.3
T. Vecchia Dorgia	B	0.93	20	21.4	16.4	24.6	23.7	26.6	28.5
F. Gavatro	C	0.12	10	3.6	2.1	4.1	3.1	4.4	3.7
T. Vecchia Dorgia	D	0.81	20	18.6	14.3	21.4	20.7	23.1	24.9
T. Vecchia Dorgia	E	0.71	20	16.3	12.5	18.8	18.1	20.3	21.8
F. Ponticelli	F	0.21	15	5.4	3.7	6.2	5.4	6.7	6.4
T. Vecchia Dorgia	G	0.50	20	11.5	8.8	13.2	12.8	14.3	15.3

Torrente Nuova Dorgia

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]
T. Nuova Dorgia	A	4.05	75	52.0	49.0	60.7	70.9	66.1	85.3
T. Nuova Dorgia	B	3.39	45	57.2	42.2	66.5	61.1	72.3	73.5
T. Nuova Dorgia	C	1.95	45	32.9	26.4	38.3	38.2	41.6	46.0
Fosso Buonviaggio	D	1.44	20	30.4	19.0	35.1	27.5	38.0	33.1
Fosso Buonviaggio	E	1.26	10	29.0	16.6	33.3	24.1	36.0	28.9
Fosso Pellizzaro	F	0.53	25	11.2	7.0	12.9	10.1	14.0	12.2
Fosso Buonviaggio	G	0.73	10	18.8	9.6	21.5	13.9	23.1	16.8
Fosso della Quercia	H	0.66	10	17.0	8.7	19.4	12.6	20.9	15.2
Affl. F.Buonviaggio	I	0.19	10	5.7	2.5	6.5	3.6	7.0	4.4
Fosso Buonviaggio	L	0.47	10	12.1	6.2	13.8	9.0	14.9	10.8

Tabella 7.1 – Tabella tratta da “Relazione Generale e Piano degli Interventi” (PAI – Ambito 20)

Canale Fossamastra

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]
C. Fossamastra	A	7.67	60	115.9	91.5	135.3	132.3	147.5	159.2
C. Fossamastra	B	6.63	45	111.8	81.2	130.1	117.4	141.4	141.3
Fosso Calcinara	C	1.29	35	26.9	17.4	30.9	25.2	33.4	30.3
C. Fossamastra	D	5.34	45	90.1	67.9	104.8	98.2	113.9	118.1
Fosso Calcinara	E	1.07	20	24.6	14.4	28.3	20.9	30.6	25.1
Fosso Calcinara	F	0.85	20	19.6	11.5	22.5	16.6	24.3	19.9
Fosso Calcinara	G	0.70	20	16.1	9.4	18.5	13.6	20.0	16.4
Fosso di Piaggia	H	0.15	15	3.9	2.0	4.4	2.9	4.8	3.5
C. Fossamastra	I	2.55	30	50.2	36.5	58.1	52.8	63.0	63.6
C. Fossamastra	L	0.41	20	9.4	5.5	10.8	8.0	11.7	9.6
C. Fossamastra	M	2.14	30	42.2	31.5	48.7	45.5	52.8	54.8

Fosso Melara

Corso d'acqua	Sezioni	Area [km ²]	t _c [min]	T=50		T=200		T=500	
				Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]	Metodo Razionale [m ³ /s]	Metodo CIMA modificato [m ³ /s]
Fosso Melara	A	0.54	10	16.2	13.1	18.4	18.9	19.8	22.8

Tabella 7.2 – Tabella tratta da “Relazione Generale e Piano degli Interventi” (PAI – Ambito 20)

Con riferimento al PAI, l’attuale area del Terminal Ravano ricade parzialmente nella “Fascia A” di inondabilità e nel “Rischio Idraulico molto alto – R4 per la presenza dell’immissione in mare del Fosso Fossamastra (Figg. 7.2 – 7.3).

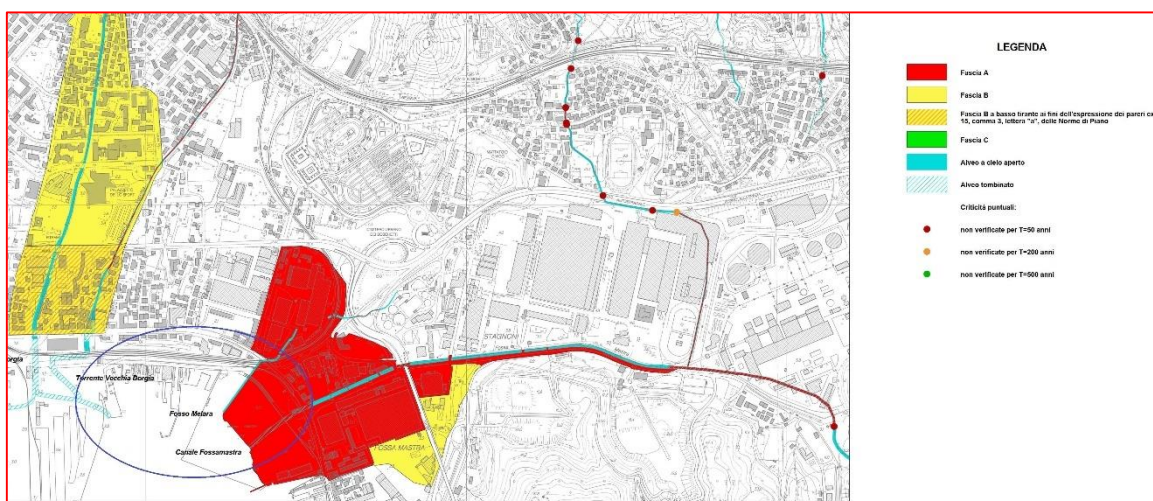


Figura 7.2 – Stralcio Carta delle fasce di inondabilità (PAI – Ambito 20)



Figura 7.3 – Stralcio Carta del Rischio Idraulico (PAI – Ambito 20)

8 IDROGEOLOGIA

8.1 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Si riporta di seguito un inquadramento idrogeologico dell'area studiata tratto dal PUC del Comune di La Spezia (Fig. 8.1.1).

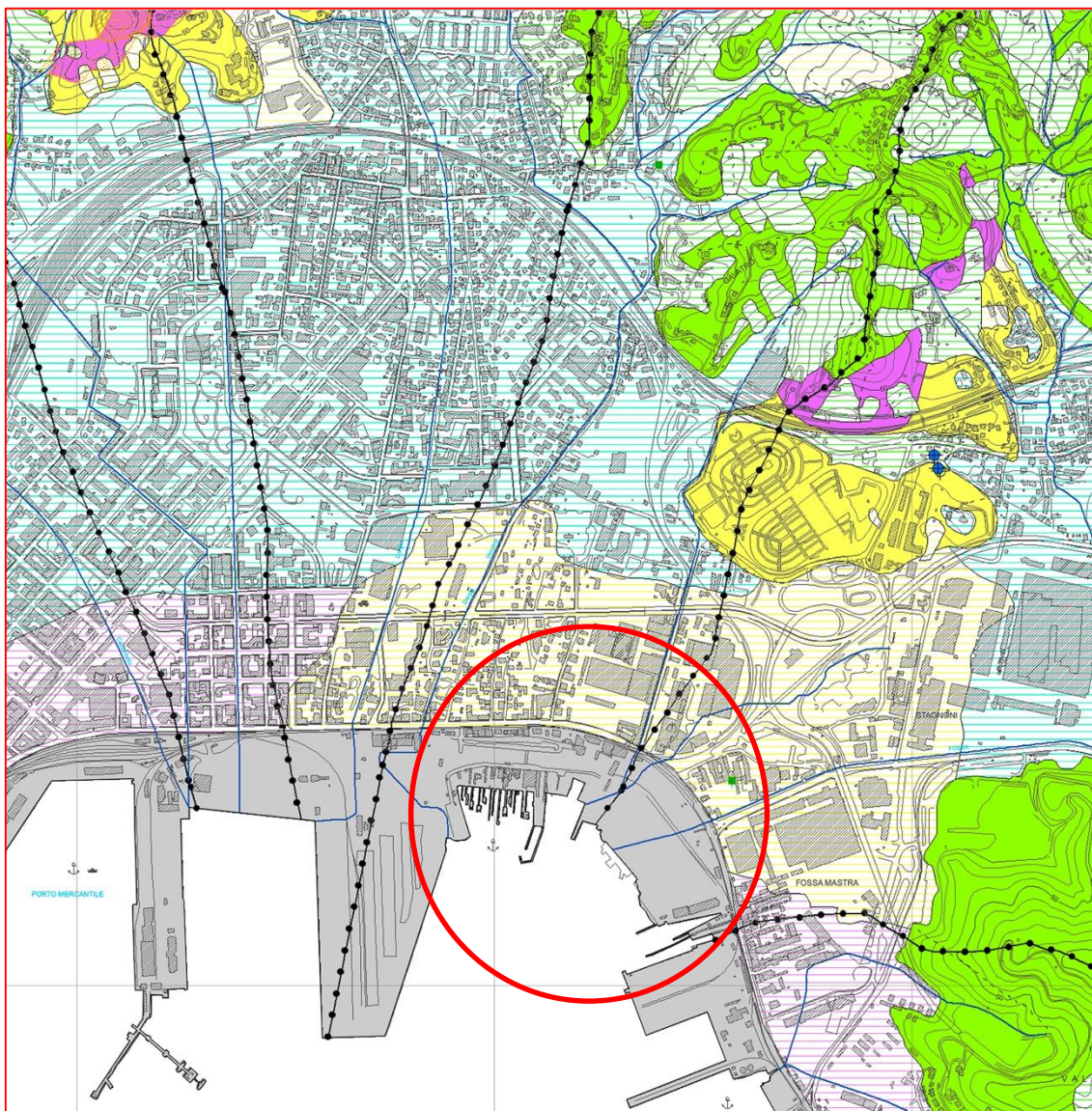




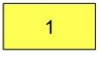
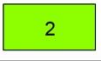
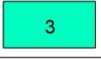



