autostrade per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema
A7 - A10 - A12

Lotto 5 - Opera a mare - Opere di conterminazione

PROGETTO ESECUTIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA

Relazione geologica

IL GEOLOGO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	IL DIRETTORE TECNICO
Dott. Vittorio Boerio Ord. Geol. Lombardia n.794 RESPONSABILE GEOLOGIA	Ing. Ferruccio Bucalo Ord. Ingg. Genova N. 4940	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				22
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog, Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
110729	LL05	PE	DG	GEO	00000	00000	R	G E O	0001	2	SCALA -

spea ENGINEERING
gruppo Atlantia

PROJECT MANAGER:	SUPPORTO SPECIALISTICO:
Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A	Consiglio Nazionale delle Ricerche Istituto di Georisorse CNR IGG Torino
REDATTO:	VERIFICATO:

REVISIONE	
n.	data
0	GENNAIO 2018
1	MAGGIO 2018
2	NOVEMBRE 2018
3	-
4	-

	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	autostrade per l'italia IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Arch. Rossella Degni	Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

IL PRESENTE DOCUVENTO NOV POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIVENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O \ PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTDELLA SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. OGVI UTILIZZO \ON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A \ORMA DI LEGGE.
THIS DOCUVE\T WAY \OT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER I\ PART OR \ TS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTE\ PERVISSION OF SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. U\AUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.

Sommario

1 INTRODUZIONE 2

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 3

3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE 4

3.1 RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI 4
3.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE 4
3.2.1 Indagini bibliografiche (Enti e privati) 5
3.2.2 Indagini progetto definitivo 2010 6
3.2.3 Indagini integrative progetto definitivo 2015 7
3.2.4 Indagini geofisiche progetto esecutivo 2018 7

4 CARTOGRAFIA TEMATICA 9

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE 10

5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA GENOVESE 10
5.2 EVOLUZIONE TETTONICA DELL' AREA GENOVESE 13

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-STRUTTURALE DEL GOLFO DI GENOVA 17

6.1.1 Lineamenti morfostrutturali 17
6.1.2 Inquadramento geomorfologico 19
6.1.3 Inquadramento geologico- stratigrafico 21

7 ELEMENTI DI SISMICITÀ GENERALE 24

7.1 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO NEL TERRITORIO DI GENOVA 24
7.1.1 Sismicità storica ed effetti macrosismici documentati nel Comune di Genova (dal 1000 al 2008) 24
7.1.2 Commento ai dati storici (macrosismici) 29
7.1.3 Pericolosità geologica indotta da fenomeni gravitativi sottomarini 31
7.3 SISMICITÀ RECENTE (DAL 2005 AL 2017) 33
7.4 FAGLIE CAPACI 34
7.5 STRUTTURE SISMOGENETICHE 35
7.6 CLASSIFICAZIONE SISMICA (INGV) 37
7.7 ELEMENTI PER UNA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO 39

8 ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO 40

8.1 DISTRIBUZIONE DELLE UNITÀ GEOLOGICHE PRINCIPALI NELL'AREA DELL'OPERA A MARE 40
8.2 DESCRIZIONE DELLE SEZIONI GEOLOGICHE 45

9 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO GEOLOGICO GENERALE SOTTESO DAL CONTESTO MARINO PROSPICIENTE GENOVA 47

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUI PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO 49

11 BIBLIOGRAFIA 50

ALLEGATO N° 1: Planimetria d'inquadramento geologico

ALLEGATO N° 2: Sezioni geologiche

ALLEGATO N° 3: Batimetria del tetto del substrato lapideo

1 INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto a supporto della progettazione esecutiva dell'Opera a mare connessa al progetto di adeguamento del nodo stradale e autostradale di Genova (A7 – A10 – A12). In particolare, con riferimento alla realizzazione di una nuova infrastruttura autostradale in variante rispetto al tracciato esistente, tra Vesima e Genova Ovest (Gronda di Ponente), con attraversamento della Valle Polcevera in corrispondenza di Bolzaneto, il potenziamento dell'autostrada A7 nel tratto compreso tra Bolzaneto e Genova Ovest e la realizzazione della nuova carreggiata est dell' A12 tra Begato e Genova Est nonché vari interventi di connessione alla viabilità esistente; il presente progetto riguarda la realizzazione delle opere necessarie e propedeutiche alla messa a deposito dello smarino. Il deposito sarà realizzato in ambito portuale confinato, all'interno del Canale di Calma che separa la diga foranea dall'aeroporto.

Lo scopo della presente relazione consiste nell'illustrare gli elementi geologici e geomorfologici utili ad individuare i principali aspetti progettuali connessi alle opere di confinamento del deposito e riconducibili alla natura dei terreni interessati dall'opera oggetto di studio. La presente relazione illustra quanto rappresentato nell' elaborato cartografico (scala 1:5000) allegato al progetto e contiene anche un capitolo di sismicità generale, che inquadra il territorio dal punto di vista della sismicità. I dati utilizzati per la redazione del profilo sono stati ricavati da un'apposita campagna geognostica in sito, il cui obiettivo è stato sia quello di definire i limiti geologici, sia quello eseguire prove meccaniche in sito e di prelevare i campioni necessari per l'esecuzione delle prove geotecniche di laboratorio e le analisi chimico – ambientali.

La definizione dell'accelerazione sismica di riferimento, delle caratteristiche delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico finalizzato alla progettazione degli interventi, delle interferenze fra opera e le infrastrutture preesistenti nell'area, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere, i criteri per la scelta delle modalità di posa e realizzazione del deposito dello smarino, l'analisi dinamica delle relazioni tra la sedimentazione, le correnti e le opere in progetto ed esistenti, la definizione delle possibili interferenze del carico liquido e solido dei corsi d'acqua (Torrenti Polcevera, Varenna e Chiaravagna) con l'opera, la modellizzazione numerica del deflusso del corso d'acqua e della sedimentazione del carico solido in presenza dell'opera non sono argomenti oggetto della presente relazione geologico – geomorfologica. Qualora la progettazione delle opere in argomento e/o i vincoli territoriali implicassero la definizione dei tematismi sopra elencati, essi sarebbero sviluppati nell'ambito di specifiche relazioni ingegneristiche.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'Opera a Mare è collocata nel Canale di Calma, specchio acqueo compreso fra la Diga Foranea e il rilevato dell'Aeroporto di Genova, che si estende dal bacino di Multedo ad ovest al torrente Polcevera ad est.

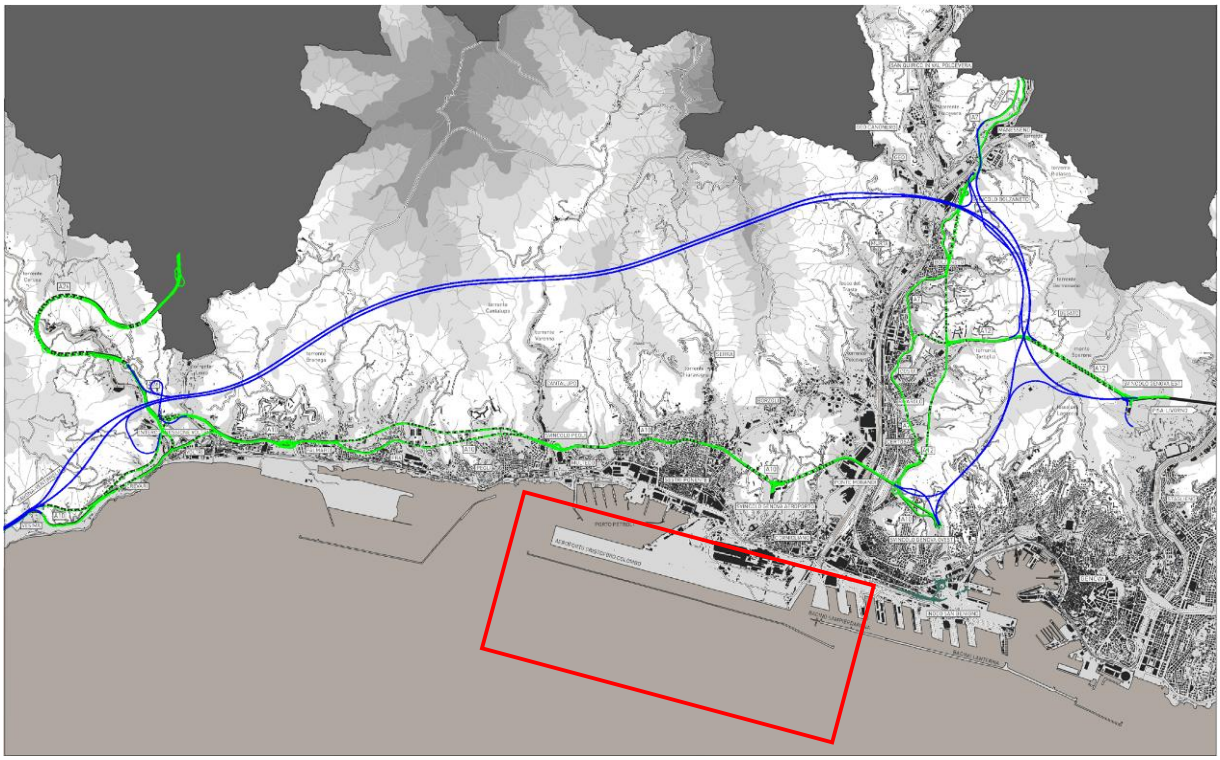


Figura 2-1. Corografia del tracciato e area interessata dall'opera a mare

Morfologicamente l'area è caratterizzata da una stretta fascia pianeggiante, parallela alla costa, che passa bruscamente ai rilievi montuosi retrostanti sempre molto acclivi, talora aspri, che raggiungono quote superiori ai 700 metri s.l.m. L'area pianeggiante è stata rimodellata da interventi antropici e dai riempimenti che si effettuarono nel dopoguerra per far spazio agli impianti siderurgici di Cornigliano e al rilevato su cui è collocato l'aeroporto di Genova.

Il reticolo idrografico è caratterizzato da torrenti montani, a prevalente andamento nord-sud, con versanti spesso a forte acclività, fondovalle incassati e strette fasce alluvionali. L'unico corso d'acqua con un fondovalle più sviluppato è il Torrente Polcevera la cui foce si colloca nel settore più orientale del canale di calma. All'interno del "Porto Petroli", tra il rilevato dell'aeroporto di Genova e la terraferma, si trovano inoltre le foci dei Torrenti Chiaravagna e Varenna, che risultano quindi parzialmente separate dall'area dell'opera a mare.

3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE

3.1 RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI

In primo luogo sono stati reperiti tutti i dati disponibili presso i vari Enti pubblici ed ogni altro dato ritenuto significativo per l'elaborazione del modello concettuale dell'area. I dati di base utili all'inquadramento geologico e geomorfologico dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti:

- Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000: Foglio 82 – Genova (1971);
- Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (Progetto CARG): Foglio 213 Genova (2008) e sezioni 213-2 Genova e 213-3 Pegli scala 1:25.000;
- Documentazione inerente la cartografia geologia, i Piani di Bacino ed il dissesto presente sul sito della Regione Liguria http://www.cartografiarl.regione.liguria.it;
- Progetto IFFI. Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia presente sul sito http://www.ispra.it;
- Atlante cartografico geologico del territorio del Comune di Genova consistente in cartografia geologica, geomorfologica ed idrogeologica in scala 1:10.000 del territorio comunale.

3.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In relazione alla peculiarità dell'area in esame - braccio di mare tra l'aeroporto e la diga foranea - risultano di fondamentale importanza le indagini geognostiche (in sito ed in laboratorio) al fine di ricostruire la stratigrafica del sottosuolo e definire le caratteristiche dei materiali presenti. A tal fine si è provveduto in prima fase a reperire tutti i dati disponibili (presso Enti o privati all'interno dell'area in esame) e successivamente alla realizzazione di una apposita campagna di indagini mirata alla definizione degli aspetti di maggiore interesse stratigrafico, ingegneristico ed ambientale (caratterizzazione litologica e geotecnica delle diverse formazioni, prelievo di campioni per analisi meccaniche e chimiche, ecc.).

Sono stati analizzati i seguenti documenti:

- indagini geognostiche recuperate da progetti pubblici e privati (forniti da Comune di Genova, Ansaldo, Autorità Portuale, etc) ed indagini recuperate da D'Appolonia in sede di PE per la caratterizzazione dell'area;
- campagna d'indagine appositamente eseguita a nel 2011 all'interno del canale di calma e sul rilevato aeroportuale;
- campagna d'indagine condotta in area ILVA nel 2015 per la progettazione dello slurrydotto.
- sondaggi presenti nella banca dati consultabile sul Geoportale della Regione Liguria (https://geoportal.regione.liguria.it/), nella quale sono riportate le stratigrafie sommarie o le scansioni delle stratigrafie originali di centinaia di sondaggi realizzati sul territorio regionale. Sono stati analizzati i sondaggi realizzati nell'area costiera di Pegli, Sestri Ponente, Cornigliano e Sampierdarena; tra questi questi, circa 150 verticali hanno fornito indicazioni sulla natura del substrato roccioso al di sotto dei sedimenti quaternari e dei riporti antropici che costituiscono la piana costiera.
- sondaggi effettuati nell'ambito del "Progetto definitivo della nuova calata ad uso cantieristica navale all'interno del Porto Petroli di Genova Sestri Ponente e della sistemazione idraulica del Rio Molinassi" (Autorità Portuale di Genova - COCIV, 2014); documento D_0_R003_B disponibile sul sito Valutazioni Ambientali del Ministero dell'Ambiente (http://www.va.minambiente.it/).
- Indagini geofisiche a riflessione appositamente eseguite per il progetto esecutivo nei mesi di ottobre-novembre 2018. Tali indagini comprendono stendimenti effettuati sia a terra sia in mare, nel canale di calma, esternamente alla diga foranea e nel porto petroli, finalizzate alla ricostruzione tridimensionale del tetto del substrato roccioso.

Le indagini geognostiche eseguite direttamente per l'opera a mare e lo slurrydotto, sono state effettuate, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera

multidisciplinare dalla figure indicate qui di seguito: dal geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEI-GEO) per quanto riguarda la componente geologica; dagli ingegneri responsabili degli uffici opere all'aperto (GEI-APE) per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica delle terre e delle rocce e dall'ingegnere responsabile del monitoraggio ambientale (MAM) per quanto riguarda la caratterizzazione chimica delle acque e delle terre da scavo.

Nella tavola GEO0002 è riportata l'ubicazione di tutte le indagini eseguite.

3.2.1 Indagini bibliografiche (Enti e privati)

Sono state acquisite tutte le stratigrafie dei sondaggi che ricadono nell'area dell'aeroporto e del canale di calma. I documenti reperibili presso gli archivi del Comune di Genova o presso privati (Autorità Portuale, Ansaldo S.p.A., Studio Geotecnico Italiano, Studio D'Appolonia) sono stati i seguenti:

- indagini relative alla costruzione della torre di controllo (codifica M1, Anno 1980);
- indagini relative alla costruzione dell'aeroporto (codifica M2, Anni 1980-1981);
- indagini per il Porto Petroli di Genova Sestri Ponente (Codifica M4, Rodio 1962);
- indagini per il Porto Petroli di Genova Sestri Ponente (Codifica M5, Ligursonda 1969);
- indagini relative alla costruzione dell'hotel Sheraton (codifica M8, Co.Ri.Mec. 1989);
- sondaggi a mare relativi alla foce del Torrente Varenna (codifica M9, Geotecnosoil, 1988);
- indagini relative alla costruzione di un edificio uffici e magazzino alla marina di Sestri Ponente (codifica M10, 1970);
- indagini per il progetto del Porto Turistico Camillo Luglio (Codifica M15, Anno 2002);
- indagini per la nuova strada a mare di Genova Cornigliano (Codifica SK, Anno 2007);
- indagini nell'area a mare di Sestri Ponente (D'Appolonia, Codifica IB, 2014).

Le indagini risultano per lo più ubicate all'interno del Porto Petroli o sul rilevato aeroportuale. I certificati sono riportati nell'elaborato APE0003.

PROGETTO	ANNO	IMPRESA/ RIFERIMENTO	CODIFICA	TIPOLOGIA DI INDAGINE
Costruzione della torre di controllo	1980	Studio Celotti	M1	n. 1 sondaggio (profondità dubbia)
Costruzione dell'aeroporto	1981	Consorzio autonomo del Porto di Genova	M2	n. 4 sondaggi n. 5 DPSH prove di laboratorio
Costruzione del Porto Petroli	1962	Rodio	M4	n. 34 sondaggi
Costruzione del Porto Petroli	1961-1969	Ligursonda	M5	n. 3 sondaggi
Costruzione dell'hotel Sheraton	1989	Corinec Italiana S.p.A.	M8	n. 10 sondaggi
Indagini a mare alla foce del T. Varenna	1988	Geotecnosoil Consorzio autonomo del Porto di Genova	M9	n. 4 sondaggi
Indagini relative alla costruzione di un edificio uffici e magazzino alla marina di Sestri Ponente	1970	Aeroporto di Genova	M10	n. 4 sondaggi
Indagini per il progetto del Porto Turistico	2002	Promogeo Porto di Genova	M15	n. 17 sondaggi n. 3 CPTU

PROGETTO	ANNO	IMPRESA/ RIFERIMENTO	CODIFICA	TIPOLOGIA DI INDAGINE
Camillo Luglio				
Indagini per la nuova strada a mare di Genova Cornigliano	2007	-	SK	n. 1 sondaggio (stratigrafia sommaria) n. prove di laboratorio (tabella riepilogativa)
Indagini nell'area a mare di Sestri Ponente	2014	D'Appolonia	IB	n. 5 sondaggi

3.2.2 Indagini progetto definitivo 2010

Nell'ambito del progetto definitivo 2010 è stata eseguita una campagna geognostica finalizzata a:

- Consentire la ricostruzione della litologica e geologia nel sottosuolo;
- Eseguire prove in sito per definire le caratteristiche geotecniche dei materiali;
- Prelevare campioni da sottoporre alle prove di laboratorio (geotecnico, geomeccanico e chimico-ambientale)
- Definire le caratteristiche sismiche dei materiali (Vs30) in accordo con Il D.M. del 14/01/08 "Nuove norme tecniche per le costruzioni".

Le attività sono state svolte principalmente nel canale di calma antistante l'aeroporto e in misura minore sul medesimo rilevato aeroportuale; al fine di meglio caratterizzare i materiali dal punto di vista geotecnico, sono state anche eseguite prove CPTU e prove con il dilatometro Marchetti.

In particolare nel canale di calma sono state svolte le seguenti attività:

- N. 10 sondaggi a carotaggio continuo (SJ1, SJ2, SJ3, SJ5, SJ5bis, SJ6, SJ8, SJ8bis, SJ9, SJ9bis) con esecuzione di prove SPT
- N. 4 prove con dilatometro piatto tipo Marchetti (DMT1, DMT2, DMT6, DMT8)
- N. 4 prove penetrometriche CPT-U eseguite utilizzando apposita punta tipo CPT-WD (CPTU-J2, CPTU-J5, CPTU-J6, CPTU-J8)
- N. 2 sondaggi a distruzione (SJ2bis e SJ6bis) al fine di eseguire le prove Cross Hole.

Sul rilevato aeroportuale sono invece state svolte le seguenti attività:

- N. 2 sondaggi a carotaggio continuo (SJ4, SJ7,) con esecuzione di prove SPT
- N. 2 prove penetrometriche statiche con piezocono CPT-U (CPTU-J4,CPTU-J7)
- N. 1 sondaggio a distruzione (SJ4bis) al fine di eseguire la prova Cross Hole.

Sui campioni prelevati nei sondaggi sono state eseguite prove di laboratorio al fine di definire le caratteristiche geotecniche dei materiali.

Sono stati inoltre prelevati campioni d'acqua e di terreno al fine di determinare le caratteristiche chimiche dei materiali presenti nella zona interessata dal progetto.

Sono stati analizzati i seguenti campioni:

- 28 campioni di terreno
- 3 campioni d'acqua

La seguente tabella sintetizza tipologia e profondità dei sondaggi eseguiti; gli elaborati sono riportati nei documenti GEO0003 e GEO0004.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ	TIPOLOGIA	INCLINAZIONE
SJ1	48	carotaggio continuo	verticale
SJ2	60	carotaggio continuo	verticale

SONDAGGIO	PROFONDITÀ	TIPOLOGIA	INCLINAZIONE
SJ3	49	carotaggio continuo	verticale
SJ4	50	10 m a distruzione e 40 a carotaggio	verticale
SJ5	33	carotaggio continuo	verticale
SJ5bis	42	25 m a distruzione e 17 a carotaggio	verticale
SJ6	60	carotaggio continuo	verticale
SJ7	50	carotaggio continuo	verticale
SJ8	30	carotaggio continuo	verticale
SJ8bis	60	28 m a distruzione e 32 a carotaggio	verticale
SJ9	50	carotaggio continuo	verticale
SJ9bis	60	45 m a distruzione e 15 a carotaggio	verticale

3.2.3 Indagini integrative progetto definitivo 2015

Nell'ambito delle integrazioni 2015 al progetto definitivo 2010 è stata eseguita una campagna geognostica all'interno dell'area ILVA per definire le caratteristiche geologico-geotecniche dei materiali in corrispondenza dello sviluppo dello slurrydotto.

Sono quindi stati eseguiti:

- N. 6 sondaggi a carotaggio continuo con prove SPT, Prove Menard e prove Lefranc;
- N. 2 sondaggi a distruzione al fine di eseguire le prove Cross Hole.

SONDAGGIO	PROFONDITÀ	TIPOLOGIA	INCLINAZIONE
VS12-S1	30	carotaggio continuo	verticale
VS12-S2	30	carotaggio continuo	verticale
VS12-S3	35	carotaggio continuo	verticale
VS12-S3bis	35	distruzione di nucleo	verticale
VS12-S3ter	35	distruzione di nucleo	verticale
VS12-S4	30	carotaggio continuo	verticale
VS12-S5	30	carotaggio continuo	verticale
VS12-S6	30	carotaggio continuo	verticale

Sui campioni prelevati nei sondaggi sono state eseguite prove di laboratorio al fine di definire le caratteristiche geotecniche dei materiali. Gli elaborati sono riportati nei documenti GEO0005 e GEO0006.

3.2.4 Indagini geofisiche progetto esecutivo 2018

Nell'ambito del progetto esecutiva 2018 è stata condotta una campagna di indagini geofisiche a riflessione con tecnica multicanale ad alta definizione. L'indagine è finalizzata alla ricostruzione del tetto del substrato roccioso rinvenuto anche nei sondaggi SJ5 e SJ5bis. La geofisica ha coinvolto in tre differenti ambiti:

- N. 1 stendimento a terra lungo una strada esterna all'aeroporto (Linea 8);
- N. 3 stendimenti longitudinali all'opera a mare di cui due all'interno del canale di calma ed uno esterno alla diga foranea (Linee G, B ed H);
- N. 4 stendimenti nell'area del Porto Petroli (Linee D, E, F ed N).

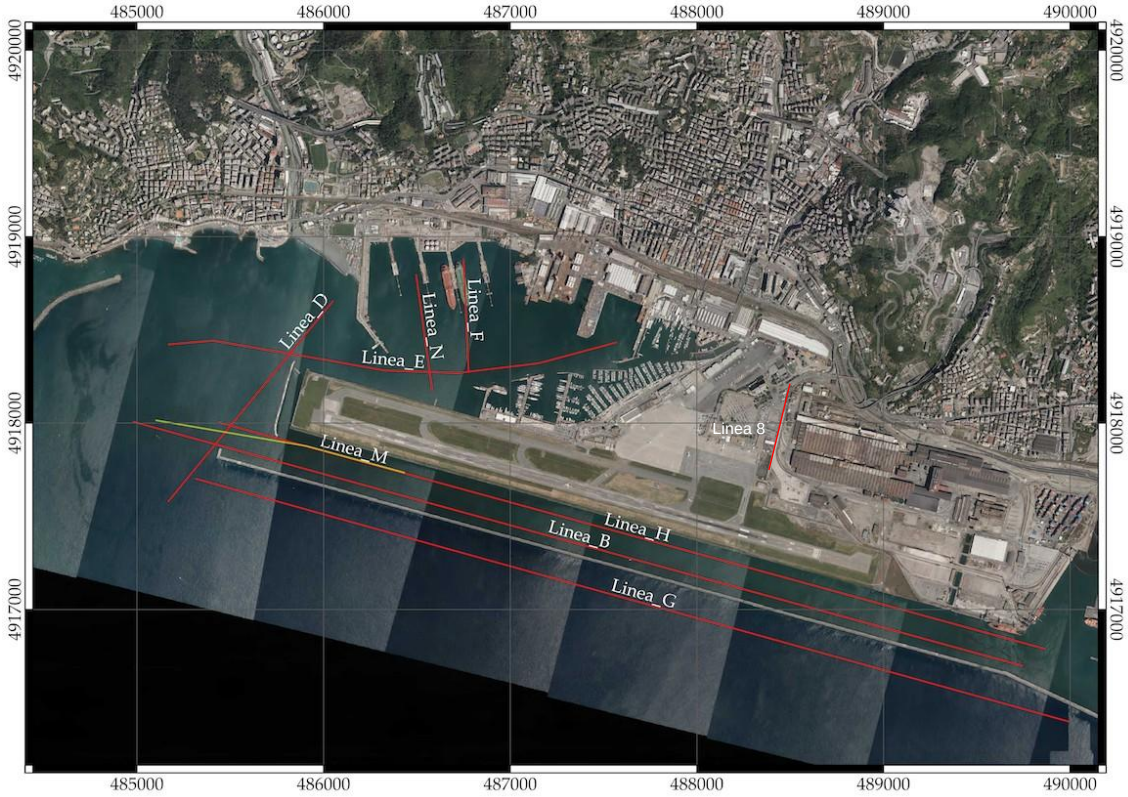


Figura 3-1. Ubicazione stese geofisica 2018

Gli elaborati prodotti dagli specialisti geofisici sono contenuti nel documento GEO0009 mentre la ricostruzione del tetto del substrato è riportata in allegato 3 alla presente relazione e nelle tavole GEO0007 e GEO0008.

4 CARTOGRAFIA TEMATICA

Sulla base delle attività conoscitive e di tutti i dati raccolti, è stato ricostruito il quadro geologico dell'area di studio descritto negli elaborati GEO0002, GEO0007 e GEO0008 che contengono:

- la planimetria di ubicazione indagini a scala 1:5000;
- la planimetria con la batimetria del tetto del substrato roccioso a scala 1:5000 e la litologia del substrato riscontrato nei sondaggi;
- il profilo geologico longitudinale (a scala orizzontale 1:5000 e verticale 1:500 ed 1:5000) e la linea sismica B (a scala 1:5000)
- tre profili trasversali (a scala orizzontale 1:5000 e verticale 1:500 ed 1:5000).

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE DELL'AREA GENOVESE

L'area in esame si inserisce in un settore di grande complessità strutturale, che tradizionalmente giustappone il dominio orogenico alpino a quello appenninico, descritto in letteratura come "*nodo collisionale ligure*" (Laubscher at. al., 1992).

- Procedendo da ovest verso est, sono riconoscibili tre settori con caratteristiche geologiche e strutturali peculiari:
- il Gruppo di Voltri (Unità di Voltri e Unità Palmaro-Caffarella)
- la Zona Sestri Voltaggio
- Il Dominio dei Flysch costituito da quattro unità tettoniche sovrapposte.

Il Gruppo di Voltri e la Zona Sestri - Voltaggio, sono separati da un lineamento strutturale diretto N-S, noto in bibliografia come "Linea Sestri Voltaggio", alla quale viene fatto corrispondere il limite fisico tra Alpi ed Appennini. Tale lineamento tettonico è stato variamente interpretato in letteratura: come faglia trasforme (Elter e Pertusati, 1973), come thrust (Cortesogno e Haccard, 1984) o come faglia estensionale (Hoogerduijn Strating, 1994). Attualmente è riconosciuta come parte di un complesso sistema di concentrazione preferenziale della deformazione legata a regimi tettonici esplicatisi a livelli strutturali diversi in momenti diversi della storia evolutiva della catena (Crispini et al. 2009).

La storia geologica di questo settore delle Alpi Liguri inizia nel Giurassico medio quando, in seguito all'apertura dell'Atlantico centrale ed alla deriva verso est della placca africana, si vennero a creare le condizioni per l'apertura di un bacino oceanico (bacino ligure - piemontese) compreso tra il paleo-continente europeo (avampaese) ed il paleo-continente africano (dominio insubrico) (v. fig. 1). Successivamente, si instaurarono le condizioni che portarono all'orogenesi alpina, con la progressiva chiusura del bacino con la collisione tra i due paleo-continenti.

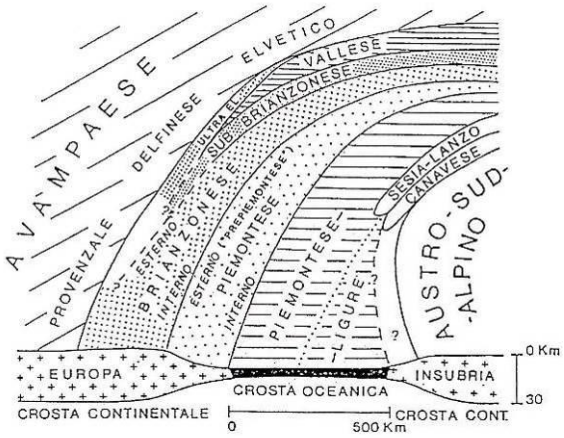


Figura 5-1. Schema paleogeografico ipotetico durante il Giurassico medio superiore dall'esterno avampaese) all'interno (Austro-Sudalpino) (Vanossi, 1991)

Le principali fasi orogenetiche alpine si sono realizzate in quest'area tra i 90 ed i 40 milioni di anni fa (Cretaceo sup. - Eocene), determinando la deformazione sia dei depositi oceanici (per altro in gran parte subdotti), sia dei depositi continentali, prossimi alla zona di sutura, che risultano traslati verso l'avampaese: ne consegue una struttura a falde di ricoprimento. Ognuna di queste falde costituisce tradizionalmente una unità tettonica o stratigrafico - strutturale la cui successione stratigrafica e la relativa posizione nell'edificio della catena testimoniano, pur con alcune incertezze, l'appartenenza ad un dato dominio paleogeografico.

Alla fine dell'Eocene le Alpi Liguri risultano ormai formate ed emerse (anche se ancora in sollevamento) e costituiscono la zona di alimentazione dei depositi postorogenici.

Tra l'Oligocene sup. ed il Miocene inf. viene a crearsi, nell'area a sud, un braccio di mare (Mar Ligure) in conseguenza alla rotazione antioraria del Blocco Sardo-Corso mentre ad est è presente il Bacino Terziario Ligure - Piemontese (i cui depositi caratterizzano la zona delle Langhe ed affiorano solo sporadicamente nell'area genovese).

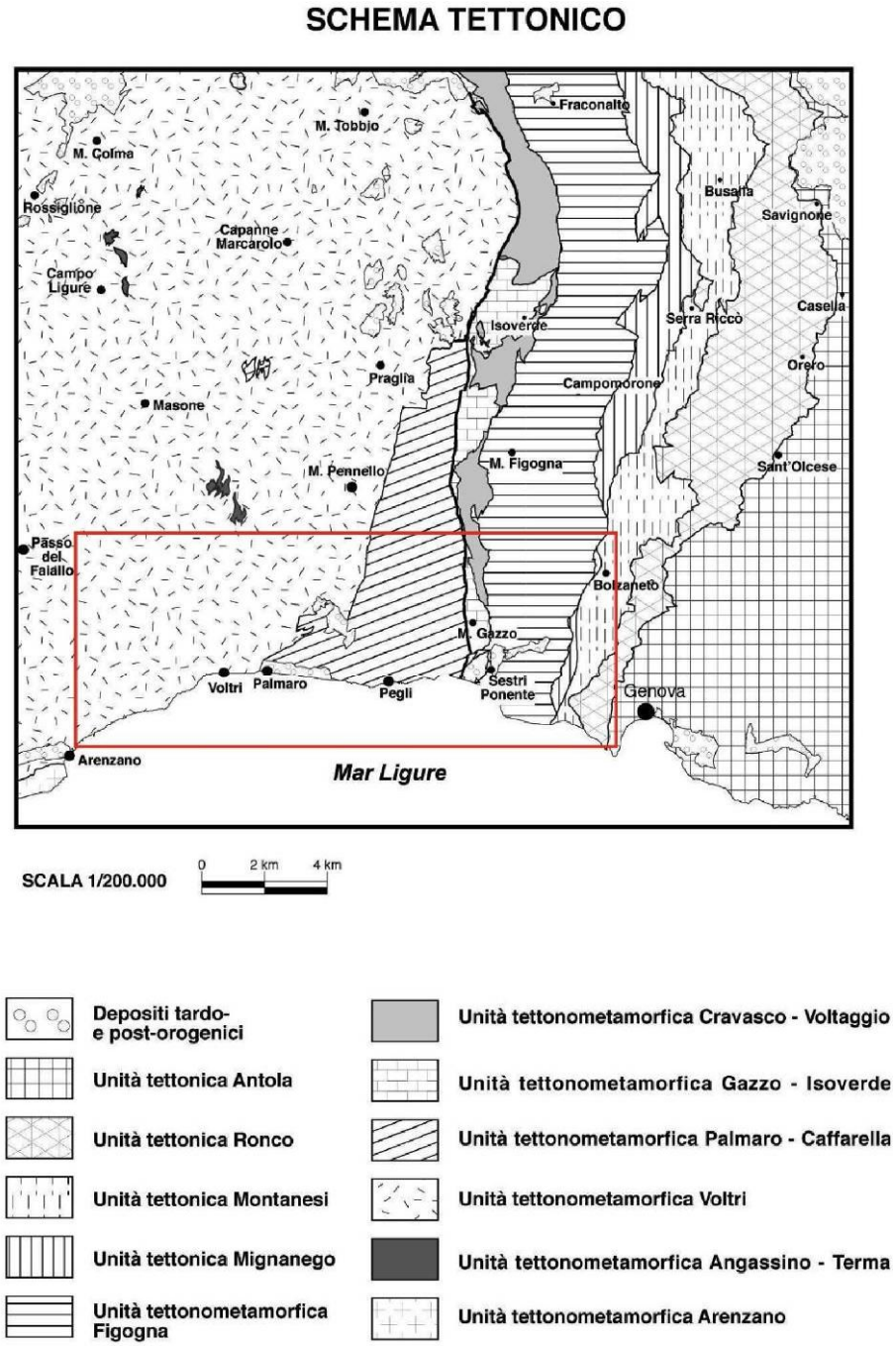


Figura 5-2. Schema tettonico dell'area (tratto da Capponi e Crispini, 2008).

Il Messiniano rappresenta una cesura di primaria importanza dal punto di vista dell'evoluzione fisiografica del territorio, poiché l'abbassamento drastico del livello base dell'erosione ha "congelato", il reticolo idrografico preesistente. Le principali strutture vallive e le dorsali montuose si delineano in modo già simile all'attuale. Nel contesto delle unità recenti questo dato è significativo poiché tutti i depositi posteriori suturano una paleogeografia continentale complessa e morfologicamente matura, in cui gli assi vallivi corrispondono generalmente a quelli attuali e su cui la sedimentazione è

funzione del tasso di sollevamento della catena e delle variazioni eustatiche del livello del mare. Si assiste quindi a eventi polifasici di erosione e deposizione all'interno delle valli. La linea di costa si presentava frastagliata, con valli in cui sfociavano i corsi d'acqua. L'ambiente prossimale è quindi caratterizzato da depositi fini schiettamente marini e da depositi grossolani derivati sia dagli apparati deltizi sia dal detrito di versante della costa alta. La Formazione delle Argille di Ortovero è l'espressione sedimentaria degli eventi deposizionali verificatisi durante il Pliocene.

Gruppo di Voltri

I litotipi appartenenti a questo Gruppo sono riferibili al dominio piemontese - ligure ovvero ad un bacino oceanico, costituito da originarie rocce intrusive ed effusive e da sedimenti di vario tipo deposti sopra le lave basaltiche; in letteratura sono state distinte al suo interno numerose Unità tettono-metamorfiche riconducibili tradizionalmente a due insiemi principali:

- Unità costituite prevalentemente da rocce metagabbriche e serpentinitiche (Unità Beigua, Unità Ponzema, Unità S.Luca Colma).
- Unità costituite da prevalenti calcescisti e prasiniti (metabasiti), ma anche da subordinate rocce di origine mantellica quali serpentiniti e peridotiti (Unità Alpicella, Unità Ortiglieto, Unità Palmaro-Caffarella, Unità Voltri-Rossiglione).

I litotipi dell'Unità Voltri hanno registrato un picco metamorfico eclogitico mentre la riequilibratura metamorfica delle rocce dell'Unità Palmaro-Caffarella è limitata alla facies scisti-blu (Federico et al. 2004).

L'evoluzione degli studi petrografico-strutturali, svolti in anni recenti, ha portato ad una diversa articolazione delle unità tettono-metamorfiche; in particolare l'Unità tettono-metamorfica Palmaro-Caffarella verrebbe separata dall'Unità del Gruppo di Voltri in quanto le sue caratteristiche petrografiche indicherebbero una diversa evoluzione metamorfica. Nel presente studio si è deciso, comunque, di mantenere unite le due unità sopra citate in quanto gli elementi distintivi non sono identificabili in affioramento (necessitano di analisi in sezione sottile per identificare le paragenesi).

Zona Sestri - Voltaggio

Interessa la dorsale montuosa che costituisce la parte alta del versante in destra idrografica della Val Polcevera e comprende Unità tettono-metamorfiche estremamente differenti per litologia e livello di metamorfismo (Capponi e Crispini, 2008):

- Unità Gazzo-Isoverde, costituita da successioni prevalentemente carbonatiche di età mesozoica;
- Unità Cravasco - Voltaggio, costituita da serpentiniti, metagabbri e matabasalti, e dalle relative coperture metasedimentarie;
- Unità del M.Figogna, costituita da serpentiniti, metabasiti e delle relative coperture metasedimentarie costituite da successioni di sedimenti silicei, da metacarbonati e da argilloscisti con livelli carbonatici e silicoclastici fini.

Il livello del metamorfismo è progressivamente decrescente passando dalle unità Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde (facies scisti blu) all'Unità Figogna (facies pumpellyite-actinolite).

Dominio dei Flysch

Interessa la valle del Torrente Polcevera e la zona ad est e comprende, nell'area del progetto, quattro Unità Tettoniche (Mignanego, Montanesi, Ronco e Antola) assai omogenee dal punto di vista litologico, con un grado di metamorfismo progressivamente decrescente procedendo da W verso E (Mignanego, Montanesi e Ronco con metamorfismo anchizonale e Antola non metamorfica). Queste unità si presentano impilate con vergenza da E verso W, e occupano grossomodo fasce allungate in senso N-S.