Figura 8.1.1 – Inquadramento idrogeologico (PUC – La Spezia)

Classi di permeabilità per porosità primaria		
codice	classe di permeabilità	descrizione delle litologie
	Bassa permeabilità	Unità a prevalente composizione argillosa e argillitica. Unità Gottero in facies pelitico-arenacea, Argille e calcari di Canetolo, Macigno in facies pelitica, Argilliti di Brolio, Strati di Grotta Arpaia, Quarziti e filladi
	Mediocre permeabilità	Unità eterogenee composte da alternanze di litotipi con diverso grado di permeabilità relativa, unità flyschiodi con livelli pelitici e marnosi. Arenarie di M. Gottero, Arenarie di Ponte Bratica, Macigno, Marne di Rovaggio, Diaspri
	Buona permeabilità	Unità con buon grado di permeabilità primaria, secondaria o mista, inclusi i depositi fluvio-lacustri quaternari. Maiolica, Marne a Posidonomia, Calcare selcifero di Limano, Rosso ammonitico. Depositi alluvionali quaternari.
	Elevata permeabilità	Unità della successione carbonatica mesozoica le cui caratteristiche di porosità secondaria per fessurazione e/o carsismo hanno favorito lo sviluppo di un alto grado di permeabilità con elevata capacità di infiltrazione e circolazione sotterranea. Calcari di Groppo del Vescovo, Formazione della Ferriera, Formazione di Biassa, Dolomie di M. Castellana, Portoro, Calcari di Portovenere, calcari e marne di M. S. Croce, Dolomie di Coregna, Breccie di Maralunga, Breccie di Lerici

Classi di permeabilità per fratturazione e carsismo		
codice	classe di permeabilità	descrizione delle litologie
	Bassa permeabilità	Unità a prevalente composizione argillosa e argillitica. Unità Gottero in facies pelitico-arenacea, Argille e calcari di Canetolo, Macigno in facies pelitica, Argilliti di Brolio, Strati di Grotta Arpaia, Quarziti e filladi
	Mediocre permeabilità	Unità eterogenee composte da alternanze di litotipi con diverso grado di permeabilità relativa, unità flyschiodi con livelli pelitici e marnosi. Arenarie di M. Gottero, Arenarie di Ponte Bratica, Macigno, Marne di Rovaggio, Marne a Posidonomia, Quarziti e filladi molto fratturate
	Buona permeabilità	Unità con buon grado di permeabilità primaria, secondaria o mista, inclusi i depositi fluvio-lacustri quaternari. Macigno molto fratturato, Maiolica, Diaspri toscani, Calcare selcifero di Limano, Rosso ammonitico
	Elevata permeabilità	Unità della successione carbonatica mesozoica le cui caratteristiche di porosità secondaria per fessurazione e/o carsismo hanno favorito lo sviluppo di un alto grado di permeabilità con elevata capacità di infiltrazione e circolazione sotterranea. Calcari di Groppo del Vescovo, Formazione della Ferriera, Formazione di Biassa, Dolomie di M. Castellana, Portoro, Calcari di Portovenere, calcari e marne di M. S. Croce, Dolomie di Coregna, Breccie di Maralunga, Breccie di Lerici


	Area portuale
---	---------------

Figura 8.1.2 – Inquadramento idrogeologico - Legenda (PUC – La Spezia)

Nei sedimenti della piana costiera i depositi fluviali e marini marginali costituiscono un complesso eterogeneo sotto il profilo della permeabilità e degli spessori.

I depositi marini, essendo nell'area di interesse prevalentemente limosi e argillosi, presentano una permeabilità pressochè molto bassa. Dove è presente una minima circolazione idrica la falda è sostenuta dal mare e non scende mai al di sotto del livello di questo.

I depositi sottostanti sono costituiti da sedimenti fluvio-lacustri, per lo più argilloso-sabbiosi con ghiaia eterogenea poco o per nulla permeabili, fino a profondità di 30 – 50 metri e oltre dal p.c.. Questi ospitano acque sin-deposizionali e fungono da limite

idrogeologico tra la falda superficiale, se presente, e quella profonda. Quest'ultima risiede nelle rocce del substrato e presenta caratteristiche di estrema variabilità in funzione della litologia e dello stato di fratturazione di questo.

Nell'area di intervento è ipotizzabile la presenza di un substrato costituito da Quarziti e Filladi appartenenti all'unità tettonica di Massa, che nel complesso presentano una permeabilità per fratturazione da mediocre a bassa.

Nell'area del Golfo sono presenti risorgive, dette "sprugole", dovute alla risalita di acque dalla falda in pressione nel substrato; tali fenomeni non sono tuttavia segnalati nell'area oggetto di intervento.

Per quanto riguarda il grado di permeabilità dei terreni interessati dagli interventi in oggetto, sulla base dei dati di letteratura ed esperienza, considerato che per i terreni naturali le misure in laboratorio tendono a sottostimare il grado di permeabilità, in quanto non considerano i caratteri macrostrutturali e la presenza di intercalazioni granulari, nella tabella 8.1.1 sono riportati i valori dei coefficienti di permeabilità che si ritengono rappresentativi delle unità riscontrate.

UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE	K verticale e orizzontale (cm/sec)
r	$1,00 \times 10^{-3}$
A	$2,30 \times 10^{-7}$
B	$3,40 \times 10^{-7}$
C	$9,80 \times 10^{-8}$
D	$1,00 \times 10^{-4}$

Tab. 8.1.1

8.2 PERMEABILITÀ DEI TERRENI INVESTIGATI DA PROVE DI LABORATORIO

Le indagini geognostiche effettuate hanno permesso di individuare nel dettaglio la locale successione lito-stratigrafica, costituita da terreni sciolti, permeabili per porosità primaria.

(A) depositi marini attuali e recenti, con grado di permeabilità molto basso. Argille, argille limose, limi argilloso-sabbiosi prevalenti e subordinatamente sabbie limose e limoso-argillose e sabbie ghiaiose, con abbondante materia organica indecomposta

(resti algali localmente prevalenti), frammenti di gusci di bivalvi e ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti. Spessore compreso tra 1,0 metri e 9,6 m (Fig. 8.2.1).

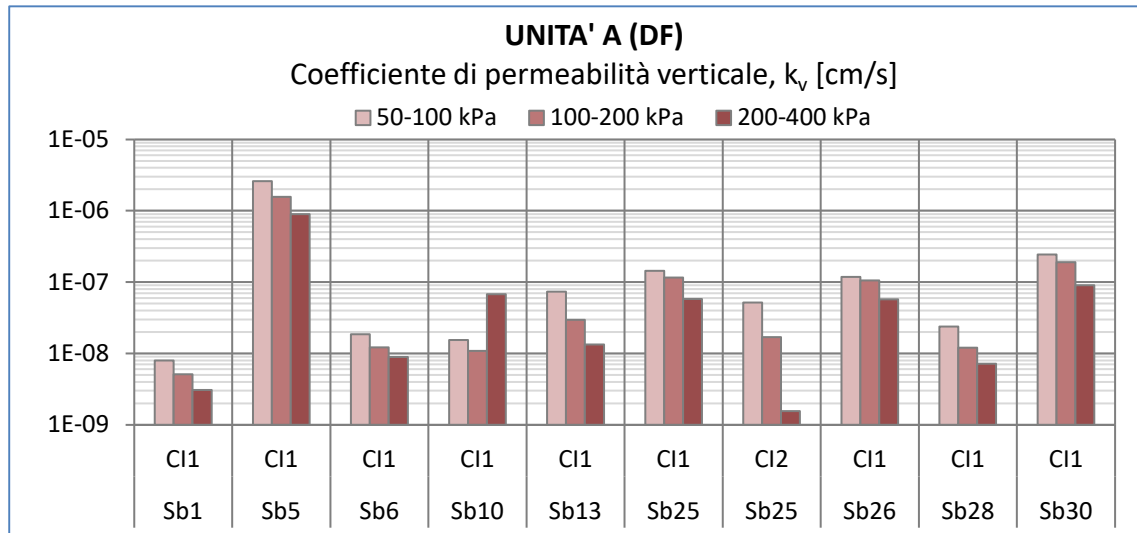


Fig. 8.2.1 – Risultati prove di permeabilità in laboratorio

(B) **depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri) di natura prevalentemente limoso-argillosa con intercalazioni di depositi marini, con grado di permeabilità molto basso.** Argille, argille limose, limi argilloso-sabbiosi e sabbie con limi, con frequenti varvature, a luoghi con frammenti di gusci di bivalvi e ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti (Fig. 8.2.2).

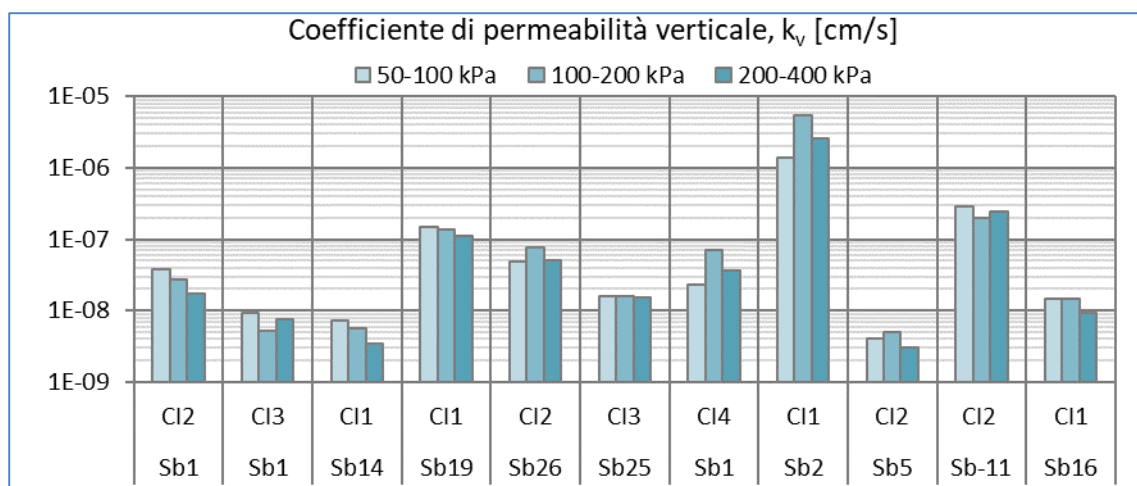


Fig. 8.2.2 – Risultati prove di permeabilità in laboratorio

- (C) **depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri) di natura prevalentemente limoso-argillosa, con grado di permeabilità molto basso.** Argille limose o limoso-sabbiose, limi argillosi e sabbie limoso argillose, con frequenti varvature, a luoghi con ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti e orizzonti torbosi nerastri. Spessori anche superiori ai 20m (Fig. 8.2.3).

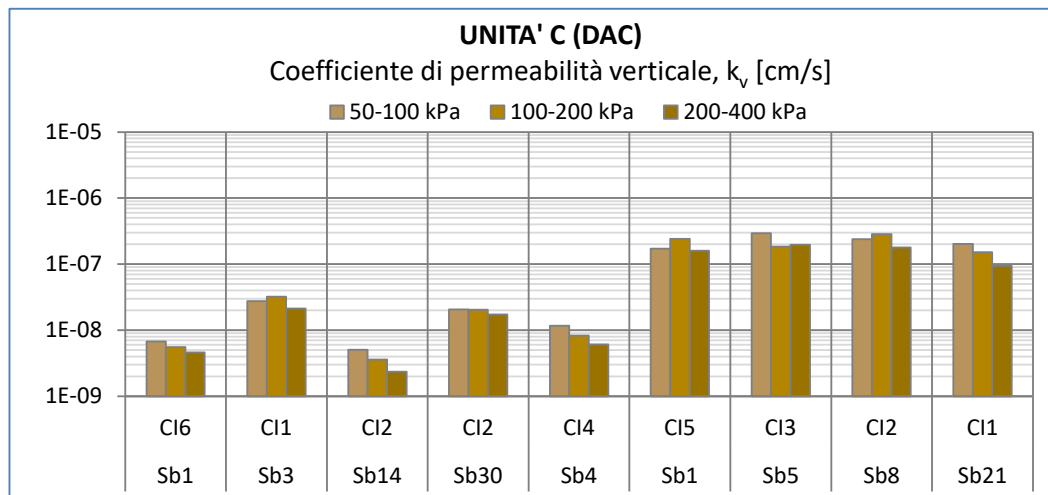


Fig. 8.2.3 – Risultati prove di permeabilità in laboratorio

- (D) **depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri e di spiaggia emersa) di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa, con grado di permeabilità basso.** Limi con sabbie e ghiaie, sabbie limoso-argillose, sabbie e/o limi con ghiaie, a luoghi con resti vegetali nerastri. La frazione ghiaiosa, localmente molto abbondante, è costituita da elementi prevalentemente arenacei e subordinatamente calcarei o silicei, eterometrici fino alla dimensione dei ciottoli e blocchi, sempre in matrice fine abbondante. A luoghi possono essere presenti intercalazioni di argille limose, limi argillosi e argilloso-sabbiose, con ghiaie sparse e resti carboniosi. Spessore superiore ai 30m (Fig. 8.2.4).

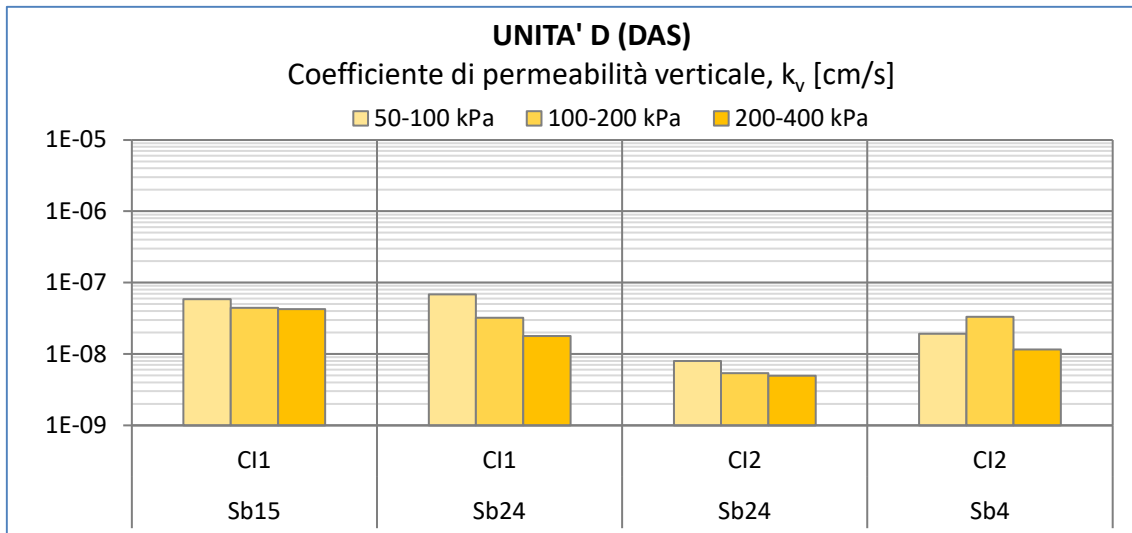


Fig. 8.2.4 – Risultati prove di permeabilità in laboratorio

Si evidenzia che i risultati delle prove di laboratorio di questa unità, eseguiti necessariamente su provini della componente fine della stessa unità, sottostimano notevolmente l'effettiva permeabilità di insieme, che risulta molto più elevata di diversi ordini di grandezza per la prevalenza di terreni granulari costituiti da sabbie e ghiaie (vedi Tab. 8.1.1).

Nelle attuali banchine di Ravano e Fornelli sono presenti **terreni di riporto eterogenei (r), con grado di permeabilità variabile, generalmente medio-basso**. Sono caratterizzati da una estrema variabilità granulometrica, sia in senso laterale che verticale, in funzione della natura dei terreni di provenienza messi in opera per la formazione delle colmate. Sono essenzialmente costituiti da aggregati disomogenei di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa, sabbioso limosa e/o limoso-argillosa a luoghi molto abbondante o prevalente. Gli elementi grossolani sono eterometrici anche fino alla dimensione dei blocchi, poligenici (arenacei, calcarei, ecc...) con presenza anche di frammenti di laterizi e materiali antropici vari. Spessore fino a 15,0m.

8.3 LIVELLI PIEZOMETRICI

Per una ricostruzione dei livelli piezometrici nell'area di intervento e nelle zone esterne si fa riferimento ai risultati dello studio eseguito per l'analisi di rischio della colmata della

Marina del Canaletto a cura dello studio dell'Ing. Luigi Boeri & Associati (Feb. 2022), allegato al presente progetto ed a cui si rimanda per ogni dettaglio.

I punti di misura presi in considerazione nello studio sono riportati nella figura 8.3.1.