5.2 EVOLUZIONE TETTONICA DELL' AREA GENOVESE

Tutte le diverse unità tettoniche e tettonometamorfiche sono caratterizzate da un'evoluzione deformativa polifasica definita da almeno quattro eventi deformativi principali sovrapposti.

Le tracce di questa storia evolutiva sono rinvenibili sia direttamente in affioramento, come nel caso delle pieghe di generazione diversa presenti nelle unità tettonometamorfiche, sia indirettamente, come ad esempio nel caso degli eventi deformativi D3 e D4, ipotizzati per le unità di flysch sulla base di considerazioni cartografico-strutturali (Capponi & Crispini, 2008).

Nelle unità tettonometamorfiche, le associazioni strutturali legate ai diversi eventi deformativi sono chiaramente riferibili a traiettorie seguite dai volumi rocciosi attraverso livelli crostali progressivamente più superficiali.

Gli eventi deformativi D1 e D2

I primi due eventi (D1 e D2) mostrano caratteri geometrici simili, in quanto rappresentati prevalentemente da sistemi di pieghe isoclinali-traspositive espresse a tutte le scale. Il piegamento sovrapposto D1/D2 è responsabile della parallelizzazione delle superfici preesistenti alle nuove foliazioni di piano assiale, con la conseguente formazione di una superficie di origine composita a pervasività regionale, nel seguito indicata come SP (Scistosità Principale). Questa foliazione è generalmente quella più penetrativa alla scala dell'affioramento e nell'Unità Voltri è anche costituita da foliazioni eclogitiche legate alle fasi di subduzione pre-D1\D2 (evento preD1; Capponi & Crispini, 2002).

La superficie SP è piegata dalle strutture D1\D2 secondo direzioni assiali con andamento medio tra N-S e NNE-SSW e superfici assiali con inclinazioni da medie a elevate, generalmente verso E; l'inclinazione della SP aumenta procedendo verso il settore E dell'unità Voltri fino a essere subverticale in prossimità del contatto con la Zona Sestri-Voltaggio.

Le pieghe D1\D2 deformano sia le principali superfici di contatto interne all'Unità Voltri, sia quelle tra le Unità Gazzo Isoverde e Cravasco Voltaggio suggerendo giustapposizioni tettoniche pre-D2, mentre la superficie di contatto tra queste due unità e l'Unità Figogna non risulta deformata dalle strutture sin-D2.

Le pieghe D1/D2 sono distinguibili con sicurezza solo quando sono sovrapposte geometricamente, generalmente secondo figure di interferenza di tipo 3 (Ramsay, 1967); nelle unità tettonometamorfiche a, causa dell'elevata componente di deformazione non coassiale che ha caratterizzato i primi due eventi deformativi, queste strutture possono assumere morfologie variabili tra le pieghe cilindriche e le pieghe a guaina (Capponi & Crispini, 2002).

Nell'unità Voltri, gli eventi D1 e D2 sono coevi con intervalli di riequilibratura metamorfica compresi tra la facies scisti verdi ad anfibolo sodico e la facies scisti verdi e sono correlati alla fase di esumazione e messa in posto delle unità metamorfiche (Capponi & Crispini, 2002); nelle Unità Palmaro-Caffarella, Cravasco-Voltaggio e Gazzo-Isoverde, le strutture D1\D2 sono coeve con la facies metamorfica scisti blu. Nell'Unità Figogna, le paragenesi sin-D1\D2 sono quelle tipiche della facies a pumpellyite-actinolite (Crispini & Capponi, 2001).

L'eterogeneità della propagazione e della distribuzione della deformazione sin-D2, procedendo in direzione della zona di contatto tra l'Unità Voltri e le unità della Zona Sestri-Voltaggio, potrebbe rappresentare un effetto dell'attività della Linea Sestri-Voltaggio già a partire dagli stadi finali dell'evento D2 sin-scisti verdi (Crispini & Capponi, 2001). In particolare l'anisotropia reologica rappresentata dal contatto tra le rocce dell'Unità Voltri e i litotipi carbonatici dell'Unità Gazzo-Isoverde avrebbe rappresentato un importante fattore di controllo per la localizzazione delle Linea Sestri-Voltaggio (Capponi & Crispini, 2002).

Il ruolo della Linea Sestri-Voltaggio e più in generale l'architettura della zona di contatto tra le Alpi occidentali e l'Appennino settentrionale in Liguria centrale vanno infatti inquadrati nell'evoluzione geodinamica tardo-eocenica/miocenica del cosiddetto "Nodo Ligure" (Laubscher et alii, 1992), caratterizzata dalla convergenza obliqua tra la placca Adria e quella europea, a causa del movimento verso NW della placca Adria che avrebbe indotto la contemporanea rotazione antioraria della microplacca corso-sarda (Molli et al., 2010 con bibliografia). Gli effetti dei conseguenti

retroscorrimenti delle Alpi liguri sulle unità appenniniche e dell'indentazione complessa della crosta europea e adriatica si sarebbero prevalentemente manifestati con eventi deformativi caratterizzati dalla coesistenza di strutture fragili-duttili e fragili legate a identiche condizioni termo-bariche.

L'evento deformativo D3

Il successivo evento deformativo D3, coevo con facies metamorfiche comprese tra scisti verdi e scisti verdi inferiore, è infatti caratterizzato dalla coesistenza di sistemi di pieghe e zone di taglio le cui caratteristiche testimoniano un'evoluzione progressiva della deformazione verso livelli strutturali più superficiali (Capponi & Crispini, 2002).

Le pieghe D3 sono strutture da decimetriche a decametriche con profili aperti, assi debolmente inclinati sia verso NNE che verso SSW e piani assiali sub-orizzontali, frequentemente riattivati come zone di taglio fragili-duttili a basso angolo. Questo evento plicativo, scarsamente scistogeno, piega ad alto angolo la foliazione composita regionale e i fianchi delle strutture D1\D2 ed è espresso in modo omogeneo nel settore oggetto di questo studio.

Al piegamento sin-D3 sono associati sistemi di zone di taglio inverse da duttili a fragili-duttili, poco inclinate, con direzioni WNW-ESE e con caratteri tipici di processi deformativi assistiti da intense attività di fluidi carbonatici, come nei sistemi idrotermali a controllo tettonico. L'azione metasomatica è stata tale da idratare e carbonatare le rocce incassanti, trasformandole; ad esempio, le serpentiniti sono state trasformate in scisti a clorite, tremolite e actinolite, oppure in serpentiniti carbonatate.

Queste zone di taglio si sono sviluppate progressivamente in un ampio intervallo di tempo, in quanto tagliano le pieghe D3 o sono piegate da queste secondo assi sub-orizzontali NE-SW (Spagnolo et al. 2007). Le analisi cinematiche condotte da questi Autori suggeriscono per l'evento D3 una direzione regionale di raccorciamento finito diretta NW-SE.

L'evento deformativo D4

L'evento deformativo D4 è espresso in modo omogeneo da un'associazione strutturale costituita da pieghe, sovrascorrimenti e sistemi di faglie.

Le pieghe D4 sono distribuite in modo omogeneo in tutta l'Unità Voltri, hanno profili aperti, lunghezza d'onda plurichilometrica e assi sub-orizzontali diretti tra N-S e NW-SE. I piani assiali sono caratterizzati da direzioni N-S e NW-SE, ridotti valori di inclinazione verso W e sono talora associati a minerali della facies a zeolite. Queste strutture sono fortemente asimmetriche, con una marcata vergenza verso E-NE e in diversi settori dell'Unità Voltri deformano i livelli di età oligocenica del Bacino Terziario Piemontese (Capponi et al., 2001) senza tuttavia coinvolgere i termini del Miocene inferiore (d'Atri et al., 1997); grazie a questi vincoli stratigrafici è quindi possibile delimitare l'evento D4 alle fasi iniziali del Miocene inferiore.

I fianchi delle pieghe D4 sono frequentemente riattivati come sovrascorrimenti con direzioni di trasporto E-NE, associati allo sviluppo di livelli di potenza fino a decametrica di rocce di faglia di diverso tipo. Queste strutture sono caratterizzate da fronti a persistenza chilometrica e sono associate a mineralizzazioni a zeolite, clorite e carbonati indicative di livelli crostali piuttosto superficiali.

A questo evento deformativo sono inoltre riferiti sistemi di faglie particolarmente ben espressi nel settore orientale dell'Unità Voltri in prossimità del contatto con la Zona Sestri-Voltaggio. Sulla base dell'orientazione e dei caratteri cinematici delle strutture più frequenti e persistenti è possibile definire due diversi domini strutturali (Crispini et al., 2009), uno a Nord e l'altro a Sud del settore di contatto; quest'ultimo è quello che interessa più da vicino il tracciato della Gronda.

Nel dominio settentrionale, le faglie hanno direzioni NW-SE e NE-SW, mentre in quello meridionale sono presenti faglie dirette N-S e NE-SW. Le faglie di tutti e due i domini sono subverticali, sono associate a livelli di rocce di faglia di potenza da decimetrica a metrica e sono caratterizzate da strie da sub-orizzontali a moderatamente inclinate, con sensi di movimento prevalentemente destri, molte volte di tipo inverso. Nelle zone di faglia N-S e NW-SE sono inoltre comuni strutture a fiore positivo. L'andamento della Zona Sestri-Voltaggio, delimitata da queste strutture, è caratterizzato a N da direzioni NW-SE, al centro da direzioni NNE-SSW e infine a S da direzioni N-S.

Le faglie del sistema NE-SW, sempre subverticali, sono solitamente più corte delle precedenti e possono tagliare i sistemi di faglie longitudinali N-S e quelli NW-SE. Queste strutture sono localmente

molto frequenti, definendo zone di concentrazione della deformazione, oppure possono assolvere al ruolo di svincoli meccanici (tear faults) dei sistemi di sovrascorrimenti D4 sopra descritti.

Altri sistemi di faglie minori sono costituiti da faglie normali dirette NNE-SSW e WSW-ENE e da sistemi tardivi diretti E-W, anche di lunghezza chilometrica, i quali possono tagliare tutte le strutture descritte.

In tutti i diversi sistemi di faglie sono comuni fenomeni di riattivazione tardiva con movimenti di tipo normale.

Le associazioni strutturali D4 sono geometricamente e cinematicamente congruenti con un raccorciamento regionale NE-SW, responsabile di un regime transpressivo destro lungo le strutture principali a direzione circa N-S, attivo fino all'inizio del Miocene inferiore. Questo quadro cinematico sarebbe in accordo con il contesto geodinamico oligocenico-miocenico di questo settore della catena alpino-appenninica, caratterizzato dalla tettonica transpressiva legata alla convergenza obliqua delle placche europea e adriatica. In particolare la zona Sestri-Voltaggio rappresenterebbe un importante sistema di svincolo cinematico destro (Elter & Pertusati, 1973; Sturani; 1975; Crispini et al. 2009).

Il seguente schema (derivato da Capponi e Crispini, 2008e aggiornato con i risultati dal presente lavoro) sintetizza la distribuzione delle unità tettonometamorfiche, dei relativi contatti tettonici e delle principali zone di faglia.

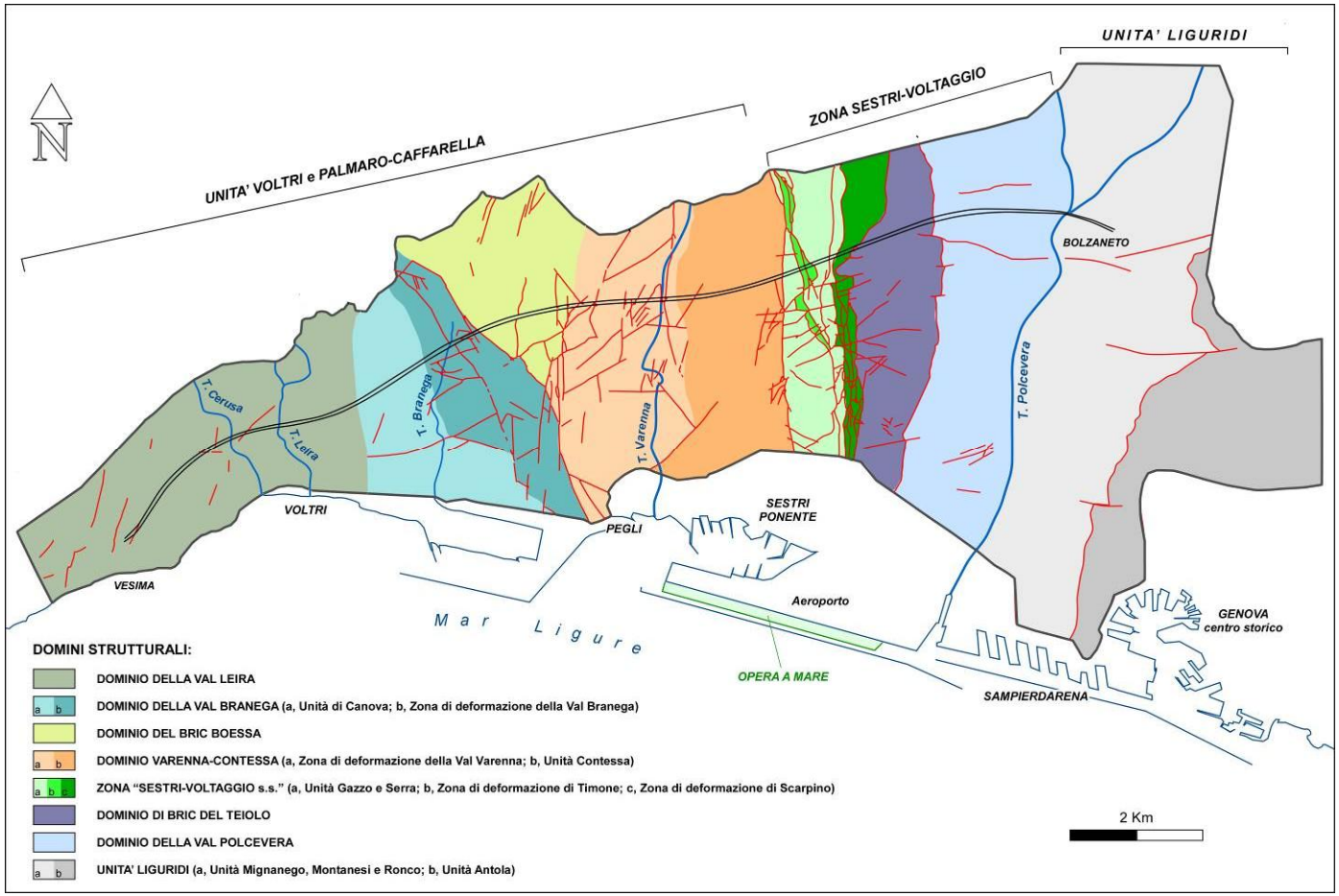


Figura 5-3. Schema tettonico dell'area di studio

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO-STRUTTURALE DEL GOLFO DI GENOVA

6.1.1 Lineamenti morfostrutturali

Gli studi di geofisica e geologia marina hanno messo in evidenza come il Mar Ligure, che si estende tra la costa ligure-toscana e la Corsica nord-occidentale, sia costituito, dal punto di vista strutturale, dalle propaggini settentrionali di due sistemi di bacini di diversa origine ed evoluzione: il Bacino Ligure ad Ovest e la continuazione del Tirreno settentrionale ad Est. (Bacino di Viareggio e sua prosecuzione occidentale).

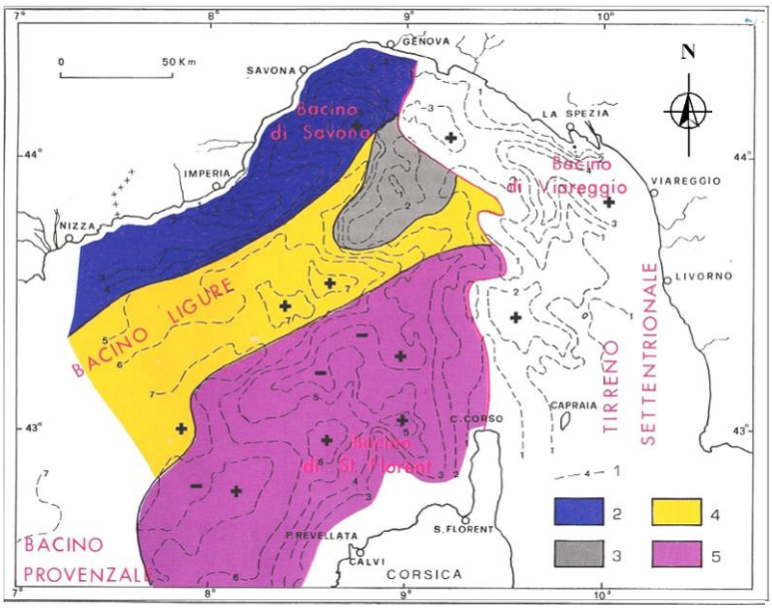


Figura 6-1. Morfologia e partizioni strutturali del substrato (1. Isocrone in twd, secondi 2. Margine Ligure 3.Seamounts, paleo margine corso 4. Bacino Ligure 5. Margine corso attuale)

La zona del Bacino Ligure è caratterizzata da una depressione principale ad asse NE-SW con substrato di crosta continentale molto assottigliata o di transizione formatasi a partire dalle fasi iniziali (Oligocene superiore) di migrazione del blocco sardo-corso verso est ed accentuatasi in tempi post-Messiniani.

Il settore orientale, situato ad est della zona dei seamounts e di Capo Corso, si presenta come un'area costituita da ampi bacini a substrato continentale con colmate sedimentarie di notevole potenza, generati a seguito della tettonica distensiva post tortoniana (Miocene Sup.) che dà origine a tutto il sistema tirrenico (Fanucci et al., 1987).

L'area comprendente il Mar Ligure può quindi essere ripartita, in base ai suoi caratteri morfo-strutturali, in alcuni settori che si differenziano per l'attività neotettonica e per le caratteristiche della geometria dei bacini plio-quaternari:

- da Ventimiglia ad Imperia si ha un classico margine abrupto interessato da canyon profondamente incisi, al cui sbocco si trovano accumuli sedimentari paragonabili a piccoli "deep sea fan";
- da Imperia a La Spezia, attraversando la Valle di Genova, il margine del Golfo di Genova è caratterizzato da ampie depressioni laddove si alternano zone di forte accumulo sedimentario a zone di erosione (canyon); i depositi Plio-Quaternari arrivano ad assumere potenze considerevoli (diverse centinaia di metri, con forti variazioni laterali di potenza comprese tra 125 e 800 metri circa, cfr. Soulet et al., 2016);
- ad Est di Genova, (parte settentrionale del settore corso – toscano) il Mar Ligure è costituito da bacini allungati parallelamente alla costa e alle strutture tettoniche longitudinali ad essa (attualmente faglie normali), a partire dalle quali si originano importanti fenomeni gravitativi quali la Frana di Portofino e quelli al margine del canyon di Levante, con sviluppo dei bacini

longitudinali alla costa fino alla valle del Bisagno, Fanucci et al., 2016). La parte simmetrica, verso occidente, di questo bacino, ha invece caratteri simili a quelli del margine corso adiacente.