Figura 8.3.1 – Ubicazione del piezometro vicino a sondaggio Sb-09

I dati si riferiscono ai seguenti siti:

- Sito Ex Malco (anno 2010)
- Sito Ex SIO (anno 2018)
- Sito Tamoil (anni 2004-2009)
- Centrale Enel (anno 2021)
- Piezometro al porto in corrispondenza del sondaggio Sb-9 (anno 2021)
- Vari punti di indagine accessibili dal Geoportale della Regione (vari anni)

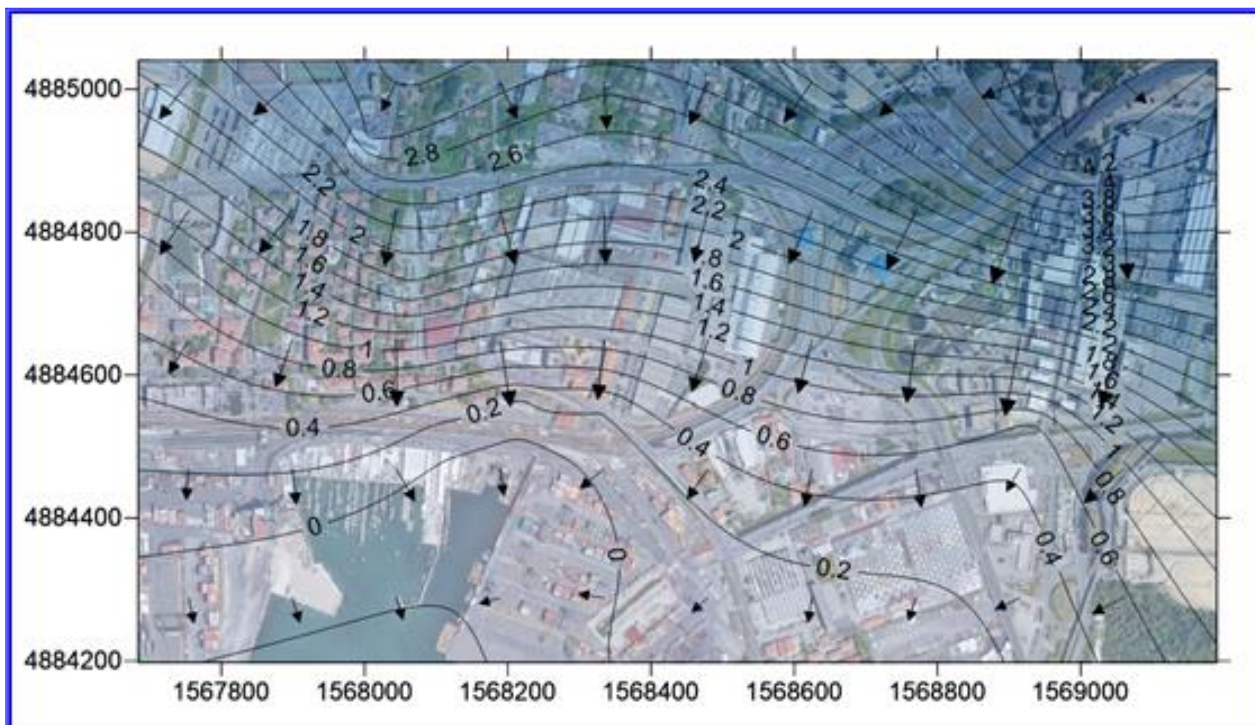


Fig. 8.3.2 - Linee isofreatiche ricostruite con interpolazione Kriging

Dalla ricostruzione delle linee isofreatiche, riportata nella Fig. 8.3.2, emergono le seguenti considerazioni:

- la direzione prevalente della falda è da Nord verso Sud;
- tra la zona a Nord e la zona di intervento si verifica una forte perdita di carico, di circa 3 m (da 3.2m slm a 0.1-0.2m slm), con le isofreatiche molto ravvicinate che indicano la presenza di terreni a bassa permeabilità, ovvero di un mezzo poroso che rallenta molto il fluire della falda;
- nella zona subito a Nord della futura cassa di colmata nella Marina del Canaletto la falda si attesta intorno a +0.1-+0.2m slm e le isofreatiche si distanziano tra loro;
- nelle zone laterali a quella di intervento la falda tende a drenare verso il mare e di conseguenza la direzione è da Nord-Est a Sud-Ovest nel lato Est del dominio e da Nord-Ovest a Sud-Est nel lato Ovest.



9 INDAGINI

In una prima fase sono state censite tutte le indagini pregresse disponibili per l'area oggetto di intervento. In particolare, sono stati reperiti i seguenti studi:

- (1992) *Relazione geologico-tecnica sui terreni interessati dalle opere previste per l'ampliamento dell'attuale banchina del Terminal Messina a La Spezia – Committente: Linee Messina SpA,*
- (1997) *Indagini geognostiche relative alla realizzazione di un banchinamento con relativo piazzale area ex piazzale Ferrari/Palmaria - Committente: Autorità Portuale La Spezia,*
- (2011) *Indagine geognostica propedeutica al progetto di nuovo banchinamento della Marina del Canaletto – Committente: Autorità Portuale La Spezia,*
- (2013) *Porto mercantile della Spezia – Progetto di adeguamento delle strutture ai nuovi fondali operativi (Terminal Ravano) – Relazione geologica-sismica-geotecnica - Committente: La Spezia Container Terminal SpA,*
- (2015) *Indagini geognostiche Marina del Canaletto – Committente: Agnese SpA*
- (2016) *Adeguamento dei canali Fossamastra e Montecatini nell'area demaniale marittima compresa tra la recinzione portuale e l'attuale sbocco a mare nel comune di La Spezia – Committente: SET Società Edilizia Tirrena SpA.*

Per quanto riguarda l'intervento in progetto, ad aprile 2021 è stata avviata una prima campagna di indagine in corrispondenza del margine sud del terminal Ravano, costituita da n. 4 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, associati a n. 4 prove penetrometriche statiche con piezocono CPTU (SBn). In particolare, le indagini SB2-SB4 sono state realizzate in banchina, mentre le restanti SB1-SB3 a mare, esternamente alla banchina stessa.

Successivamente è stata predisposta ed attuata una seconda campagna geognostica estesa a tutta l'area di interesse progettuale costituita da:

- n. 14 stazioni di prova a terra composte da sondaggio a carotaggio continuo con SPT, prova CPTu, DPSH e DMT (Sb-1, Sb-2, Sb-3, Sb-4, Sb-5, Sb-6, Sb-7, Sb-8, Sb-9, Sb-10, Sb-11, Sb-12, Sb-13, Sb-15),



- n. 2 stazioni di prova a mare da banchina composte da sondaggio a carotaggio continuo (Sb-22, Sb-23),
- n. 7 stazioni di prova a mare da banchina composte da sondaggio a carotaggio continuo con vane test e prova CPTu, (Sb-14, Sb-16, Sb-17, Sb-20, Sb-21, Sb-24, Sb-25),
- n. 9 stazioni di prova a mare composte da sondaggio a carotaggio continuo e prova CPTu, (Sb-18, Sb-19, Sb-26, Sb-27, Sb-28, Sb-29, Sb-30, Sb-31, Sb-32).

I sondaggi a carotaggio continuo eseguiti a terra Sb-1, Sb-4, Sb-8 sono stati anche attrezzati per l'esecuzione di prove down-hole in foro.

Nel complesso i sondaggi a carotaggio continuo hanno interessato i terreni oggetto di indagine per spessori variabili tra 35 e 60 m, raggiungendo profondità massime di circa 58 m al di sotto del livello medio marino.

Per i risultati e la descrizione delle indagini svolte si rimanda ai relativi rapporti di sintesi. L'ubicazione di tutte le indagini disponibili viene invece riportata nella planimetria di tavola 21_08_PE_TQ01_0.

10 STRATIGRAFIA E MODELLO GEOLOGICO

Le indagini disponibili nell'area oggetto di intervento hanno interessato il cosiddetto volume significativo in relazione alle opere in progetto, ovvero i terreni antropici superficiali, i sedimenti marini attuali e recenti e i depositi quaternari di origine prevalentemente continentale. Non è stata raggiunta la base di tali depositi e quindi il substrato geologico locale, almeno fino alle profondità investigate (~ -58 m slm).

Sulla base di tutte le osservazioni eseguite nel corso delle indagini in sito, al di sotto dei terreni e manufatti antropici (r), sono state distinte dall'alto verso il basso le seguenti unità litostratigrafiche principali, ritenute omogenee dal punto di vista granulometrico-tessiturale e genetico.

(A) **depositi marini attuali e recenti**, che rappresentano i sedimenti del fondale attuale e quelli posti al disotto delle colmate antropiche già in opera. Sono principalmente costituiti da argille, argille limose, limi argilloso-sabbiosi e subordinatamente da sabbie limose e limoso-argillose e sabbie ghiaiose, di colore grigio-nerastro localmente tendente al bruno, con abbondante materia organica indecomposta (resti algali localmente prevalenti), frammenti di gusci di bivalvi e ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti. Lo spessore di tali depositi varia notevolmente da zona a zona, con minimi dell'ordine di 1,0 metri e massimi di circa 9,6 m. Gli spessori maggiori si rilevano in corrispondenza del fondale attuale di Marina del Canaletto (6,0-9,6m).