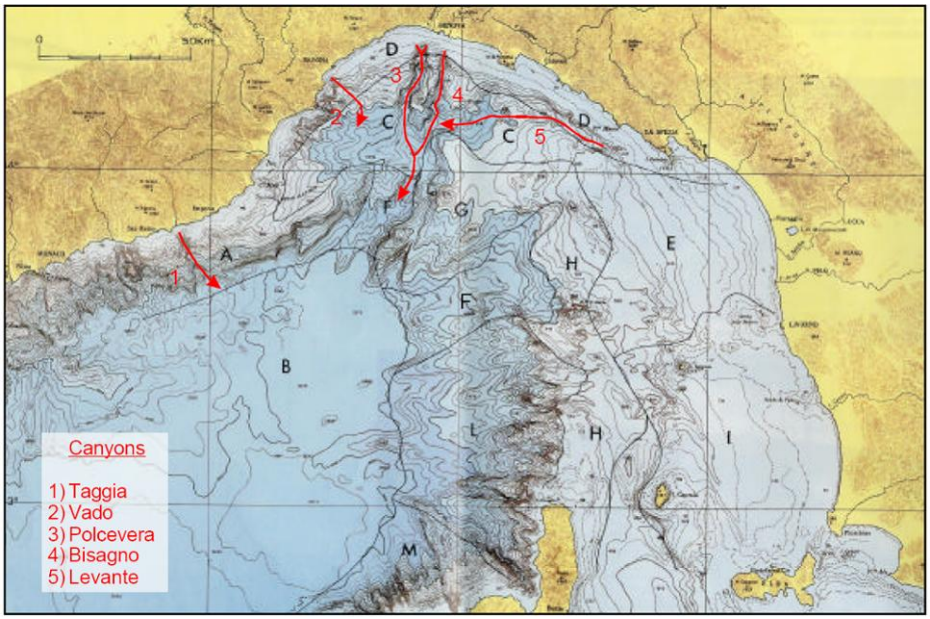


Figura 6-2. Carta batimetrica del Mar Ligure con indicazione dei settori morfostrutturali e dei principali canyons (A: Scarpate alpine ad ovest di Imperia; B: Bacino ligure principale; C. Bacino del Golfo di Genova; D: Scarpate interne al Golfo di Genova; E: Bacini della toscana settentrionale F: Graben "Valle di Genova" - comprendente i canyons del Polcevera 3 e del Bisagno 4 - e "Valle di la Spezia"; G e H : Alti strutturali dei Seamounts; I: Arcipelago Toscano; L: Scarpate corso toscane; M: Scarpate della Corsica). Tratta da Morelli, 2008.

L'evoluzione tettonica disgiuntiva responsabile dell'evoluzione del Mar Ligure e dei suoi margini a partire dal Miocene medio ha condizionato in maniera importante la distribuzione e l'accumulo dei sedimenti plio-quaternari.

La sequenza neotettonica può essere così sintetizzata:

- fase distensiva, collocabile temporalmente a partire dal Miocene Medio, che porta alla formazione di aree di sedimentazione con direttrici N-S sulla costa ligure;
- fase compressiva, collocabile temporalmente al passaggio tra Miocene medio e Miocene superiore, con deformazione dei Bacini suddetti ed esteso processo di sollevamento ed erosione;
- nel Tortoniano (Miocene sup.) la sedimentazione riprende in nuovi bacini di distensione, il cui asse nel Bacino Ligure si dispone in senso SW-NE; la deposizione è inizialmente terrigena e successivamente evaporitica;
- nel Pliocene inferiore la costa ligure viene interessata da una trasgressione con sedimentazione di ambiente batiale e successivamente da importanti apparati deltizi, che indicano un ringiovanimento del rilievo e l'inizio di una regressione;
- nel Pliocene sup. – Pleistocene il Bacino ligure è in fase di subsidenza;
- la tettonica pliocenica e quaternaria è essenzialmente distensiva o almeno con prevalenti effetti distensivi superficiali, con diverse fasi separate, e risulta essere ancora in atto, come testimoniato dal continuo sollevamento della zona costiera e della prima fascia off-shore, stimabile in almeno 400 metri nella zona di Genova (Ferraris et al., 2012).

In sintesi tale tettonica ha condizionato la distribuzione e l'accumulo dei sedimenti Plio-quaternari come segue:

- creazioni di depressioni, soprattutto nelle fasi neo e medio-plioceniche;
- mantenimento di bacini preesistenti o di neoformazione con accumulo di sedimenti al loro interno;
- creazione e mantenimento di avvallamenti normali alla costa (canyon) lungo i quali si incanalano le correnti di fondo.

6.1.2 Inquadramento geomorfologico

La morfologia dei fondali nella zona centrale del Golfo di Genova presenta particolari caratteristiche a causa dei due profondi ed estesi canyon sottomarini (vedi fig. 4-6) le cui testate si aprono al limite della piattaforma continentale in corrispondenza delle foci dei torrenti Bisagno e Polcevera; i canyon interessano tutta la scarpata e parte dell'ampio pre-continente sino a 1200 metri di profondità (Fanucci et al., 1974)

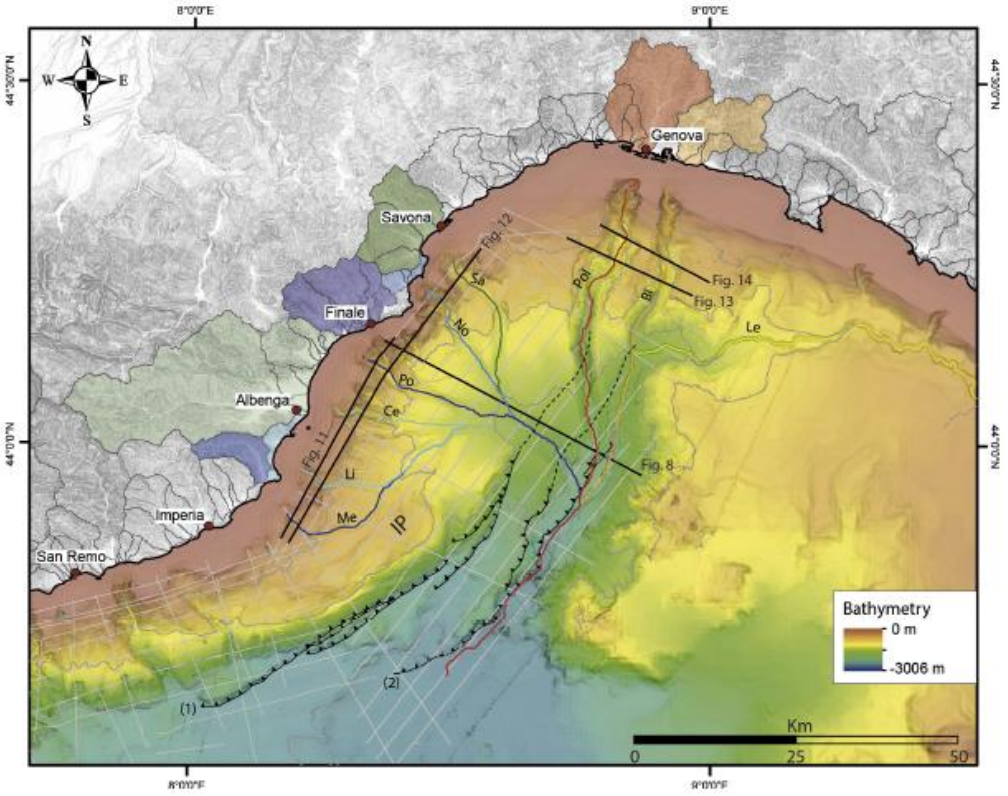


Figura 6-3. Mappa batimetrica del Golfo di Genova con indicazione delle principali strutture tettoniche (linee dentate) e dei canyon sottomarini. Tratto da Soulet et al., 2016.

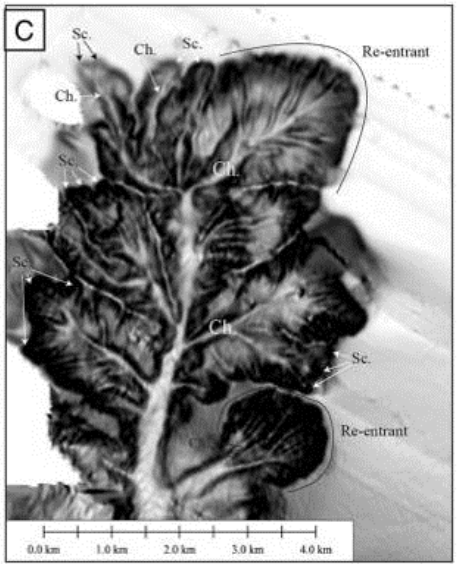


Figura 6-4. Dettaglio della testata del canyon del Polcevera (Soulet et al., 2016).

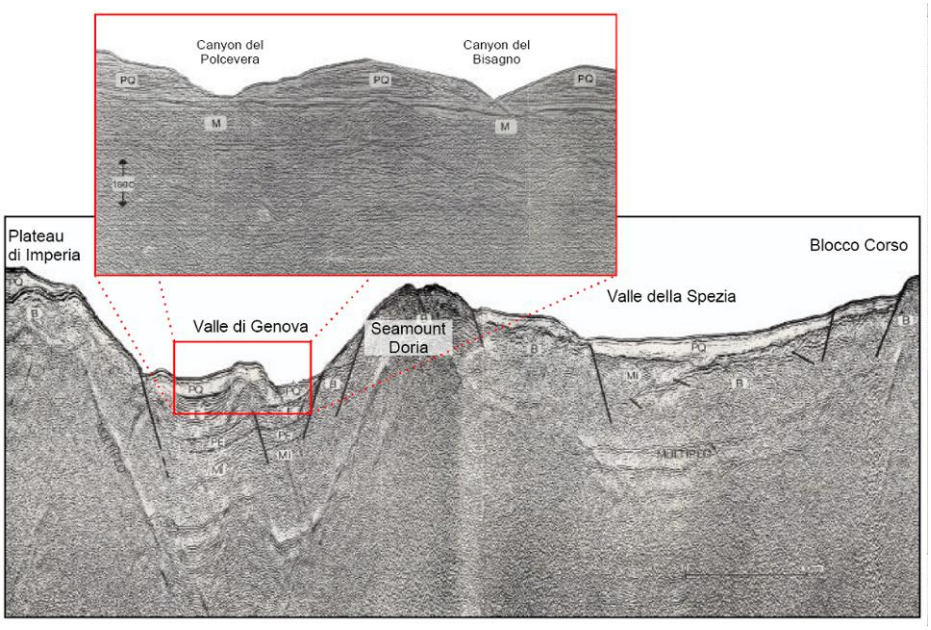


Figura 6-5. Profilo sismico lungo le valli di Genova e La Spezia, particolare sui canyons di Genova

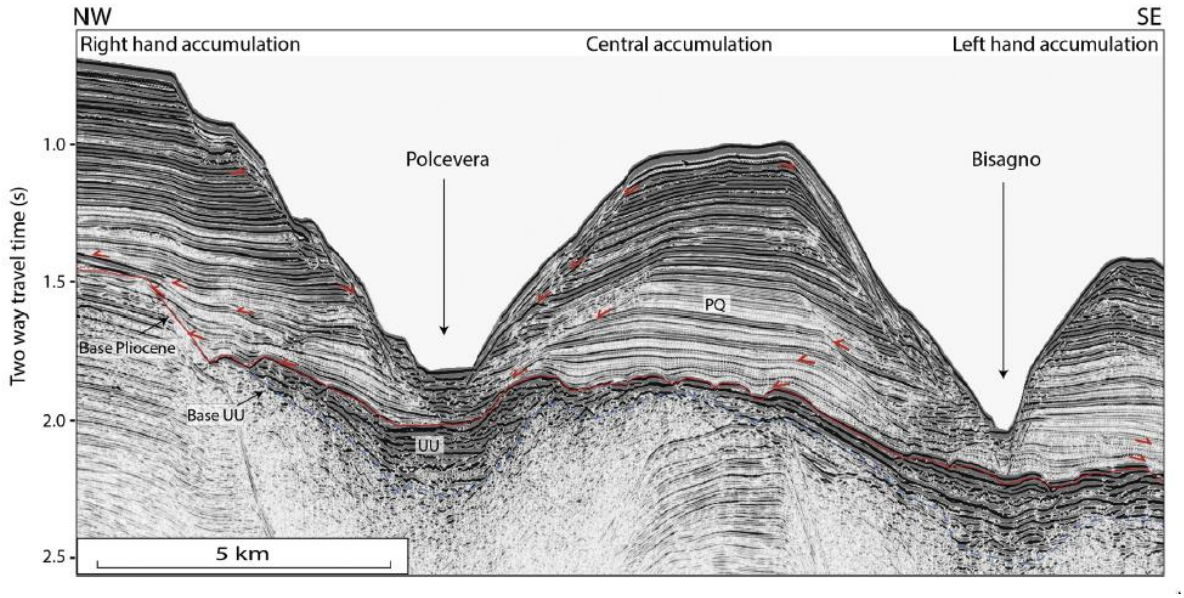


Figura 6-6. Profilo sismico attraverso i canyons della "valle sottomarina di Genova". Tratto da Soulet et al., 2016. PQ: successione pliocenico-quaternaria.

La piattaforma continentale presenta una morfologia piuttosto regolare, originata da successivi episodi di sedimentazione dal Pliocene fino ai giorni nostri. La piattaforma ha il proprio ciglio in corrispondenza delle isobate 100 – 120 metri. Sulla base di dati geologici e sismici superficiali si può affermare che la piattaforma litorale antistante l'area urbana genovese risulta prevalentemente costituita da sedimenti accumulatisi nel corso del Plio-quaternario e che abbia subito successivamente, oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino, che hanno agito in un contesto dominato, a scala generale, dalla tettonica responsabile del sollevamento della costa e della piattaforma ligure.

Per quanto riguarda i canyon della "valle di Genova", la cui testata arriva fino a circa 2,5 km dalla zona del Canale di Calma, l'accumulo sedimentario plio-quaternario è assai ridotto rispetto alle aree adiacenti (i sedimenti sono soltanto parzialmente preservati in quanto i canyons costituiscono solchi di by-pass tra la piattaforma e la parte profonda del Bacino Ligure) e si preserva principalmente sui fianchi dei canyon, dove è soggetto a marcate instabilità gravitative che possono innescare azioni erosive rimontanti anche nelle zone di piattaforma. I versanti dei canyon sembrano corrispondere

alla prosecuzione verso la superficie di faglie del substrato profondo, come ipotizzabile dalla distribuzione degli epicentri dei sismi ad intensità bassa e molto bassa (vedi più avanti) e dalle interpretazioni geodinamiche che suggeriscono un'evoluzione dei canyons fortemente controllata dalla tettonica (Soulet et al., 2016; Fanucci et al., 2016). I canyon si collocano infatti in uno stretto settore a direzione media Nord-Sud che costituisce la prosecuzione verso mare della Zona Sestri-Voltaggio, che rappresenta l'elemento tettonico interposto tra il dominio della piattaforma del Ponente ligure (Dorsal of Imperia, Fanucci et al., 2016), caratterizzata da tettonica compressiva, ed il sistema di faglie normali parallele alla costa del settore del Levante ligure (Zona di Portofino-Levante, Fanucci & Morelli, 2006).

6.1.3 Inquadramento geologico- stratigrafico

Il Mar Ligure presenta potenze di coltri sedimentarie tutt'altro che costanti, talvolta la variazione è significativa anche nell'ambito di aree limitate (vedi fig. 4.10).

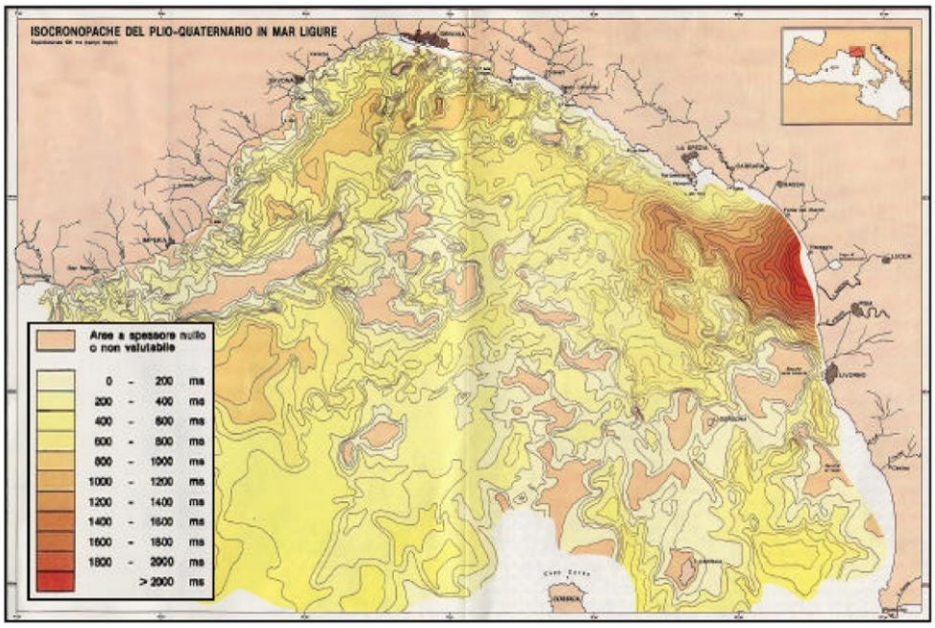


Figura 6-7. Spessore dei depositi Plio-quaternari del bacino ligure (1 ms = 1 m)

Si possono tuttavia distinguere zone similari sia dal punto di vista morfologico, sia dell'evoluzione tettonica; in questi ambiti la sedimentazione risulta piuttosto regolare. Si rinvengono spessori ridotti del sedimento limitatamente (1) alle aree soggette a ripetuti processi di erosione conseguenti ad eventi tettonici e glacio-eustatici, (2) alle aree di alto morfologico – strutturale e (3) alle zone di scarpata, le cui pendenze non hanno permesso il formarsi di accumuli considerevoli (Barbetsea et al., 1982).

Per quanto riguarda zone ad elevato accumulo possiamo distinguere i cosiddetti Bacini del Golfo di Genova, formanti un'ampia depressione delimitata da seamounts e da plateaux marginali, che si apre a ventaglio verso terra e comunica con la piana abissale tramite il solco centrale del Golfo nel quale convergono i canyons (Polcevera e Bisagno) della "valle sottomarina di Genova". Tali canyons sono soggetti ad intensi fenomeni di erosione subacquea e di trasporto in massa connesso a correnti di torbida oppure a correnti di fondo ad elevata energia e presentano spessori modesti di sedimenti (fig. 4-8 e 4-9).

Vi è infine la zona di piana abissale (zona B in fig. 4-5), caratterizzata da sedimentazione molto variabile, suddivisibile in un primo uniforme livello pliocenico, seguito da una successione quaternaria.

Nella zona interposta tra i due canyon (Polcevera e del Bisagno), antistante la zona portuale genovese, i sedimenti quaternari si concentrano con maggiori spessori tra Voltri e Genova, assumendo le massime potenze sottocosta nella parte più interna del Golfo di Genova. Nella parte

est dell'area i sedimenti quaternari presentano potenze assai modeste, con la sola eccezione del tratto prospiciente la Foce del Bisagno dove si raggiungono potenze considerevoli.

La distribuzione dei sedimenti mostra inoltre come, ad occidente, vi sia una concentrazione di lutiti argillose nella zona di maggiore sedimentazione: questo sta ad indicare la presenza di un prevalente trasporto in sospensione delle lutiti da est verso ovest, in accordo con la circolazione generale delle correnti del Mar Ligure.

Nell'ambito dell'area di interesse, sono state tracciate, sulla base delle stratigrafie dei sondaggi, le ipotetiche prosecuzioni a mare delle numerose unità geologiche affioranti lungo la costa (Allegato 1).

I sondaggi effettuati nel Canale di Calma mostrano direttamente la presenza solo delle Argille di Ortovero (Pliocene) e dei Metabasalti del Monte Figogna. E' però ipotizzabile che il substrato del Canale di Calma sia costituito anche dalle altre unità litologiche presenti nell'area emersa (metaofioliti, dolomie, calcari ed argilloscisti); al di sopra del substrato sono stati rinvenuti depositi alluvionali e marini/transizionali, costituiti da materiale a granulometria eterogenea.