(B) **depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri) di natura prevalentemente limoso-argillosa con intercalazioni di depositi marini**, principalmente costituiti da argille, argille limose, limi argilloso-sabbiosi e sabbie con limi, di colore variabile dal marrone chiaro-avana al grigio, con frequenti varvature, a luoghi con frammenti di gusci di bivalvi e ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti. Costituiscono presumibilmente depositi fluvio-lacustri e/o di laguna salmastra in cui si intercalano sedimenti francamente marini di fondale poco profondo, legate ad oscillazioni del livello marino. Lo spessore massimo di tale unità è stato rilevato nell'ordine dei 6-7m.

(C) **depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri) di natura prevalentemente limoso-argillosa**, principalmente costituiti da argille limose o limoso-sabbiose, limi argillosi e sabbie limose argillose di colore variabile dal marrone-avana al grigio chiaro, con

frequenti varvature, a luoghi con ghiaie eterometriche sparse o concentrate in lenti e orizzonti torbosi nerastri. Costituiscono anch'essi depositi fluvio-lacustri e/o di laguna salmastra caratterizzati da spessori variabili con massimi anche superiori ai 20m.

(D) **depositi continentali (alluvionali fluvio-lacustri e di spiaggia emersa) di natura prevalentemente sabbioso-ghiaiosa** principalmente costituiti da limi con sabbie e ghiaie, sabbie limoso-argillose, sabbie e/o limi con ghiaie di colore variabile dal marrone chiaro al grigio-rossastro, a luoghi con resti vegetali nerastri. La frazione ghiaiosa, localmente molto abbondante, è costituita da elementi prevalentemente arenacei e subordinatamente calcarei o silicei, eterometrici fino alla dimensione dei ciottoli e blocchi, generalmente scarsamente evoluti e sub-angolosi. A luoghi possono essere presenti intercalazioni di argille limose, limi argillosi e argilloso-sabbiose di colore marrone chiaro, grigio-rosato fino al nerastro, con ghiaie sparse e resti carboniosi. A struttura generalmente caotica, costituiscono presumibilmente depositi continentali alluvionali e/o di spiaggia emersa, provenienti in gran parte dall'erosione e rielaborazione dei flysch costituenti i rilievi collinari molto prossimi alla linea di costa.

Nel corso dei sondaggi eseguiti non è stata raggiunta la base di tali depositi, almeno fino alle profondità investigate (~ -58 m slm). Lo spessore di tale unità risulta pertanto superiore ai 30m.

Superficialmente, in corrispondenza delle banchine esistenti, sono presenti terreni di riporto eterogenei (r) caratterizzati da una estrema variabilità granulometrica, sia in senso laterale che verticale, in funzione della natura dei terreni di provenienza messi in opera per la formazione delle colmate. Sono essenzialmente costituiti da aggregati disomogenei di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa, sabbioso limosa e/o limoso-argillosa a luoghi molto abbondante o prevalente di colore variabile dal marrone al grigio nerastro. Gli elementi grossolani sono eterometrici anche fino alla dimensione dei blocchi, poligenici (arenacei, calcarei, ecc...) con presenza anche di frammenti di laterizi e materiali antropici vari. Lo spessore di tali terreni può raggiungere localmente anche i 15,0 m.



Nelle sezioni stratigrafiche di tavola 21_08_PE_TQ02_0 vengono schematizzati i rapporti tra le varie unità precedentemente distinte, rappresentando pertanto il modello geologico preliminare, di riferimento per il sito in questione.

Tale modello, al di sotto dei materiali antropici ove presenti, è caratterizzato da una successione stratigrafica pressochè omogenea in tutta l'area di intervento, con spessori variabili arealmente delle unità litostratigrafiche presenti. Tale variabilità areale viene schematizzata negli allegati 3-4-5 in cui vengono ricostruite, a partire dai dati puntuali di indagine, le linee di uguale profondità (isobate in metri slm) dei passaggi stratigrafici più significativi, o di uguale spessore (isopache in metri) delle unità più significative dal punto di vista geologico-tecnico.

In particolare, nella planimetria di tavola 21_08_PE_TQ03_0 viene schematizzata la morfologia della base dei sedimenti marini attuali e recenti (A), caratterizzata da un massimo approfondimento (-13/14 m slm) in corrispondenza dell'attuale bacino di Marina del Canaletto, che si estende anche al di sotto del margine sud-occidentale del terminal Ravano.

Per la stessa unità litostratigrafica (A), nella planimetria di tavola 21_08_PE_TQ04_0 viene invece rappresentata la variabilità areale del suo spessore, da cui risulta che i massimi (7-10m) sono concentrati in corrispondenza dell'attuale bacino.

Nella planimetria di tavola 21_08_PE_TQ05_0 viene, infine, schematizzata la morfologia del tetto dei depositi continentali prevalentemente sabbioso-ghiaiosi (D), caratterizzato da un generale approfondimento verso W-SW in direzione del molo Fornelli.

11 SISMICA

Per la determinazione dello scenario sismico in cui ricade l'area di intervento si è proceduto ad un'analisi della sismicità storica oltre che al reperimento di documentazione bibliografica inerente l'aspetto sismico del territorio, utile alla definizione dello scenario generale.

Si è poi proceduto all'individuazione delle normative regionali e nazionali di riferimento, sulla base delle quali sono poi stati elaborati i risultati geologico/stratigrafici utili alla definizione delle azioni sismiche di progetto.

11.1 SISMICITA' STORICA E SORGENTI SIMOGENETICHE

L'area di intervento ricade nel territorio del Comune di La Spezia (SP) che, secondo la recente zonazione ZS9 (Meletti et alii - INGV 2004), rientra all'interno della zona sismogenetica 916 "Versilia-Chianti" coincidente con il settore in distensione tirrenica definito nel modello sismotettonico di Meletti et al. (2000), caratterizzato da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati. Tale zona è caratterizzata da eventi con una Magnitudo momento massima M_{wmax} pari a 6,14.

Si riportano di seguito le osservazioni principali per il Comune di La Spezia (Fig. 11.1.1) tratte dal catalogo del Database Macrosismico Italiano DBMI15 (INGV – Versione 3.0 a cura di *Mario Locati, Romano Camassi, Andrea Rovida, Emanuela Ercolani, Filippo Bernardini, Viviana Castelli, Carlos Hector Caracciolo, Andrea Tertulliani, Antonio Rossi, Raffaele Azzaro, Salvatore D'Amico, Andrea Antonucci*).

Sono complessivamente presenti 59 osservazioni, di cui soltanto una di grado superiore a 6 MCS corrispondente all'evento del 07 settembre 1920 di cui si riporta di seguito lo schema con i dati macrosismici (fig. 11.1.2).

La Spezia

PlaceID IT_34214
 Coordinate (lat, lon) 44.105, 9.819
 Comune (ISTAT 2015) La Spezia
 Provincia La Spezia
 Regione Liguria
 Numero di eventi riportati 59

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1920	09	07	05	55	40	Garfagnana	750	10	6.53
5-6	1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	1511	9	6.27
5-6	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63
5-6	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
5	1873	09	17				Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
5	1902	08	04	22	36	10	Lunigiana	60	6	4.78
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1939	10	15	14	05		Garfagnana	62	6-7	4.96
5	1939	10	31	06	47		Lunigiana	19	5-6	4.85
5	1951	08	12	21	19		Garfagnana	21	5	4.59
5	1955	04	11	15	24		Liguria orientale	29	5	4.07
5	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4-5	1878	09	10	13	31		Lunigiana	12	6-7	4.98
4-5	1980	06	07	18	35	01	Garfagnana	102	6-7	4.64
4	1901	10	30	14	49	58	Garda occidentale	289	7-8	5.44
4	1903	07	27	03	46		Lunigiana	79	7-8	5.19
4	1929	04	20	01	10		Bolognese	109	7	5.36
4	1934	06	13	09	06		Val di Taro-Lunigiana	29	6	5.14
4	1955	12	13	17	04		Lunigiana	19	5	4.53
4	1969	01	06	22	03	28	Appennino pistoiese	74	6-7	4.67
4	1976	05	06	20	00	1	Friuli	770	9-10	6.45
4	1976	08	22	02	49	13	Alta Val di Taro	26	5	4.54
4	1983	11	09	16	29	52	Parmense	850	6-7	5.04
4	2004	11	24	22	59	3	Garda occidentale	176	7-8	4.99
4	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36

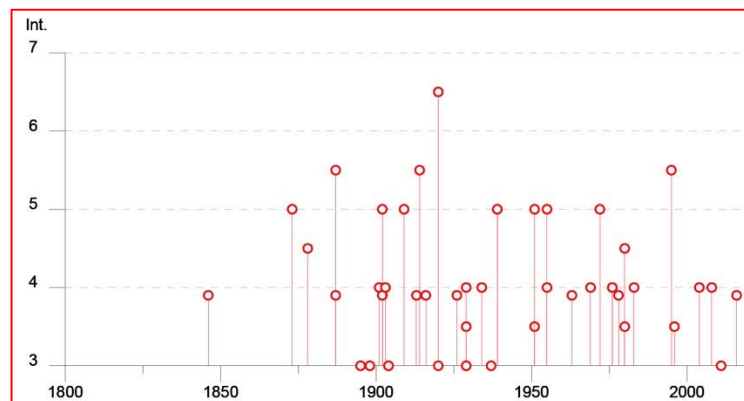


Figura 11.1.1 – Storia sismica del Comune di La Spezia (DBMI15 - INGV)

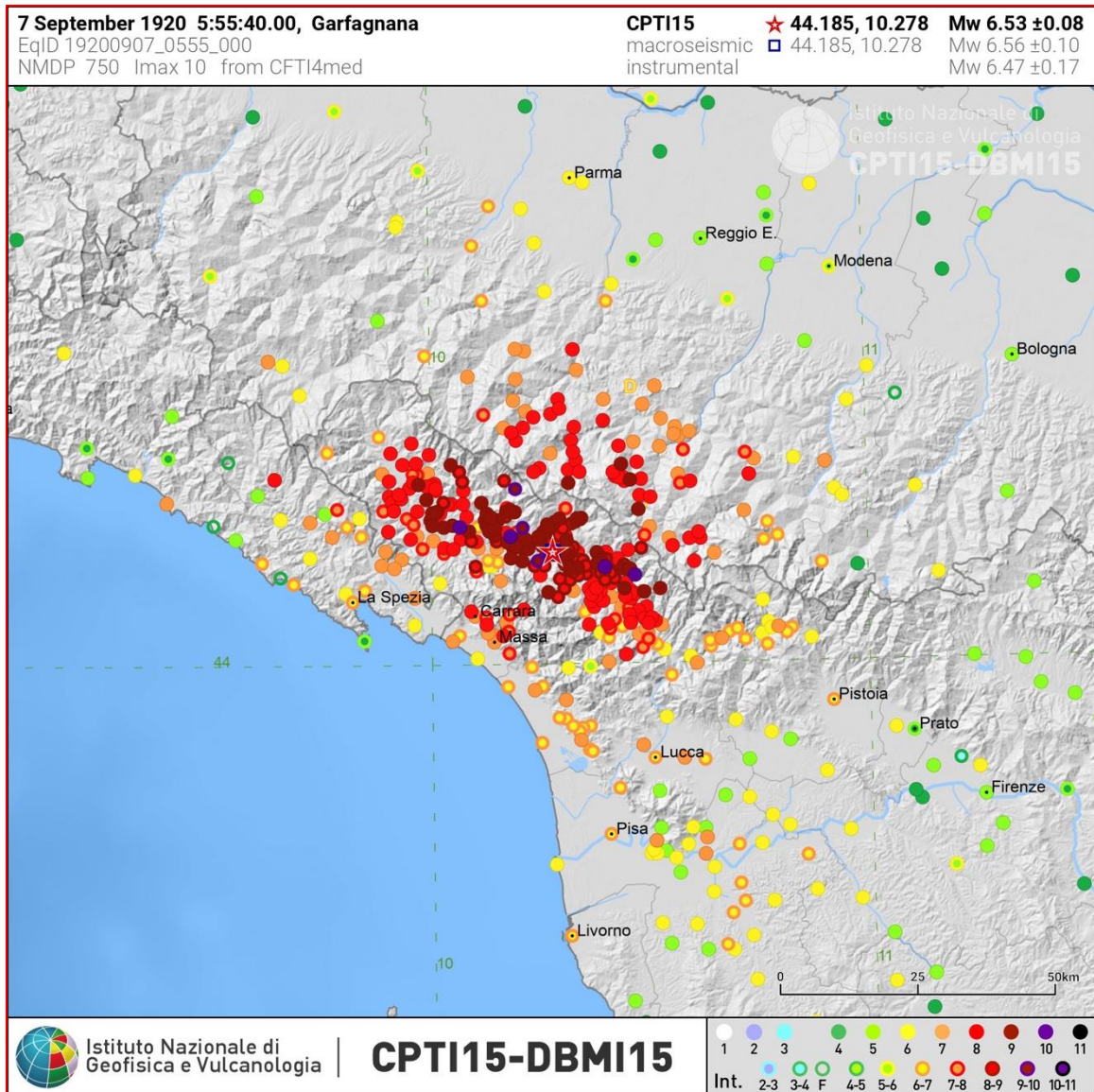


Figura 11.1.2 – Dati macrosimici relativi all’evento del 07/09/1920 (DBMI15 – INGV)

In Fig. 11.1.3 vengono riportati gli epicentri dei principali eventi sismici verificatisi a partire dall’anno 1000 nell’intorno del Comune di La Spezia (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 - Versione 3.0 a cura di *Andrea Rovida, Mario Locati, Romano Camassi, Barbara Lollo, Paolo Gasperini, Andrea Antonucci*). Dall’analisi della figura risulta evidente che gli eventi principali che influenzano l’area di La Spezia sono quelli della Lunigiana e Garfagnana posti a est, mentre gli epicentri più prossimi sono quelli

ubicati lungo la Val di Magra e relativi ad eventi di magnitudo di circa 4,0 Mw e profondità ipocentrale variabile tra 0,6 e 9 Km (23/06/2016 – 11/07/1996 – 11/04/1955).

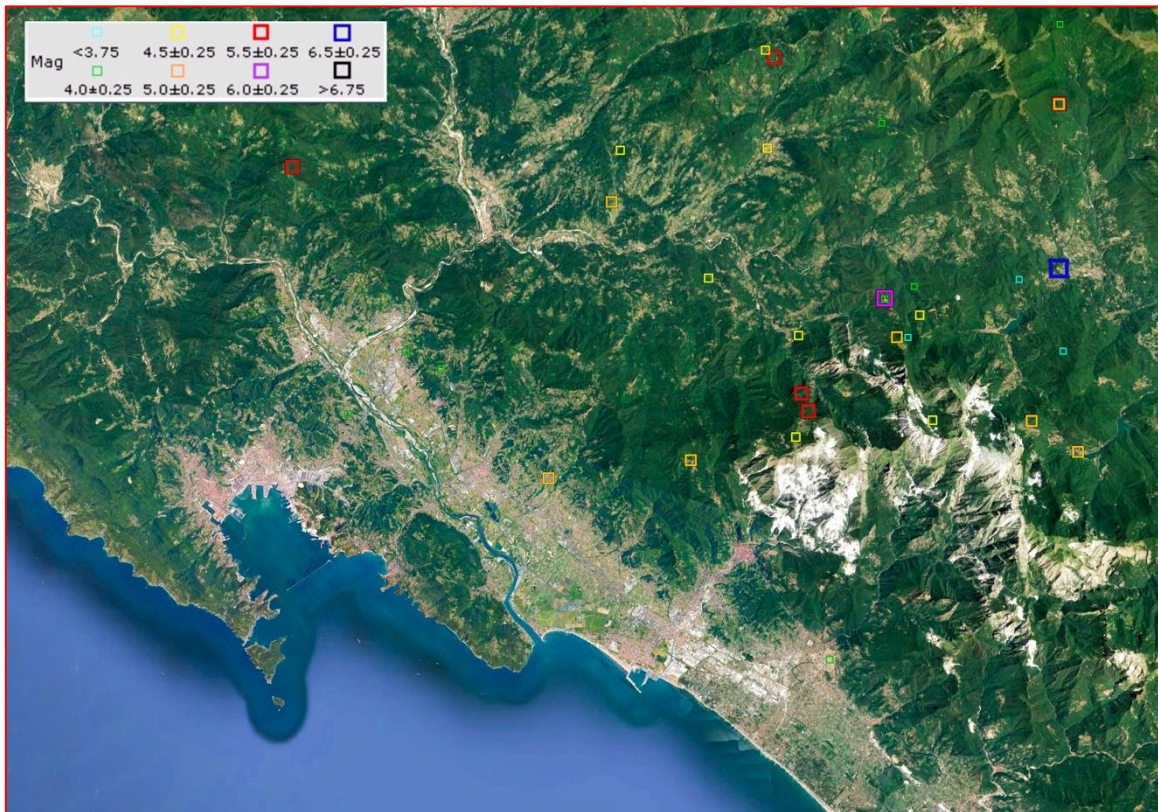


Figura 11.1.3 – Distribuzione degli epicentri dei principali eventi sismici (CPTI15 – INGV)

Facendo riferimento al progetto DISS3 dell'INGV, che riguarda la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismo-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale, si osserva che in corrispondenza dell'area di studio non sono presenti sorgenti sismogenetiche (fig. 11.1.4). Le sorgenti sismogenetiche più vicine all'area d'intervento sono infatti quelle "ITCS026 Lunigiana" e "ITCS083 Garfagnana", ubicate rispettivamente ad almeno 15 km e 25 km. Queste sorgenti sismogenetiche risultano entrambi molto superficiali (comprese tra 1 e 10 km di profondità) e sono in grado di produrre eventi di magnitudo consistenti (Mw comprese tra 6 e 6,4).