Si riporta di seguito una descrizione sintetica delle principali caratteristiche delle Argille di Ortovero e dei Metabasalti del Monte Figogna, basata sulle osservazioni condotte in superficie e derivate dall'analisi dei sondaggi a terra.

Argille di Ortovero (Età ipotizzata dal CARG: Zancleano inf.)

Argille marnose, marne, siltiti e arenarie fini, organizzate in strati da centimetrici a pluricentimetrici. Questi sedimenti mostrano un colore variabile da grigio cinereo a grigio-azzurro a giallastro in affioramento, mentre si presentano di colore grigio scuro quando bagnate o impregnate d'acqua (come nel caso dei sondaggi effettuati nel settore costiero o a mare). Sono presenti orizzonti bioclastici a resti di bivalvi e gasteropodi. Nella porzione basale dell'unità sono frequenti orizzonti ghiaiosi e conglomeratici (conglomerati basali, non incontrati nei sondaggi presi in esame ma osservati in un sondaggio realizzato nell'area di Borzoli).

Metabasalti del Monte Figogna (Età: Giurassico superiore)

Metabasalti massivi ed a cuscini, con orizzonti di brecce basaltiche a tessitura fluidale, più raramente si rinvengono filoni massicci a tessitura doleritica. Localmente sono presenti metadioriti in filoni, di spessore da decimetrico a metrico, a tessitura granulare, con fenomeni di autoclastesi ai bordi. I metabasalti si presentano poco deformati; un accenno di scistosità è più evidente dove si osserva lo stiramento dei pillow, che solo raramente risulta accentuato. Il corpo basaltico in generale è caratterizzato da una struttura allungata in direzione N-S, intensamente fagliata sul lato occidentale; nelle parti centrali si osservano brecce basaltiche e orizzonti fratturati con riempimenti di minerali carbonatici.

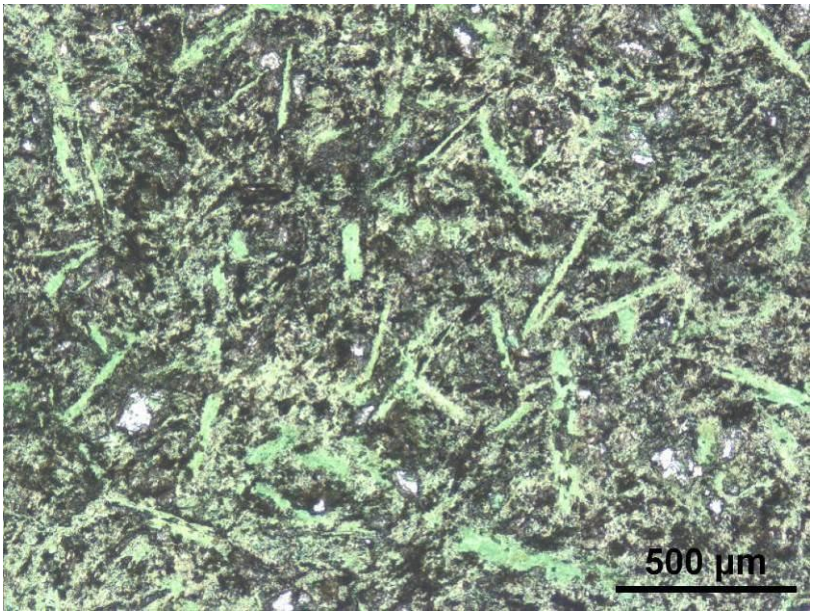


Figura 6-8. Immagine microscopica dei basalti attraversati dal sondaggio SJ5b alla profondità di 39,50 metri. La struttura vulcanica del metabasalto è ben riconoscibile per la presenza di pseudomorfosi a pumpellyite verde a

grana finissima su originari plagioclasi ad abito tabulare. Sono inoltre riconoscibili i siti dell'originaria ilmenite, ora sostituita da titanite e numerose vescicole di calcite e quarzo.

I metabasalti sono stati intercettati dai sondaggi SJ5 e SJ5 bis a partire da 28-29 metri di profondità dal fondo marino. Tali basalti, che costituiscono la prosecuzione a mare di quelli affioranti nelle zone emerse, appaiono poco deformati rispetto a questi ultimi, con ottima preservazione dei caratteri petrografici primari.

Depositi Alluvionali

Le alluvioni presenti nell'ambito dell'area indagata sono attribuibili al torrente Polcevera, che sfocia direttamente in mare immediatamente ad est del canale di calma, e al Torrente Chiaravagna ad ovest; i depositi, rinvenuti nei sondaggi, sono costituiti principalmente da ghiaie medie e grossolane a matrice sabbiosa.

Depositi Marini e Transizionali

Sono caratterizzati da assetti litostratigrafici e da composizione granulometrica estremamente eterogenea: superficialmente i depositi hanno granulometria variabile da sabbie a limi, con percentuali variabili di ghiaia e con consistenza tipicamente da sciolta a mediamente addensata.

Materiale di Riporto

Il riempimento antropico, costituito da materiale di svariata natura e pezzatura, si riscontra principalmente in prossimità del rilevato aeroportuale, che è stato costruito anche mediante l'impiego di cassoni; uno spessore ridotto di materiale antropico è comunque presente anche al di fuori delle pertinenze aeroportuali ed in particolare proprio all'interno del canale di calma.

Lo spessore del riporto in corrispondenza del rilevato aeroportuale si attesta tra i 16 ed i 17 metri circa, mentre nel canale di calma, ove presente, il materiale antropico raggiunge spessori massimi nell'ordine dei 5 metri.

Il materiale di riporto non è stato distinto nella sezione longitudinale di progetto, in quanto la traccia di sezione è stata collocata al centro del canale, in maniera tale da interpolare i sondaggi eseguiti su entrambi i lati; pertanto, visto la discontinua distribuzione del materiale antropico ed il suo ridotto spessore, non si è ritenuto significativo rappresentarlo esplicitamente. Viceversa, nei profili traversali il materiale antropico è stato riportato in modo indicativo in corrispondenza del rilevato aeroportuale, della diga foranea e sui moli del Porto Petroli.

7 ELEMENTI DI SISMICITÀ GENERALE

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica del territorio esaminato ed un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore. La definizione dell'accelerazione di riferimento non è oggetto della presente relazione.

I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dai seguenti documenti o siti internet:

- Sismicità storica dal 1000 al 2014: Database DBMI15 - a cura di Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15 - disponibile on-line all'indirizzo http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15.
- Sismicità recente (dal 2005 al 2017): Database dell'I.N.G.V. disponibile on-line all'indirizzo http://cnt.rm.ingv.it/
- Faglie capaci: catalogo delle faglie capaci ITHACA *(ITaly HAzard from Capable faults)* dell' Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale , disponibile on-line all'indirizzo http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3 (*Database of Individual Seismogenitic Sources*) disponibile on-line all'indirizzo http://diss.rm.ingv.it/diss/
- Classificazione sismica nazionale: disponibile on-line all'indirizzo http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp
- Classificazione sismica Regione Liguria: dati e pubblicazioni disponibili on-line all'indirizzo http://www.regione.liguria.it/argomenti/territorio-ambiente-e-infrastrutture/ protezione-civile/rischio-sismico/prevenzione-del-rischio-sismico/classificazione-sismica-regionale.html

7.1 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO NEL TERRITORIO DI GENOVA

7.1.1 Sismicità storica ed effetti macrosismici documentati nel Comune di Genova (dal 1000 al 2008)

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel D.B.M.I.15, che contiene 122.701 dati di intensità, relativi a 3.212 terremoti riferiti a circa 20.000 località di cui 15.213 in territorio italiano.

L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano, chiamata DBMI15 è stata rilasciata a luglio 2016 e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI11. DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2014. I dati provengono da studi di autori ed enti diversi, sia italiani che di paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia). I dati sono stati estratti dai cataloghi sismici INGV CPTI15 (Rovida et al., 2016), CFTI4Med (Guidoboni et al, 2007) e integrati con informazioni provenienti da Camassi et al. (2011).

Nella tabella seguente viene riportato l'elenco dei terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 4-5, i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno), l'area epicentrale (località, intensità epicentrale e magnitudo momento) e una descrizione degli effetti risentiti a Genova (dati estratti da Guidoboni et al. 2007 e da Camassi et al. 2011).

Seismic history of Genova

[44.419, 8.898]

Total number of earthquakes: 130

Ù

		Epicentral area			
Intensità GE	**Anno Mese Giorno**	**Località**	**Io**	**Mw**	**Descrizione degli effetti risentiti a Genova**
6	1182-8-15	Genova	6	4.63	-
5-6	1217-1-8	Genova	5-6	4.4	-
5-6	1222-12-25	Bresciano-Veronese	7-8	5.68	-
5	1276-7-29	Monferrato	5	4.81	-
6	1536-8-10	Genova	6	4.63	-
5	1541-10-22	Valle Scrivia	7	5.26	-
4-5	1612-1-31	Liguria occidentale	6-7	4.86	-
4	1644-2-15	Alpes Niçoises	8	5.74	Il cronista coevo Schiaffino ricorda che la scossa fu avvertita con timore dalla popolazione
4	1695-2-25	Asolano	10	6.4	Il terremoto fu avvertito sensibilmente da tutta la popolazione, non causò danni
F	1703-12-21	Piemonte-Liguria	4	3.7	-
5	1704-5-13	Riviera Ligure	5	4.16	-
5	1704-5-14	Riviera Ligure	5	4.16	-
3	1720-1-10	Toscana settentrionale	4-5	3.93	-
3	1730-3-29	Versilia	4	3.7	-
F	1732-5-21	Livorno	4-5	3.93	-
F	1738-11-5	Emilia occidentale	7	5.1	-
5	1740-3-6	Garfagnana	8	5.64	La scossa fu sentita fortemente e spaventò la popolazione, ma non causò danni
3	1742-1-27	Livornese	6	4.87	-
5	1751-11-21	Liguria	4	3.7	-
4-5	1759-5-26	Pavese	5	4.16	-
F	1767-1-21	Lunigiana	7	5.27	Entrambe le scosse furono avvertite senza danni
F	1767-1-21	Lunigiana	5-6	4.6	
6-7	1767-2-7	Genovese	6	4.98	-
3	1775-1-4	Appennino emiliano	4	4.43	-
3	1775-1-5	Appennino emiliano	5	4.55	-
F	1778-2-18	Lunigiana	4-5	3.93	-
3	1786-12-25	Riminese	8	5.66	La scossa fu avvertita leggermente
3-4	1796-10-22	Emilia orientale	7	5.45	La scossa principale, di direzione E-W, fu seguita da un'altra e fu preceduta da rombi
4	1802-5-12	Valle dell'Oglio	8	5.6	La scossa fu fortemente avvertita; notizie non confermate segnalano crolli parziali avvenuti in 2 case del quartiere della Fratellanza nei giorni successivi
3-4	1806-2-12	Reggiano	7	5.21	-
5	1806-3-31	Liguria occidentale	5	4.62	-
2	1807-9-5	Liguria occidentale	5-6	4.81	-
3	1808-4-2	Val Pellice	8	5.64	La scossa del 2 aprile, delle 5.43 pomeridiane secondo l'uso orario francese (16:43 GMT), fu leggermente avvertita dalla popolazione. La scossa del 16 aprile delle 2.00 della mattina (1:00 GMT) fu leggermente avvertita
3	1808-4-16	Val Pellice	7	5.34	
F	1810-12-25	Pianura emiliana	6	5.06	-
4	1811-7-15	Modenese-Reggiano	6-7	5.13	-
F	1814-4-3	Costa pisano-livornese	6-7	5.12	-
3	1818-2-23	Liguria occidentale	7	5.32	La scossa fu leggermente avvertita nei piani più alti delle case senza causare danni

		Epicentral area			
Intensità GE	**Anno Mese Giorno**	**Località**	**Io**	**Mw**	**Descrizione degli effetti risentiti a Genova**
3	1818-12-9	Parmense	7	5.24	La scossa fu leggera
NF	1824-2-4	Oltrepò Pavese	5	4.49	-
F	1826-6-24	Garda occidentale	5	4.62	-
6	1828-10-9	Oltrepò Pavese	8	5.72	A Genova non cadde nessun edificio o muro, fatta eccezione per un comignolo e un pezzo di ornato all'angolo del campanile di S.Pietro a Banchi. Numerosi edifici e quattro o cinque palazzi ebbero a soffrire notevoli lesioni ai muri: tra quest'ultimi il palazzo ducale, il cui grande salone presentava nella volta parecchie fenditure. Nel porto, a seguito di una improvvisa ondata di marea le imbarcazioni furono spinte le une contro le altre. Nei paesi e comuni circonvicini le scosse furono intense, molto di più a ponente che non a levante. A Sestri ponente alcuni palazzi riportarono screpolature, alcune lastre di marmo furono spezzate e parecchi comignoli abbattuti. A San Pier D'Arena cadde una parte del cupolino della chiesa parrocchiale, con la palla e la croce che lo sormontavano
4	1828-10-9	Oltrepò Pavese			-
4	1828-10-10	Oltrepò Pavese			-
4	1831-5-26	Liguria occidentale	8	5.56	Il terremoto fu avvertito distintamente, così pure la replica del 28 maggio 1831
2-3	1831-9-11	Pianura emiliana	7-8	5.48	-
2	1832-3-11	Carpi	5	4.51	Le scosse dell'11 marzo 1832, delle ore 7:00 e delle ore 9:00 GMT ca., furono leggere. La scossa del 13 marzo 1832, delle ore 3:30 GMT ca., fu avvertita piuttosto forte, non si verificarono danni
3	1832-3-11	Parmense			-
4	1832-3-13	Reggiano	7-8	5.51	Le scosse dell'11 marzo 1832, delle ore 7:00 e delle ore 9:00 GMT ca., furono leggere. La scossa del 13 marzo 1832, delle ore 3:30 GMT ca., fu avvertita piuttosto forte, non si verificarono danni
5	1834-2-14	Val di Taro-Lunigiana	9	5.96	La scossa principale fu avvertita fortemente e durò circa 9 secondi; cinquanta minuti dopo fu sentita una replica più leggera
4-5	1834-7-4	Val di Taro-Lunigiana	6-7	5.08	La scossa principale fu avvertita fortemente e durò circa 9 secondi; cinquanta minuti dopo fu sentita una replica più leggera
3	1837-4-11	Lunigiana	9	5.94	La scossa fu avvertita leggermente
2	1843-10-25	Mugello	6-7	5.03	-
3	1846-8-14	Colline Pisane	9	6.04	La scossa fu avvertita leggermente
4	1849-11-28	Val di Taro	6	4.63	-
3	1851-2-5	Valtellina	5	4.72	-
4-5	1854-12-29	Liguria occidentale	7-8	5.72	La scossa, della durata di circa 7-8s e seguita da rombo, fu forte. La replica del 28 dicembre alle ore 22 GMT fu molto leggera ed avvertita da pochi
NF	1857-2-1	Parmense-Reggiano	6-7	5.11	-
4	1861-3-16	Varese Ligure	6	4.63	-
3	1869-12-13	Sassuolo	5	4.57	-
2-3	1873-3-12	Appennino marchigiano	8	5.85	La scossa fu debolissima, avvertita appena dalle persone
3	1873-6-29	Alpago Cansiglio	9-10	6.29	-
4-5	1873-9-17	Appennino tosco-ligure	6-7	5.26	-
3	1878-9-10	Lunigiana	6-7	4.98	-
NF	1882-2-15	Val Borbera	6	4.77	-

		Epicentral area			
Intensità GE	**Anno Mese Giorno**	**Località**	**Io**	**Mw**	**Descrizione degli effetti risentiti a Genova**
3	1886-9-5	Torinese	7	5.22	-
6-7	1887-2-23	Liguria occidentale	9	6.27	La scossa principale fu forte e venne avvertita con spavento dalla popolazione; provocò l'apertura di fenditure anche gravi nei muri degli edifici, la caduta di comignoli, di calcinacci e mobilio all'interno delle case; i fabbricati della parte orientale della città, costruita su terreni alluvionali, riportarono screpolature e lesioni più evidenti, mentre nella parte alta dell'abitato i danni furono lievissimi. A Prà si verificarono alcune lesioni nella stazione ferroviaria; a Pegli la scossa venne avvertita con spavento e provocò la caduta di comignoli e screpolature nei muri; a Sestri Ponente molti fabbricati riportarono danni di rilievo; a Cornigliano Ligure il terremoto causò molto spavento e lievi lesioni nelle case; a Sampierdarena la scossa non provocò grande spavento e poche case riportarono lievi screpolature; a Rivarolo Ligure caddero comignoli e soffitti e si aprirono crepe nei muri maestri; a Bolzaneto la scossa, preceduta da rombo, causò spavento e lievi screpolature in alcune abitazioni; a Quarto dei Mille il terremoto provocò spavento e oscillazione di oggetti; a Quinto al Mare la popolazione scese nelle strade per lo spavento e due case riportarono lievi screpolature
4	1891-6-7	Valle d'Illasi	8-9	5.87	Il terremoto fu di mediocre intensità e svegliò alcune persone passando inosservato dalla maggioranza della popolazione
F	1894-11-27	Bresciano	6	4.89	-
2-3	1897-7-6	Mar Ligure	5	4.22	-
3	1898-3-4	Parmense	7-8	5.37	La scossa fu avvertita da molte persone
3	1901-1-23	Oltrepò Pavese	5	4.23	-
4	1901-10-30	Garda occidentale	7-8	5.44	La scossa fu avvertita da molte persone
3	1902-8-4	Lunigiana	6	4.78	-
3-4	1903-7-27	Lunigiana	7-8	5.19	-
2-3	1906-8-11	Liguria occidentale	5	4.41	-
4	1909-1-13	Emilia Romagna orientale	6-7	5.36	-
3	1910-1-23	Piacentino	5	4.39	-
2-3	1913-12-7	Valle Scrivia	5	4.57	-
3-4	1914-10-26	Torinese	7	5.24	-
4	1914-10-27	Lucchesia	7	5.63	-
3	1915-10-10	Reggiano	6	4.87	-
F	1916-8-16	Riminese	8	5.82	La scossa del 16 agosto fu avvertita
3	1917-1-7	Savonese	5	4.35	-
F	1919-6-29	Mugello	10	6.38	La scossa del 29 giugno 1919 fu avvertita
6	1920-9-7	Garfagnana	10	6.53	La scossa causò la fuga dalle case e dagli uffici; panico nelle carceri di Marassi, dove i detenuti chiesero di uscire e negli ospedali. In molti caseggiati si verificarono piccoli danni; lievi lesioni anche alla chiesa di Nostra Signora
5	1924-9-21	Genovese	5	4.32	-
2	1926-1-1	Carniola interna	7-8	5.72	-
3	1927-10-28	Alta Val di Taro	6	4.66	-
2-3	1929-4-19	Bolognese	6-7	5.13	La scossa del 19 aprile delle ore 4:15 GMT fu avvertita leggermente.

		Epicentral area			
Intensità GE	**Anno Mese Giorno**	**Località**	**Io**	**Mw**	**Descrizione degli effetti risentiti a Genova**
3-4	1929-4-20	Bolognese	7	5.36	La scossa del 20 aprile delle ore 1:10 fu avvertita in modo molto sensibile dalla popolazione; in alcune zone della città le persone uscirono dalle abitazioni.
3	1929-4-22	Bolognese	6-7	5.1	-
4	1929-4-29	Bolognese	6	5.2	La scossa del 29 aprile delle ore 18:36 GMT fu avvertita sensibilmente da numerose persone in diverse zone della città.
3-4	1929-5-11	Bolognese	6-7	5.29	La scossa dell'11 maggio delle ore 19:23 GMT fu avvertita sensibilmente dalla popolazione che in alcune zone della città uscì dalle abitazioni
2	1935-3-19	Embrunais	7	5.25	Non sono disponibili descrizioni degli effetti. Secondo Levret et al. (1996), il terremoto ebbe effetti corrispondenti al grado II MSK
3	1937-12-10	Frignano	6	5.3	-
3	1939-10-15	Garfagnana	6-7	4.96	-
3	1939-10-31	Lunigiana	5-6	4.85	-
3	1940-1-24	Appennino emiliano			-
3	1945-12-15	Oltrepò Pavese	6	4.72	-
3-4	1951-5-15	Lodigiano	6-7	5.17	-
3	1959-1-26	Alta Val di Taro	5	4.27	-
F	1963-7-19	Mar Ligure		5.95	-
F	1968-4-18	Liguria occidentale	7-8	4.93	-
3	1970-12-31	Liguria occidentale	6	4.62	-
3	1971-7-15	Parmense	8	5.51	La scossa fu leggera e non causò danni
3-4	1971-9-25	Mar Ligure	5-6	4.33	-
4	1972-10-25	Appennino settentrionale	5	4.87	-
3-4	1975-11-16	Appennino piacentino	4-5	4.93	-
3-4	1976-5-6	Friuli	9-10	6.45	-
3	1976-8-22	Alta Val di Taro	5	4.54	-
3	1976-9-15	Friuli	8-9	5.95	-
NF	1978-12-5	Romagna	4-5	4.61	-
3	1979-2-9	Bergamasco	6	4.78	-
F	1980-1-5	Torinese	6-7	4.82	-
2-3	1980-6-7	Garfagnana	6-7	4.64	-
3-4	1980-12-23	Piacentino	6-7	4.57	-
4	1983-11-9	Parmense	6-7	5.04	-
NF	1984-4-29	Umbria settentrionale	7	5.62	-
3	1989-12-26	Mar Ligure		4.46	-
4	1993-7-17	Liguria occidentale	5	4.34	-
NF	1995-10-10	Lunigiana	7	4.82	-
3	1996-10-15	Pianura emiliana	7	5.38	-
2	2000-8-21	Monferrato	6	4.94	-
3-4	2001-2-6	Mar Ligure	4-5	4.17	-
4-5	2003-4-11	Valle Scrivia	6-7	4.81	-
4	2004-11-24	Garda occidentale	7-8	4.99	-
NF	2005-4-13	Valle del Trebbia	4	3.68	-
NF	2005-4-18	Valle del Trebbia	4	3.97	-
4	2008-12-23	Parmense	6-7	5.36	-

* Dato estratto da Guidoboni et al. (2007).

** Dato estratto da Camassi et al. (2011).

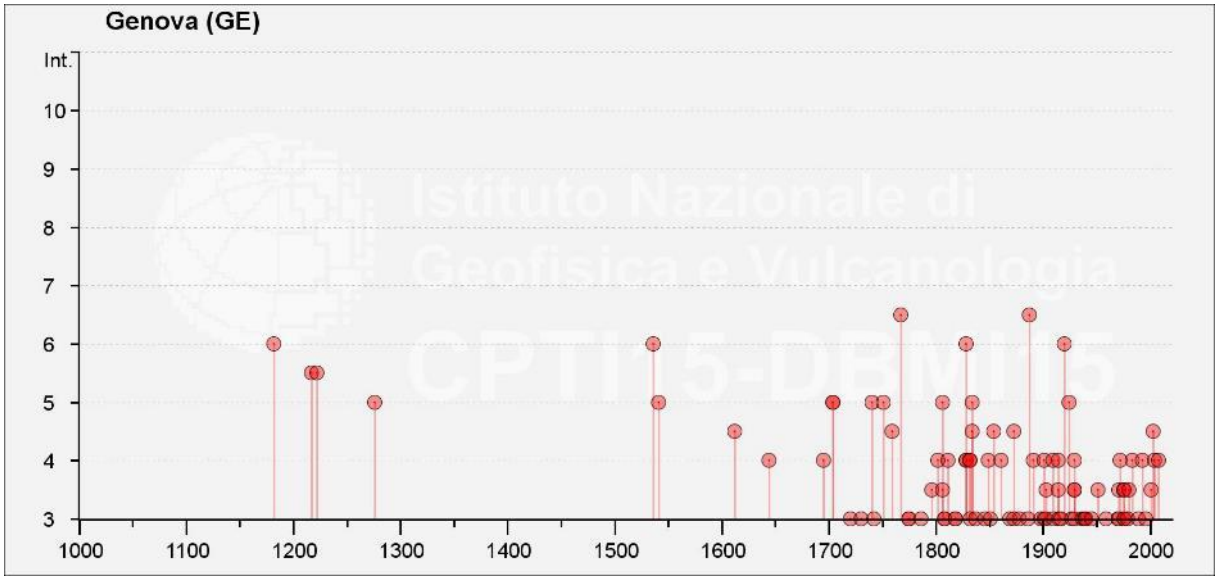


Figura 7-1. Intensità mascrosismiche dal 1000 al 2008 nel Comune di Genova

Dal 1222 ad oggi, complessivamente sono stati segnalati 73 eventi, con valori massimi dell'intensità macrosismica pari a 6,5 nel territorio di Genova. Gli eventi per i quali sono noti danni al tessuto urbano nel capoluogo ligure e nelle località limitrofe sono i seguenti:

- 9 ottobre 1828 con epicentro in Valle Staffora (I_o 8; M 5,72; I_G 6,5);

- 23 febbraio 1887 con epicentro nel Mar Ligure al largo della costa imperiese (I_o 9; M 6,27; I_G 6,5);

- 7 settembre 1920 con epicentro nella Garfagnana (I_o 10; M 6,53; I_G 6).

Danni sono stati segnalati, sia pure dubitativamente, anche per l'evento del 12 maggio 1802 con epicentro nella Valle dell'Oglio (I_o 8; M 5,60; I_G 4).

Il terremoto avvenuto il 23 febbraio 1887 risulta associato ad onde di tsunami.

7.1.2 Commento ai dati storici (macrosismici)

Effetti sul paesaggio indotti dagli eventi sismici

Alla luce di quanto emerso dall'analisi dei cataloghi sismici dell'INGV, non sono noti per l'area di Genova effetti, primari o secondari, indotti sul paesaggio naturale nelle aree emerse in occasione degli eventi elencati nel precedente tabella (per molti degli stessi eventi è invece stato documentato un ampio spettro di effetti registrati nei settori più prossimi all'area epicentrale).

Tuttavia, nel "Catalogo italiano degli Effetti Deformativi del suolo Indotti dai forti Terremoti" (CEDIT) (Martino et al., 2014), nel territorio di Genova sono segnalate generiche "ground cracks" sviluppatesi in occasione del terremoto bresciano del 25 dicembre 1222 con M_w 6,05 e I_G 5,5: per tale segnalazione manca tuttavia qualsiasi riferimento bibliografico. La revisione storica effettuata per questo specifico terremoto e contenuta nel "Rapporto per la localizzazione di una centrale elettronucleare nella Regione Piemonte - Area PO 2" (ENEL, 1994) segnala unicamente un risentimento (non quantificato) registrato nel capoluogo ligure, senza alcun accenno ad altri effetti sia sul tessuto urbano sia sul paesaggio naturale.

Variazioni del livello marino indotte dagli eventi sismici

Gli eventi del 1828 e del 1887 hanno innescato repentine variazioni del livello marino chiaramente registrate nell'area portuale di Genova. Nel prima caso, l'anomala onda di marea generata dall'evento sismico (della quale mancano però informazioni sull'entità dell'oscillazione del livello marino o dell'altezza delle onde sismoindotte) determinò l'urto reciproco delle imbarcazioni ormeggiate nel porto della città.

L'evento del 1887 determinò repentine variazioni del livello marino registrate in tutto il tratto di costa del Mar Ligure compreso tra Marsiglia e Livorno (Figura 10): a Genova i valori di oscillazione massima osservati nell'area portuale furono di poco superiori a 0,5 m (Larroque et al., 2012).

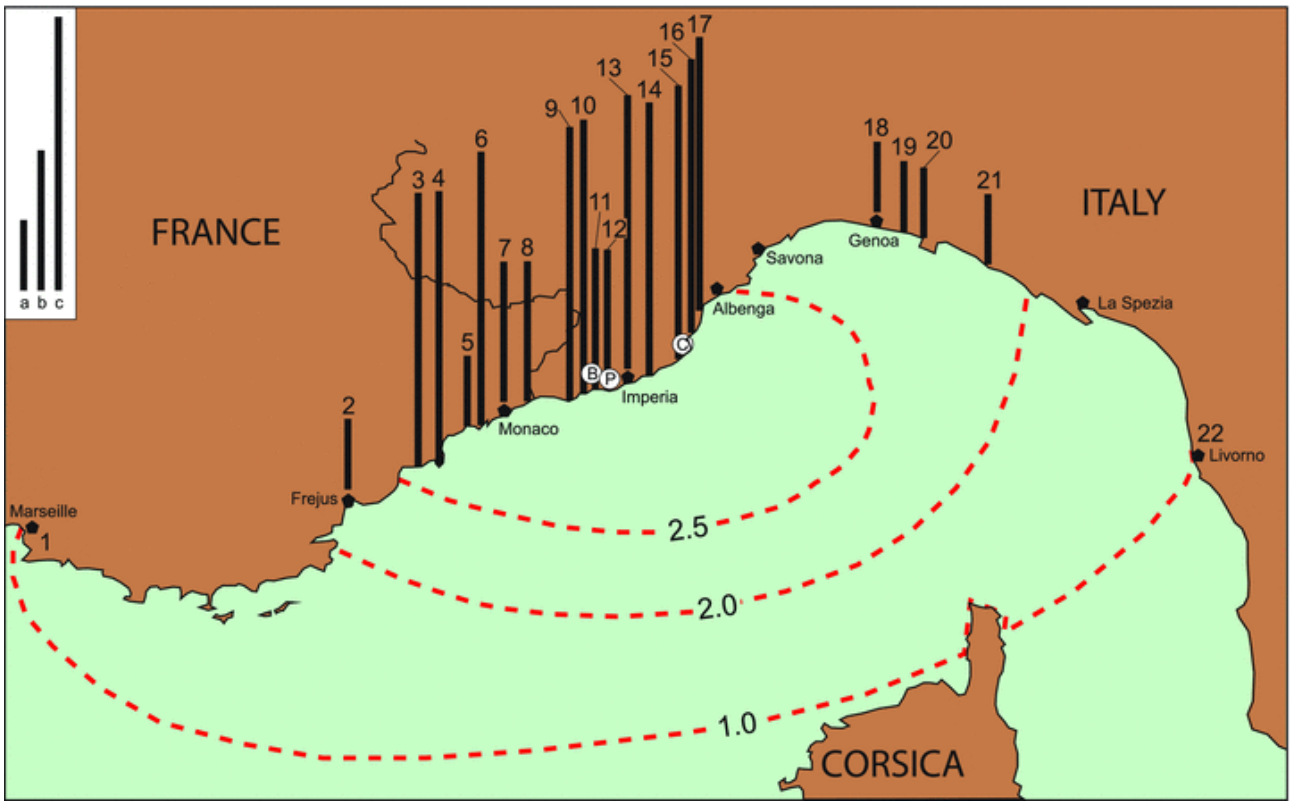


Figura 7-2. Effetti dell'evento sismico del 23 febbraio 1887 osservati lungo la linea di costa italo-francese (da Larroque et al., 2012). Le linee rosse tratteggiate indicano l'intensità dello tsumami i cui valori fanno riferimento alla Sieberg (1923), successivamente modificata da Ambraseys (1962). Le barre nere verticali corrispondono ai valori di oscillazione del livello marino osservati nelle varie località della costa: 0 < a < 0,5 m; 0,5 < b < 1 m; 1 < c < 2 m. Località: 1, Marseille; 2, Fréjus; 3, Cannes; 4, Antibes; 5, Nice; 6, St Jean-Cap-Ferrat; 7, Monaco; 8, Menton; 9, Ospedaletti; 10, San Remo; 11, Arma di Taggia; 12, Riva Ligure; 13, Imperia; 14, Oneglia; 15, Diano Marina; 16, Andora; 17, Alassio; 18, Genova; 19, Bogliasco; 20, Recco; 21, Sestri Levante; 22, Livorno. B, Bussana; P, Pompeiana; C, Cervo e San Bartolomeo del Cervo.

Una quantificazione di massima del fenomeno in corrispondenza del golfo Ligure è fornita da Eva e Rabinovich (1997); l'ampiezza massima delle onde è stata stimata nell'ordine dei 3.5-4 metri.

Pertanto, la progettazione delle opere non potrà prescindere dal considerare l'eventualità di tali fenomeni (tsunami) che possono essere innescati, oltre che da sismi connessi con movimenti delle faglie attive, anche da fenomeni di collasso gravitativo dei sedimenti marini in prossimità delle scarpate dei canyon sottomarini (distanti 2.5 – 3 km dalla costa) ed in corrispondenza delle loro pendici.

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS022 - Imperia

Source Info Summary | Commentary | References | Pictures

Figure 03 - Map of macroseismic field and distribution of vertical tsunami run-ups and run-downs of the 1887 earthquake

Pattern of vertical run-ups following the 1887 earthquake and tsunami. The first wave was negative (sea retreat) along most of the Ligurian coast. The black thick line offshore shows Eva and Rabinovich's [1997] preferred source (from Eva and Rabinovich [1997]).

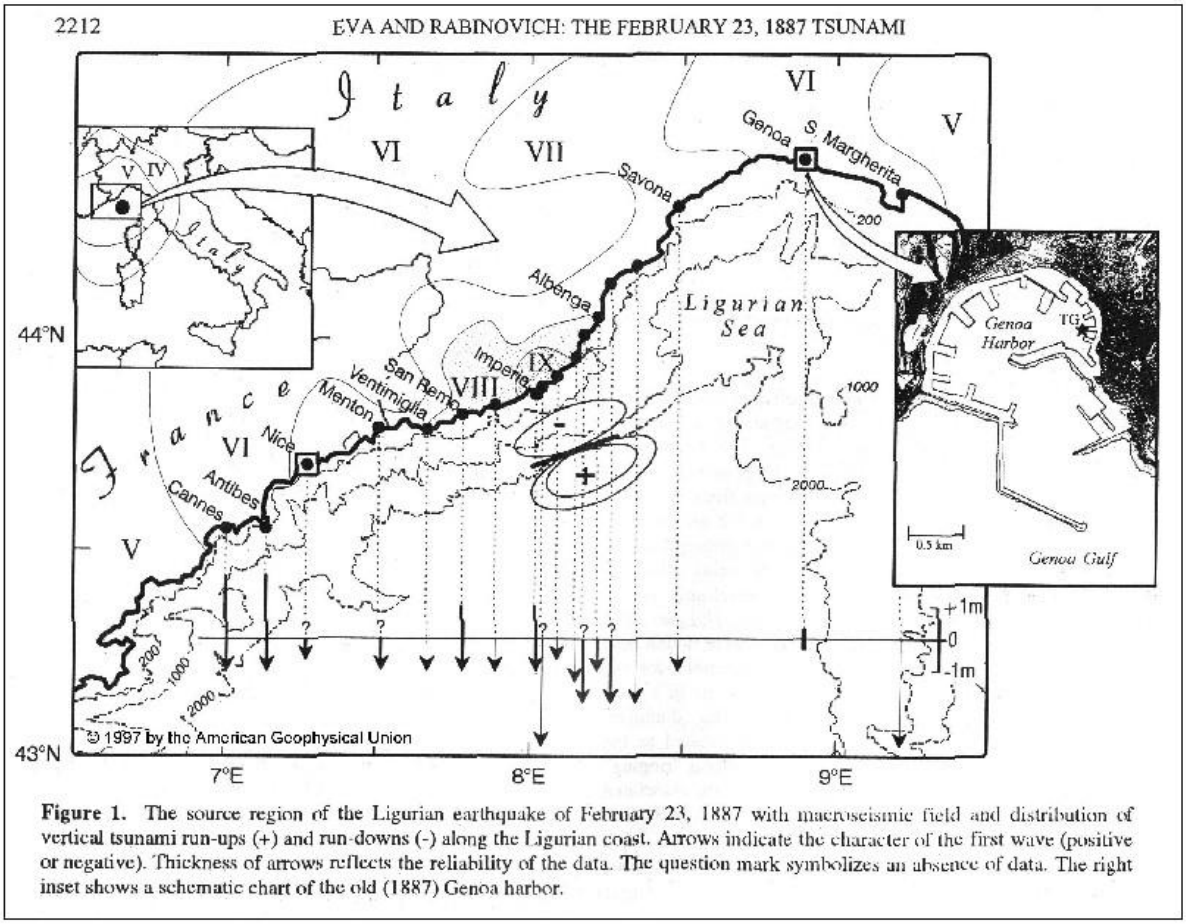


Figure 1. The source region of the Ligurian earthquake of February 23, 1887 with macroseismic field and distribution of vertical tsunami run-ups (+) and run-downs (-) along the Ligurian coast. Arrows indicate the character of the first wave (positive or negative). Thickness of arrows reflects the reliability of the data. The question mark symbolizes an absence of data. The right inset shows a schematic chart of the old (1887) Genoa harbor.

Figura 7-3. Tsunami del 23 febbraio 1887 (Eva e Rabinovich, 1997)

Una quantificazione di massima del fenomeno in corrispondenza del golfo Ligure è fornita da Eva e Rabinovich (1997; Figura 12); l'ampiezza massima delle onde è stata stimata nell'ordine dei 3,5-4 metri.

Pertanto, la progettazione delle opere non potrà prescindere dal considerare l'eventualità di tali fenomeni (tsunami) che possono essere innescati, oltre che da sismi connessi con movimenti delle faglie attive, anche da fenomeni di collasso gravitativo dei sedimenti marini in prossimità delle scarpate dei canyon sottomarini (distanti 2,5 – 3 km dalle opere in progetto) ed in corrispondenza delle loro pendici.

7.1.3 Pericolosità geologica indotta da fenomeni gravitativi sottomarini

A questo proposito si richiama l'evento del 16 Ottobre 1979 che ha interessato l'aeroporto di Nizza (vedi ad es., Dan et al., 2007; Ioulalen et al., 2010). Durante la costruzione di un rilevato a mare sul lato esterno dell'aeroporto della città francese, in prossimità del ciglio della scarpata continentale, si è verificato un collasso gravitativo dei sedimenti limoso-sabbiosi su cui l'opera era fondata, causando il collasso e lo scivolamento in mare dell'intero rilevato. Il materiale mobilizzato è stato rapidamente

trasportato lungo la scarpata continentale dove è evoluto in un flusso gravitativo con la progressiva incorporazione di acqua e di nuovo sedimento eroso lungo il percorso (incrementando il volume iniziale di circa 25 volte; Ioulalen et al., 2010); il flusso si è quindi incanalato nel canyon sottomarino del Var a una profondità di circa 1000 m e ha continuato il suo percorso per decine di kilometri, causando la rottura di cavi sottomarini situati a 83-87 e 114 Km di distanza dall'area sorgente del flusso gravitativo.

L'evento è stato accompagnato da onde di tsunami alte fino 2,5-3 m, che hanno colpito soprattutto alcune località situate ad ovest della città di Nizza (Saint Laurent du Var, Cagnes-sur-Mer, Antibes). Oltre a notevoli danni economici, gli eventi hanno causato la morte di dieci persone (nove lavoratori trascinati in mare dal collasso del rilevato in costruzione e una decima vittima legata all'inondazione della zona costiera di Antibes).