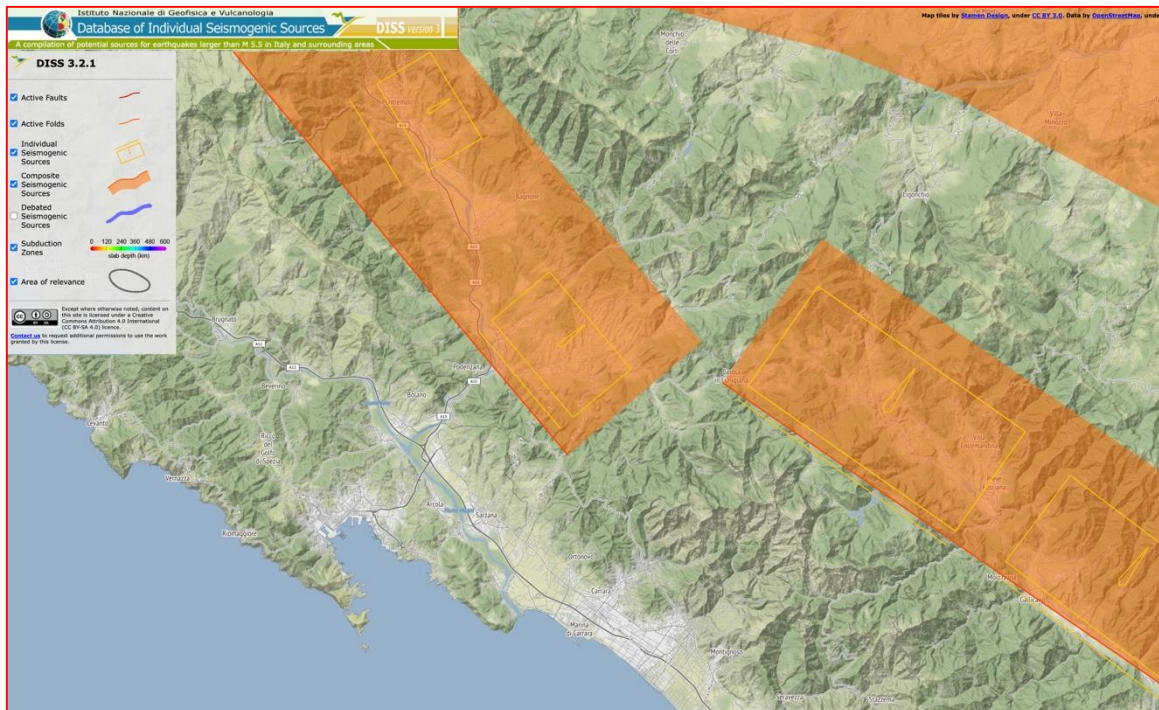


Figura 11.1.4 – Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche (DISS3 – INGV)

11.2 PERICOLOSITÀ SISMICA

Secondo l'approccio più comune, adottato anche dalle normative italiane, la pericolosità sismica di un sito viene indicata attraverso il valore di accelerazione orizzontale (PGA) che ha una determinata probabilità di essere superato in un intervallo di tempo.

Con l'Ordinanza PCM 3274/2003 si è avviato in Italia un processo per la stima della pericolosità sismica

All'area di studio viene assegnata una pericolosità espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni pari ad $A_g = 0,150$ (Fig. 11.2.1).

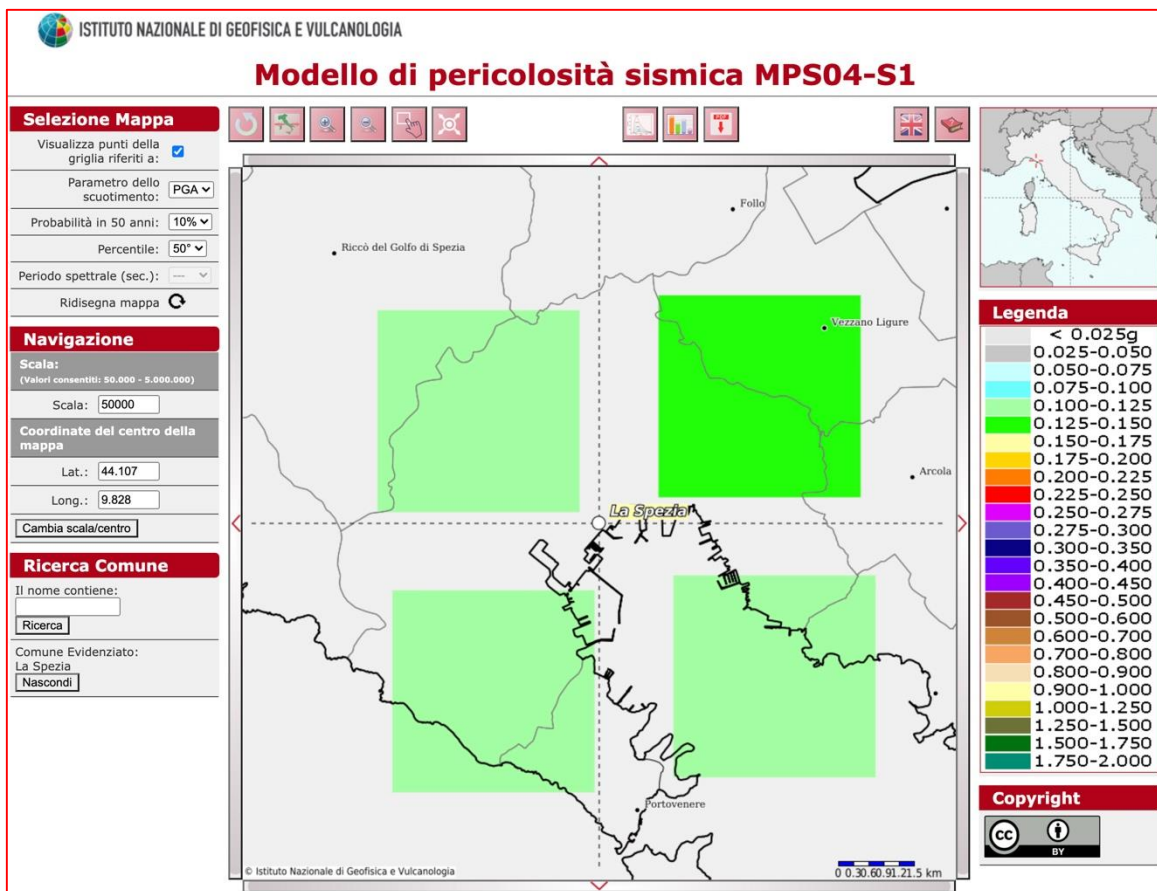
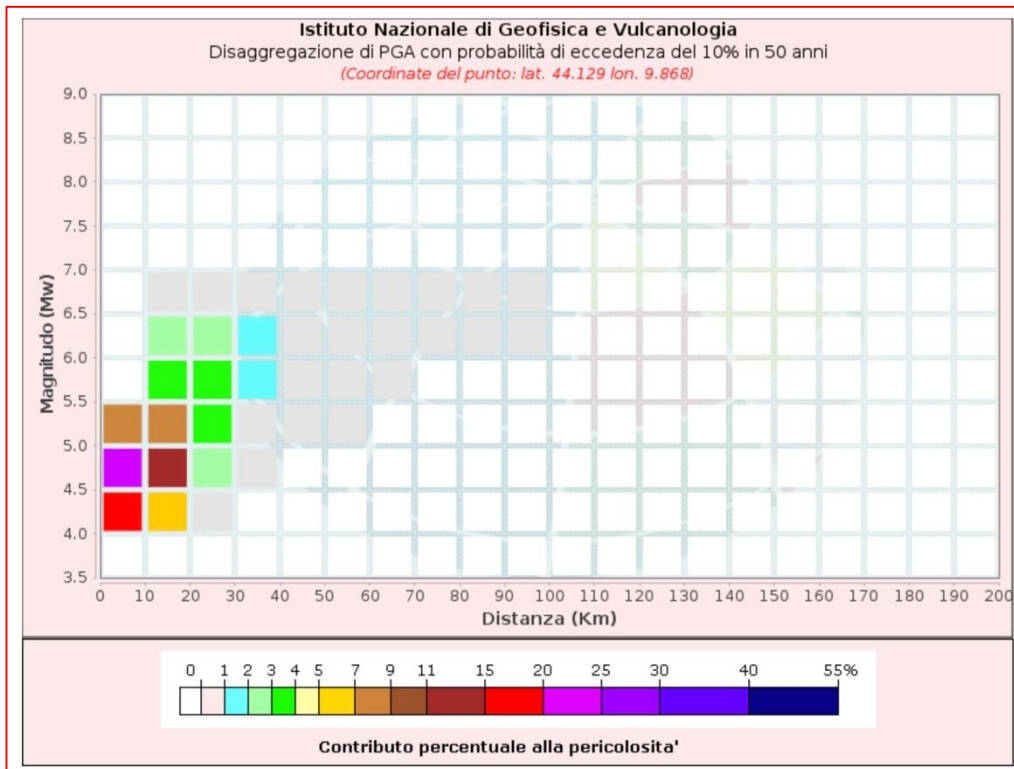


Figura 11.2.1 – Pericolosità sismica (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Il grafico seguente (Fig. 11.2.2) rappresenta invece il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon. Per il sito in questione risulta una magnitudo di 4,96 Mw con distanza epicentrale di 12,5Km.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni
(Coordinate del punto: lat. 44.129 lon. 9.868)

Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	19.6000	24.3000	7.3900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	5.0800	11.2000	7.8600	3.4500	2.0300	0.2630	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.2340	2.2500	3.7500	3.4300	2.6500	0.4040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0509	0.8810	1.5300	1.5900	0.2830	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0884	0.5320	0.6840	0.1390	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	0.1120	0.1650	0.0390	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0112	0.0321	0.0097	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0079	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0015	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0004	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.96	12.5	1.1

Figura 11.2.2 – Pericolosità sismica: grafico e tabella di disaggregazione magnitudo/distanza (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

11.3 STUDI SISMICI RECENTI – MICROZONAZIONE SISMICA

Per l'area del Comune di La Spezia sono state reperite le indagini di Microzonazione sismica di livello I, redatte nel 2016 dal Geol. Carlo Civelli ed altri.