Relativamente all'innesco del collasso gravitativo (sicuramente asismico, poiché non sono state registrate scosse in concomitanza all'evento), sono state proposte due ipotesi (entrambe riportate, con i relativi riferimenti bibliografici, in Dan et al., 2007):

- Ipotesi 1: l'innesco del fenomeno gravitativo è avvenuto lungo la scarpata continentale, e ha poi coinvolto per arretramento progressivo anche i depositi accumulati sul ciglio della piattaforma sui quali poggiava il rilevato;

- Ipotesi 2: un primo collasso gravitativo di notevole entità, avvenuto lungo la scarpata continentale, ha causato un repentino abbassamento di circa 2,5 metri del livello marino; l'improvvisa emersione del rilevato in costruzione, il cui peso non risultava più in parte sostenuto dall'acqua marina, ha causato un sovraccarico dei sedimenti sottostanti innescandone il collasso. Secondo questa ipotesi, la rottura dei cavi sottomarini avvenuta a decine di chilometri dalla costa sarebbe da imputare al flusso gravitativo originato dal primo collasso lungo la scarpata continentale, e non dall'evoluzione del collasso gravitativo che ha interessato l'aeroporto.

Il cedimento potrebbe essere stato inoltre favorito, se non direttamente innescato, da una serie di fattori relativi alla natura dei depositi sui quali il rilevato era fondato (es., presenza di lenti sabbiose e relativo flusso di acque dolci, con lisciviazione e riduzione della resistenza al taglio dei sedimenti argillosi circostanti) e, non da ultimo, alla presenza del rilevato stesso, il cui peso ha causato un incremento dello stress sopportato dai depositi sottostanti (Dan et al., 2007).

Benché non esista un consenso unanime sulle cause dell'evento di Nizza, l'analisi dei possibili meccanismi di innesco proposti in letteratura suggerisce alcuni elementi da tenere in debita considerazione anche nel caso dell'Opera a Mare nel Canale di Calma. L'area interessata dall'Opera a Mare è caratterizzata da una configurazione morfologica diversa da quella dell'aeroporto di Nizza. Le testate dei canyon sottomarini del Polcevera e del Bisagno sono situati ad una distanza di circa 3 Km dall'aeroporto di Genova, e si intestano sulla piattaforma continentale ad una profondità di circa 100 m. L'aeroporto di Nizza, interessato dall'evento del 1979, si sviluppa in un tratto di costa caratterizzato da una piattaforma continentale estremamente ridotta (meno di 200 m di larghezza), con un ciglio situato ad una profondità di poche decine di metri (Ioualalen et al., 2010). L'aeroporto di Nizza è inoltre situato su di un capo circondato sui due lati dalle testate dei canyon sottomarini del Var e del Paillon.

Il maggior sviluppo della piattaforma continentale nell'area genovese, e quindi la maggior distanza dell'area interessata dall'Opera a Mare dal ciglio della piattaforma e dalle testate dei canyon sottomarini, rende meno probabile il possibile innesco di cedimenti legati all'arretramento per erosione rimontante di fenomeni gravitativi originatisi lungo la scarpata continentale.

E' invece da tenere in maggior considerazione, nel caso dell'Opera a Mare, lo scenario richiamato nell'ipotesi 2 relativa all'innesco dell'evento di Nizza del 1979 (vedi sopra). Il possibile cedimento dei depositi sedimentari sui quali insiste l'Opera a Mare in seguito ad un abbassamento repentino del livello marino (dell'ordine di alcuni metri) e del conseguente maggior carico esercitato dal rilevato dell'opera, a seguito di un collasso gravitativo verificatosi sulla scarpata continentale è un'ipotesi, per quanto remota, da tenere in considerazione. La scarpata continentale del Mar Ligure è infatti soggetta a frequenti fenomeni gravitativi, anche di ingenti dimensioni (Migeon et al., 2011).

7.3 SISMICITÀ RECENTE (DAL 2005 AL 2017)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di Genova dal 05 gennaio 1985 al 31 dicembre 2017, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio 150 km dal Comune di Genova che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente.

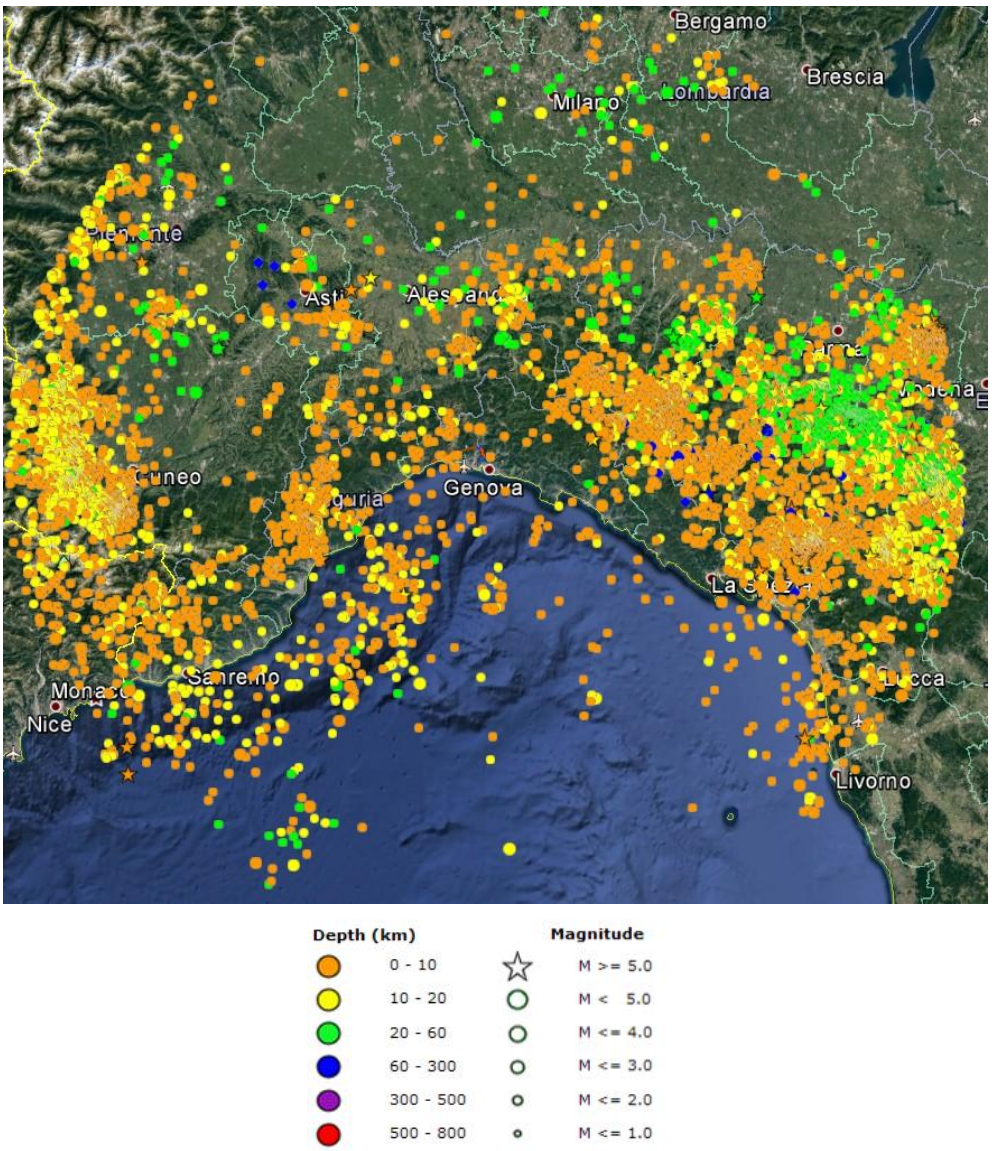


Figura 7-4. Database INGV: distribuzione terremoti periodo 2005-2017.

Dalla planimetria si possono distinguere le seguenti aree sorgenti:

- lungo l'arco appenninico da Alessandria alla Toscana (in quest'area avvengono i terremoti con maggior profondità e magnitudo);
- un'area interessa la Liguria sud-occidentale e l'arco alpino
- si nota la presenza di alcuni epicentri in mare soprattutto nell'area di ponente, ubicati per lo più in corrispondenza della prosecuzione in mare dei canyon .

In generale le profondità sono per la maggior parte entro i 20 km e le magnitudini più rappresentate variano tra 1 e 2.

Nella seguente immagine sono evidenziati i terremoti avvenuti nelle immediate vicinanze di del canale di calma.



Figura 7-5. Database INGV periodo 2005-2017

Si possono notare alcuni eventi nell'area limitrofa all'opera, aventi le seguenti caratteristiche:

ID	Magnitudo	Profondità (km)	Data
1	1.6	8.5	27/12/14
2	1.3	5.0	11/05/08
3	2.4	3.6	12/05/08
4	1.7	3.9	22/09/10

7.4 FAGLIE CAPACI

Il termine "faglie capaci" è utilizzato per descrivere le faglie "sismiche" con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente "capaci" di produrre deformazioni in superficie.

La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere ≥ VIII-IX grado della scala ESI2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITaly HAzard from CApable faults", disponibile on-line all'indirizzo http://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci.

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Dall'analisi della cartografia, viene confermato quanto già evidenziato per i sismi storici e recenti; nell'area di studio non sono presenti faglie sensibili, che interessano invece la zona tra Alessandria, la Lunigiana e la Garfagnana (Sistema Torino-Cremona, Sistema Appenninico, Sistema Val di Vara e di Aulla) e la Liguria occidentale (linea Saorge-Taggia)

Nella seguente figura si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci del Progetto ITHACA relativamente ad un ampio areale contenente la tratta in oggetto.



Figura 7-6. Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA"

7.5 STRUTTURE SISMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici.

L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenitic Soruces - DISS 3", si osserva che il tracciato in progetto si snoda in un'area a sismicità generalmente bassa, governata principalmente dalle aree sismogenetiche Imperia (ITCS022), Rivanazzano-Stradella (ITCS018), Lunigiana (ITCS026) e Garfagnana (ITCS083), tutte distanti più di 50 km.

La figura seguente evidenzia le aree sismogenetiche prossime al tracciato di progetto (poligoni color marrone), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni); le campiture in rosso indicano i sistemi di faglia.



Figura 7-7. Mappa delle aree sismogenetiche di interesse (Fonte: Database of Individual Seismogenitic Sources - DISS 3 - http://diss.rm.ingv.it/diss/)

Di seguito si riporta una tabella di sintesi relativa alle strutture sismogenetiche di interesse per l'area oggetto di studio.

La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri:

- i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia):
- gli altri due caratteri identificano il tipo di dati:
- IS per Individual Seismogenic Source
- CS per Composite Seismogenic Source
- DS per Debated Seismogenic Source

Code	Name	Compiled By	Latest Update	Min Depth (km)	Max Depth (km)	Strike (deg)	Dip (deg)	Rake (deg)	Slip Rate (mm/y)	Max Magnitude (Mw)
ITCS018	Rivanazzano-Stradella	Burrato, P., and S. Mariano	07/09/2007	2	8	30 - 50	20 - 45	60 - 90	0.1 - 0.5	5.5
ITCS022	Imperia	Fracassi, U., and S. Mariano	03/08/2006	3	10	250 - 270	25 - 35	80 - 100	0.1 - 1	6.3
ITCS026	Lunigiana	Burrato, P., and G. Valensise	14/05/2010	1	10	310 - 330	30 - 45	260 - 280	0.1 - 1	6
ITCS027	Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga	Burrato, P., and S. Mariano	24/09/2007	12	22	90 - 160	20 - 55	70 - 110	0.1 - 1	6.2
ITCS083	Garfagnana	Burrato, P., S. Mariano and G. Valensise	14/05/2010	1	10	300 - 310	30 - 45	260 - 280	0.1 - 1	6.4

7.6 CLASSIFICAZIONE SISMICA (INGV)

La normativa sismica italiana, entrata in vigore l'8 maggio del 2003 con la pubblicazione sulla G.U. dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274 e in seguito aggiornati con l'O.P.C.M. 3519/06, suddivide il territorio italiano in quattro zone sismiche, abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

I criteri per la classificazione sismica del territorio nazionale, emanati con l'ordinanza P.C.M. n. 3274 del 2003 si basano sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni), da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo.

Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4, in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico. Di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nel quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

	Caratteristiche	**Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag)**
Zona 1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.	ag >0.25
Zona 2	Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.	0.15 <ag≤ 0.25
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.	0.05 <ag≤ 0.15
Zona 4	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.	ag ≤ 0.05

L'appartenenza a ciascuna zona sismica comporta l'adozione di specifiche caratteristiche prestazionali per nuovi edifici e strutture, regolate da opportune norme sismiche contenute nel medesimo provvedimento legislativo, e successive modifiche ed integrazioni.

La normativa nazionale è stata recepita dalla Regione Liguria con il DGR n. 530/2003, che ha individuato le zone sismiche e ha stilato un elenco regionale dei comuni in zona sismica; il più recente DGR n.1308/2008 (pubblicata sul Burl n. 47 del 19 novembre 2008) ha portato alla nuova classificazione sismica della Regione Liguria.

Lo scorso 17 marzo la Giunta della Regione Liguria, con delibera n. 216, ha aggiornato la classificazione delle zone sismiche. Tra le principali novità risalta la reintroduzione della zona 2 e il reinserimento in zona 3 dei Comuni di Genova e Savona. In conformità a tale normativa l'area ricade in **Zona sismica 3**.

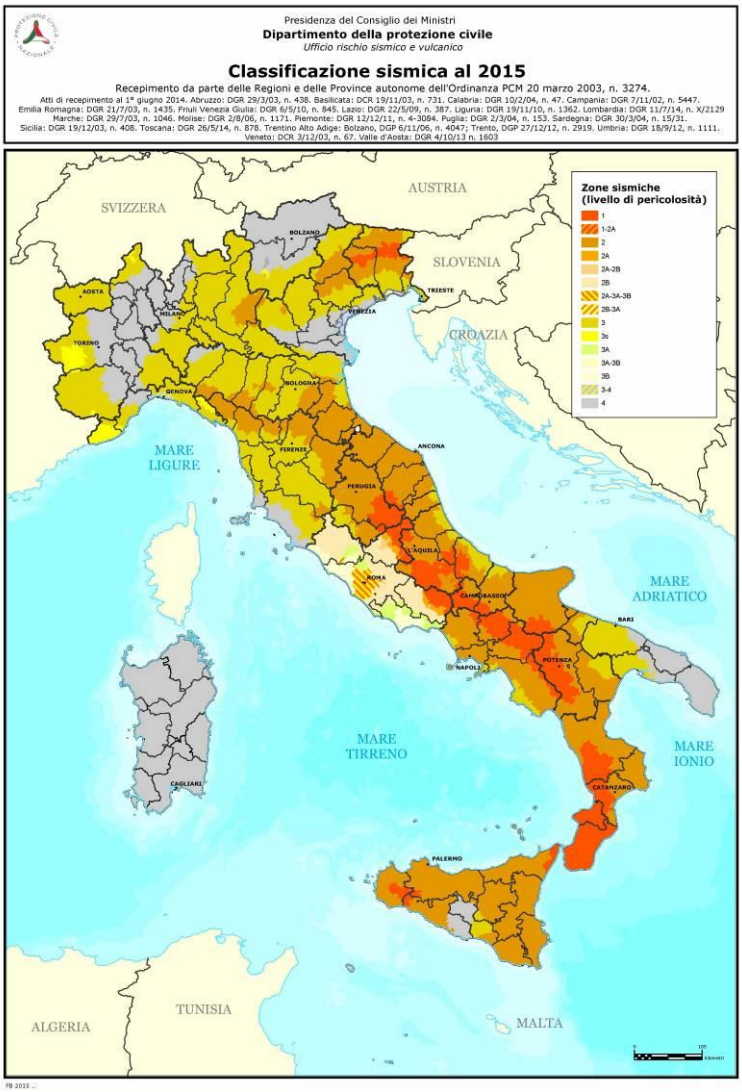


Figura 7-8. Classificazione Sismica al 2015 (Dipartimento di Protezione Civile, Ufficio rischio simico e vulcanico)

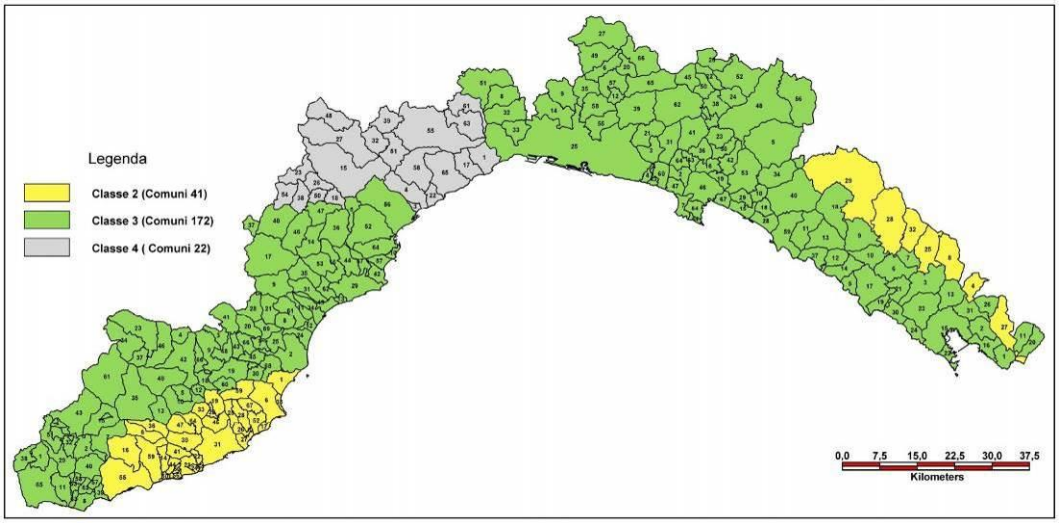


Figura 7-9. Classificazione Sismica della Regione Liguria da DGR 216/201

7.7 ELEMENTI PER UNA VALUTAZIONE DEL RISCHIO SISMICO

Dall'analisi della sismicità storica e strumentale, il territorio comunale di Genova non sembra essere mai stato interessato, in epoca storica, da effetti sul paesaggio naturale. Gli unici effetti documentati, peraltro non permanenti, riguardano lo sviluppo di anomale oscillazioni del livello marino in occasione degli eventi con intensità macrosismica locale pari a 6,5. In base alla scala di intensità sismica ESI 2007 (Michetti et al., 2007), appare del tutto improbabile lo sviluppo di effetti primari (fagliazione superficiale o deformazioni del suolo) con intensità macrosismiche ≤ 6,5 (la scala ESI 2007 prevede lo sviluppo di tali fenomeni a partire dal grado 7 per le aree vulcaniche e a partire dal grado 8 per le altre).

Già a partire dal grado 4 possono invece svilupparsi effetti secondari in ambiente subaereo, quali anomalie idrologiche, fessurazioni del terreno, liquefazioni e collassi gravitativi di versante, con magnitudo dei fenomeni progressivamente crescenti con l'aumentare dell'intensità locale. Già a partire dal grado 5 possono invece svilupparsi frane sottomarine, e con valori di intensità 7 "si possono innescare frane sottomarine di una certa entità che determinano onde anomale nelle zone costiere di mari e laghi, percepite direttamente dalla gente sulle barche e nei porti" (Michetti et al., 2007).