Nella figura 11.3.1 si riporta uno stralcio della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in cui l'area di intervento, come tutta quella costiera portuale, ricade in una zona instabile “di attenzione per liquefazione di tipo 1 (ZALQ1)”.

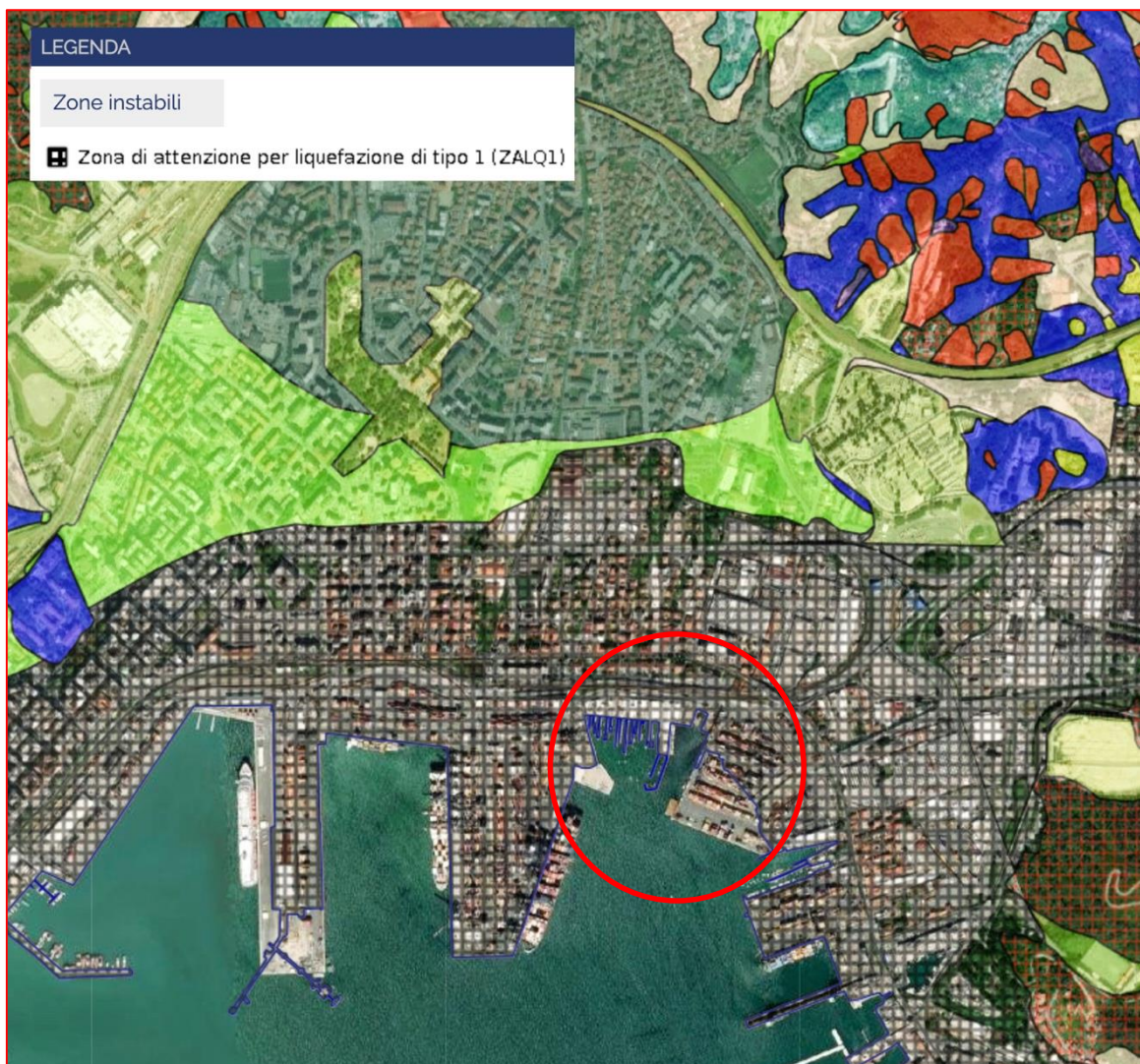


Figura 11.3.1 – Microzone omogenee in prospettiva sismica (MZS1 –La Spezia)

11.4 MACROZONAZIONE SISMICA E AZIONI SISMICHE DI PROGETTO (NTC 2018)

Per quanto riguarda la macrozonazione sismica il Comune di La Spezia in cui ricade l'intervento in progetto, ai sensi della Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274/2003, risulta classificato in zona sismica 3, che rappresenta la “*pericolosità sismica di base*” del sito in questione (*Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari, con accelerazione orizzontale massima convenzionale $a_g=0,15$*).

Ai fini dell'azione sismica di progetto si fa riferimento alla normativa vigente costituita dalle “*Norme tecniche per le costruzioni*” recentemente aggiornate con decreto del MIT del 17/01/2018 con alcune modifiche relative proprio al paragrafo 3.2 delle azioni sismiche e alla relativa circolare esplicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 MIT-C.S.LL.PP.

Tale normativa prevede che “*...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 VS.*”

Le NTC2018 definiscono “risposta sismica locale” l'azione sismica che emerge in “superficie” a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Le condizioni del sito di riferimento rigido non corrispondono, infatti, alle condizioni reali. È necessario, pertanto, 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.

Gli effetti della risposta sismica locale possono essere valutati con metodi semplificati oppure eseguendo specifiche analisi.

Nei metodi semplificati è possibile valutare sia gli effetti stratigrafici e topografici, attribuendo il sito ad una delle categorie di sottosuolo definite nella Tabella 3.2.II delle NTC (A, B, C, D, E) e ad una delle categorie topografiche definite nella Tabella 3.2.IV

delle NTC (T1, T2, T3, T4). In questo caso, la valutazione della risposta sismica locale consiste nella modifica dello spettro di risposta in accelerazione del moto sismico di riferimento, relativo all'affioramento della formazione rocciosa (categoria di sottosuolo A) su superficie orizzontale (categoria topografica T1).

Nello specifico le NTC 2018 prevedono:

- (paragrafo 3.2.2) “...*Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS....*”.
- (paragrafo 7.11.3.2) “.....*In condizioni stratigrafiche e morfologiche schematizzabili con un modello mono-dimensionale e per profili stratigrafici riconducibili alle categorie di cui alla Tab. 3.2.II, il moto sismico alla superficie di un sito è definibile mediante l'accelerazione massima (amax) attesa in superficie ed una forma spettrale ancorata ad essa. Il valore di amax può essere ricavato dalla relazione $amax = SS....$* ”.

Nel nostro caso le condizioni stratigrafiche (profondità del substrato superiori a 30 m con terreni caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità) e morfologiche (superficie nel complesso sub-pianeggiante) del sito oggetto di intervento sono schematizzabili con un modello monodimensionale chiaramente riconducibile alle categorie di sottosuolo e topografiche di cui alle tabelle 3.2.II e 3.2.III delle NTC2018.

Pertanto, alla luce dei dati a disposizione non è stato ritenuto necessario procedere ad una specifica analisi di risposta sismica locale di livello superiore.

Nel caso dell'approccio semplificato i valori delle velocità VS costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di VS 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_{Seq} (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

V_{Si} = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

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

..... 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 VS_{30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.....”.

Nell'area di intervento sono stati eseguiti n. 3 down-hole nei fori di sondaggio Sb-1, Sb-4, Sb-8 i quali hanno fornito nell'intervallo di profondità 0-30m valori di $V_s eq = 217 - 305$ m/s.

In tali condizioni, è possibile attribuire le condizioni litostratigrafiche locali alla categoria di sottosuolo “C” (tab. 3.2.II).

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<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	<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.
C	<i>Depositi 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.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per quanto riguarda la componente topografica della risposta sismica locale, in considerazione del fatto che l'area di intervento si presenta nel complesso subpianeggiante, alla stessa può essere associata la “categoria topografica (T1)” ai sensi delle tabelle 3.2.III e 3.2.IV, con un coefficiente di amplificazione topografica $ST = 1,0$.

Tab. 3.2.III – *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 $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4