8 ASSETTO GEOLOGICO DELL'AREA DI PROGETTO

L'area di Cornigliano ha subito, a partire dagli anni '40, un intenso intervento antropico che ha progressivamente modificato questo tratto di mare; le indagini geognostiche effettuate, unitamente alle notizie storiche relative alle diverse fasi di costruzione ed ampliamento dell'aeroporto di Genova, hanno comunque consentito di ricostruire la distribuzione dei diversi litotipi ed i loro reciproci rapporti geometrici.

La sezione interpretativa di riferimento (Sezione A-A' vedi GEO0007) è stata tracciata all'interno del canale di calma, parallelamente alla diga foranea ed in posizione mediana fra diga e bordo del rilevato aeroportuale, in prossimità dei cassoni di contenimento in progetto.

Si è scelto di proiettare sulla sezione solo i sondaggi geognostici eseguiti nel canale di calma in quanto i sondaggi SJ4 ed SJ7 sono caratterizzati dalla presenza del rilevato, non significativo ai fini della caratterizzazione dei materiali presenti sul fondo del canale. Tali sondaggi, unitamente ad indagini bibliografiche reperite presso Enti e privati ed alla linea sismica 8, sono stati invece utilizzati per la redazione delle sezioni trasversali (Sez. B-B', C-C' e D-D' vedi GEO 0008).

Per maggior chiarezza, i sondaggi utilizzati per la ricostruzione geologica sono stati proiettati, negli elaborati GEO0007 e GEO0008, evidenziando la distanza dalla traccia della sezione.

I risultati delle indagini geognostiche condotte in corrispondenza dell'opera in progetto consentono l'individuazione delle formazioni del substrato roccioso e di tre tipologie di deposito non lapideo, distinguibili su base granulometrica:

- terreni a prevalente frazione sabbioso – limosa
- terreni a prevalente frazione ghiaiosa
- terreni a prevalente frazione argillosa

In funzione delle caratteristiche granulometriche, sedimentologiche e paleontologiche è possibile ipotizzare che il primo sia riferibile a depositi prevalentemente marini misti a depositi transizionali, mentre il secondo sia attribuibile ai depositi alluvionali del torrente Polcevera. Anche i depositi alluvionali sfumano verso terreni a prevalente frazione sabbioso – limosa. Il terzo gruppo di terreni, quelli a prevalente componente argillosa, possono invece essere attribuiti alla Formazione delle Argille di Ortovero che, nonostante siano di età pliocenica, nei sondaggi presentano caratteristiche non lapidee.

I dati derivanti dai sondaggi indicano che i depositi così individuati non presentano una continuità laterale estesa a tutta l'area d'indagine e, conseguentemente, i rispettivi spessori sono diversi nel settore orientale rispetto a quelli riscontrabili nel settore occidentale del canale.

Tutti i dati disponibili (derivanti da sondaggi, prove penetrometriche e dilatometriche e da indagini geofisiche) dovranno essere tenuti in debita considerazione nell'ambito delle sezioni geotecniche, al fine di verificare l'eventuale presenza di cedimenti differenziali che potrebbero esplicarsi sia in direzione longitudinale sia trasversale all'opera a mare.

8.1 DISTRIBUZIONE DELLE UNITÀ GEOLOGICHE PRINCIPALI NELL'AREA DELL'OPERA A MARE

Al fine di estrapolare verso mare, nella zona del canale di calma, la distribuzione delle unità geologiche principali è stata effettuata la raccolta dei dati di sottosuolo disponibili nella zona costiere tra Pegli a Ovest e Sampierdarena a Est, o nel settore di mare prospiciente. Tali informazioni sono necessarie per la definizione della natura del substrato roccioso presente al di sotto delle coltri di sedimenti marini superficiali. L'allegato 1 rappresenta schematicamente la distribuzione delle informazioni reperite e l'interpretazione del possibile sviluppo areale delle unità geologiche principali.

L'andamento dei limiti tra la diverse unità del substrato roccioso nella zona interessata dall'Opera a Mare è stato ricostruito qualitativamente sulla base dell'assetto geologico dei primi rilievi più prossimi alla costa, proiettando verso mare i limiti e le strutture geologiche principali.

- sondaggi realizzati in fase di Progetto Definitivo in corrispondenza del Canale di Calma (serie SJ, anno 2010) ed indagini realizzate nell'area degli stabilimenti ILVA di Cornigliano (serie

VS12, anno 2015). Solo i sondaggi realizzati nel settore occidentale del Canale di Calma (da SJ1 a SJ5) hanno raggiunto il substrato pre-quaternario.

- sondaggi realizzati nell'area in esame da vari soggetti, a partire dal 1960 (per la maggior parte nel bacino del Porto Petroli), la cui documentazione è raccolta nel documento APE0003.
- sondaggi presenti nella banca dati della Regione Liguria e consultabile sul Geoportale (https://geoportal.regione.liguria.it/). Sono riportate delle stratigrafie sommarie o le scansioni delle stratigrafie originali di centinaia di sondaggi realizzati sul territorio regionale. Sono state analizzate alcune centinaia di sondaggi realizzati nell'area costiera di Pegli, Sestri Ponente, Cornigliano e Sampierdarena; di questi, circa 150 hanno fornito indicazioni sulla natura del substrato roccioso al di sotto dei sedimenti quaternari e dei riporti antropici che costituiscono la piana costiera.
- sondaggi effettuati nell'ambito del "Progetto definitivo della nuova calata ad uso cantieristica navale all'interno del Porto Petroli di Genova Sestri Ponente e della sistemazione idraulica del Rio Molinassi" (Autorità Portuale di Genova - COCIV, 2014), disponibili sul sito del Ministero dell'Ambiente (http://www.va.minambiente.it/).

Questi dati sono stati interpretati attribuendo le descrizioni litologiche riportate nelle stratigrafie alle diverse unità litostratigrafiche presenti nell'area e hanno permesso di tracciare degli ipotetici limiti tra le diverse unità geologiche del substrato al di sotto dei depositi quaternari e antropici del settore costiero (schema cartografico in Allegato 1).

Dalla ricostruzione effettuata il substrato roccioso, nell'area interessata dall'Opera a Mare, risulta articolato nella seguentemaniera:

Settore occidentale

Al di sotto dei depositi marini, sono presenti sedimenti argillosi pliocenici (Argille di Ortovero). Questa unità, che affiora sui primi rilievi collinari alle spalle di Sestri Ponente (Borzoli), è stata incontrata da numerosi sondaggi al di sotto dell'area urbana di Sestri Ponente e nel settore del Porto Petroli. I depositi argillosi consolidati, qui attribuiti alle Argille di Ortovero, sono stati inoltre attraversati dai sondaggi realizzati nella parte occidentale del Canale di Calma (SJ1, SJ2, SJ3, SJ4). Nell'area in esame, le Argille di Ortovero poggiano in discordanza su diverse unità.

- nel settore tra Pegli, Multedo e area Fincantieri a Sestri Ponente, le Argille di Ortovero poggiano sui calcescisti e sulle serpentiniti delle Unità tettono-metamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella, incontrati da diversi sondaggi al di sotto dei sedimenti della fascia costiera. In questo settore, in corrispondenza dei moli del Porto Petroli, la documentazione consultata riporta la presenza di brecce/conglomerati poligenici a clasti di serpentiniti, metabasiti e metasedimenti. Queste rocce sono state incontrate dai sondaggi BH2 e BH3 e descritti come "*brecce tettoniche costituite da livelli di oficalci, metabasalti, metagabbri, metasedimenti e serpentiniti…*". La presenza di rocce conglomeratiche a clasti di rocce "verdi" (in prevalenza serpentiniti) e calcescisti, recuperate durante i dragaggi effettuati nei fondali dell'attuale Porto Petroli, è anche segnalata nella relazione allegata alle indagini per la costruzione del Porto Petroli (documento APE0003, Allegato D), dove sono interpretate come depositi oligocenici. Queste rocce clastiche sono state attribuite all'unità delle Brecce di Torrazza di Pra' (BRP), che affiora lungo la costa tra Pegli e Pra' (dorsale del Bric Castellaccio).
- a NW di Sestri Ponente (settore di Villa Rossi), i depositi pliocenici poggiano sulle successioni carbonatiche dell'Unità tettono-metamorfica Gazzo-Isoverde (Dolomie del M.Gazzo e Serie di Gallaneto Lencisa), che costituiscono la diretta prosecuzione verso mare degli estesi affioramenti che costituiscono il Monte Gazzo, situato immediatamente alle spalle della piana costiera, sul versante destro della Val Chiaravagna.
- sul versante sinistro del Torrente Chiaravagna, le Argille di Ortovero poggiano sui Metabasalti del Monte Figogna, che costituiscono la dorsale collinare di Erzelli che separa la piana costiera di Sestri Ponente a Ovest dalla bassa valle del Polcevera a Est.

Le indagini geofisiche a riflessione (Linee G, B ed H) mostrano, in questo settore la presenza di un canyon profondamente inciso nel substrato lapideo (presumibilmente si tratta della paleo-valle del Torrente Chiaravagna) con profondità che raggiungono 350-400 m, riempito da sedimenti. In

particolare, procedendo dalla superficie del mare fino a profondità comprese fra -50 e -100 m si nota la presenza di livelli planari in discordanza sui depositi più antichi.

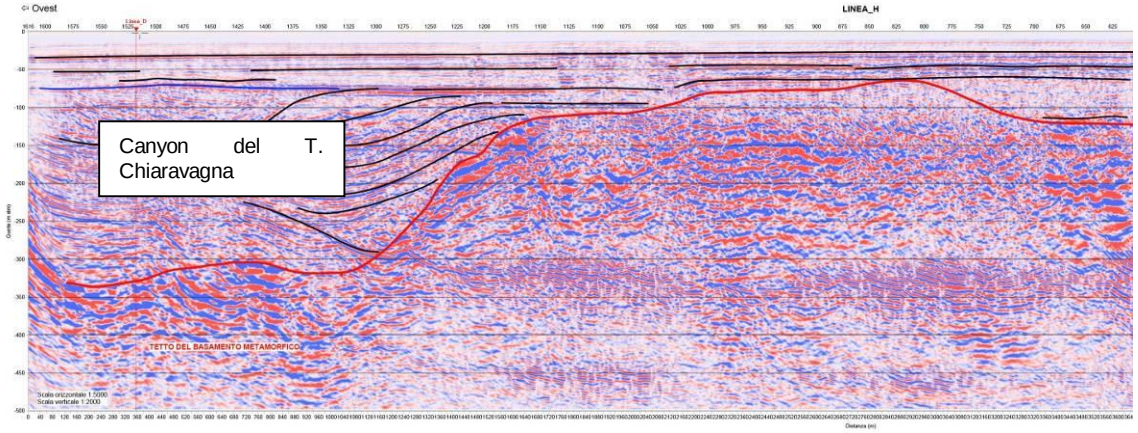


Figura 8-1. Dettaglio Linea sismica H (prossima all'aeroporto)

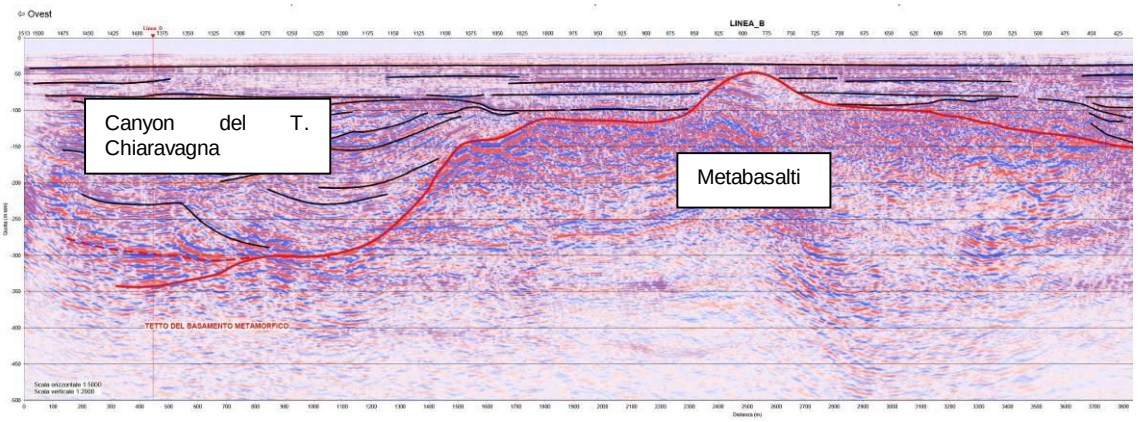


Figura 8-2. Dettaglio Linea sismica B (al centro del canale di calma)

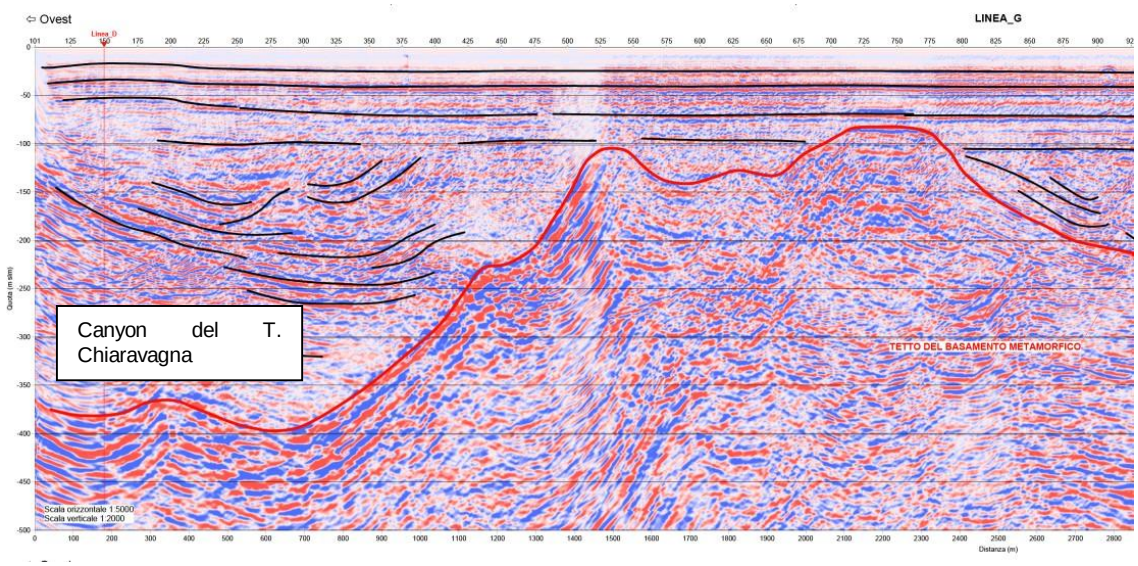


Figura 8-3. Dettaglio Linea sismica G (esterna alla diga foranea)

Nel settore interno al Porto Petroli, la linea E mostra un disturbo nella risposta sismica presumibilmente attribuibile a fenomeni di degassazione (presumibilmente questo fenomeno è attribuibile alla presenza di materiale organico all'interno dei depositi pliocenici/quaternari; ma non si può escludere che sia attribuibile alla presenza di anidride carbonica o di altre tipologie di gas).

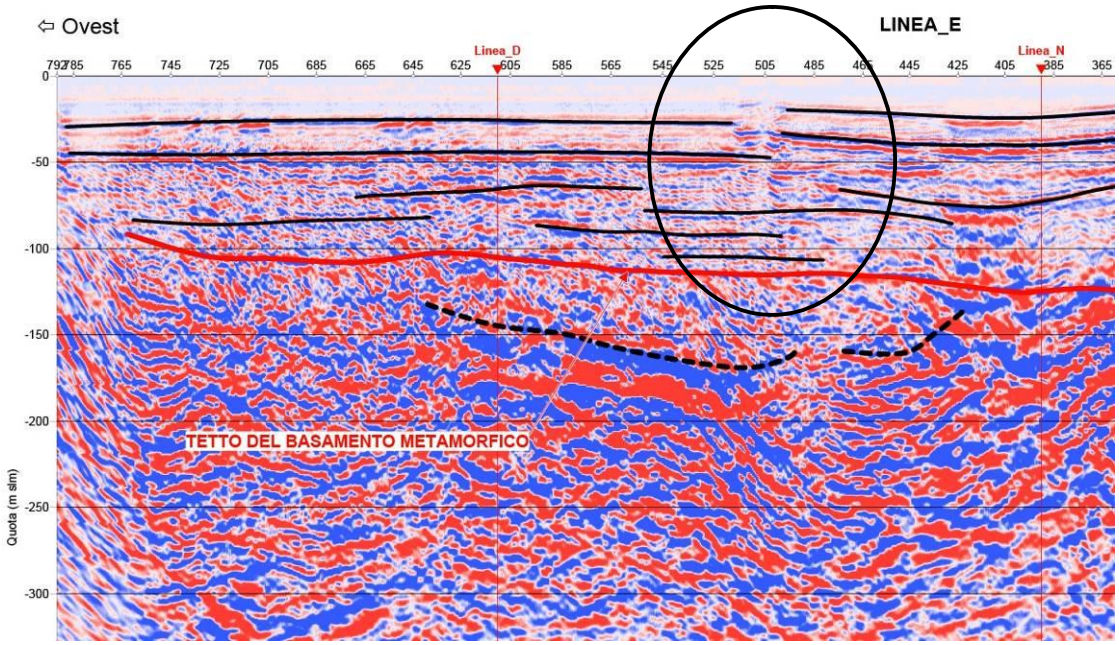


Figura 8-4. Dettaglio Linea sismica E

Settore centrale

Il corpo di Metabasalti del Figogna che costituisce la collina di Erzelli prosegue verosimilmente verso mare interessando il settore centrale dell'aeroporto e dell'Opera a Mare, come confermato dai sondaggi Sj5 e Sj5b che hanno incontrato i metabasalti al di sotto di circa 30 m di sedimenti marini quaternari e dalle indagini geofisiche a riflessione (Linee H, B e G).

Settore orientale

Nel settore orientale dell'area su cui andrà a insistere l'Opera a Mare, il substrato roccioso è invece costituito dalle successioni meta-sedimentarie dell'Unità tettono-metamorfica Figogna (Calcari di Erzelli, Argilloscisti di Costagiutta, Argilloscisti di Murta). Litotipi riferibili a queste successioni sono stati incontrati in sondaggio in diversi punti del settore costiero di Cornigliano, in particolare lungo il tracciato della ferrovia Genova-Ventimiglia in corrispondenza degli stabilimenti ILVA.

Più a Est, appena al di fuori dell'area direttamente interessata dalla realizzazione dell'Opera a Mare, il substrato roccioso su cui poggiano i sedimenti quaternari è verosimilmente costituito dalle successioni appartenenti alle Unità Liguridi interne (Argilliti di Mignanego, Argilliti di Montanesi e Formazione di Ronco), che affiorano sui primi rilievi collinari ai due lati del T.Polcevera.

Le indagini geofisiche effettuate, in particolare la linea G esterna al canale di calma mostrano, nella porzione di sinistra, la presenza di un contrasto nelle caratteristiche di risposta del substrato. In particolare, in base a tale contrasto è legittimo ipotizzare che sul lato ad ovest siano presenti materiali massicci a comportamento più omogeneo (Metabasalti del Monte Figogna), mentre ad est i riflettori indicano la presenza di un substrato con una "stratificazione" (Metasedimenti del Calcari di Erzelli e/o degli Argilloscisti di Murta e del Costagiutta).

Anche questo settore mostra la presenza di "paleovalli", meno incise rispetto a quella del Chiaravagna, colmate da depositi meno definiti attribuibili a sedimenti alluvionali più grossolani. Verosimilmente, il canyon del Torrente Polcevera si è sviluppato più ad E rispetto alle aree indagate dalla geofisica, al di fuori dell'area di interesse progettuale.

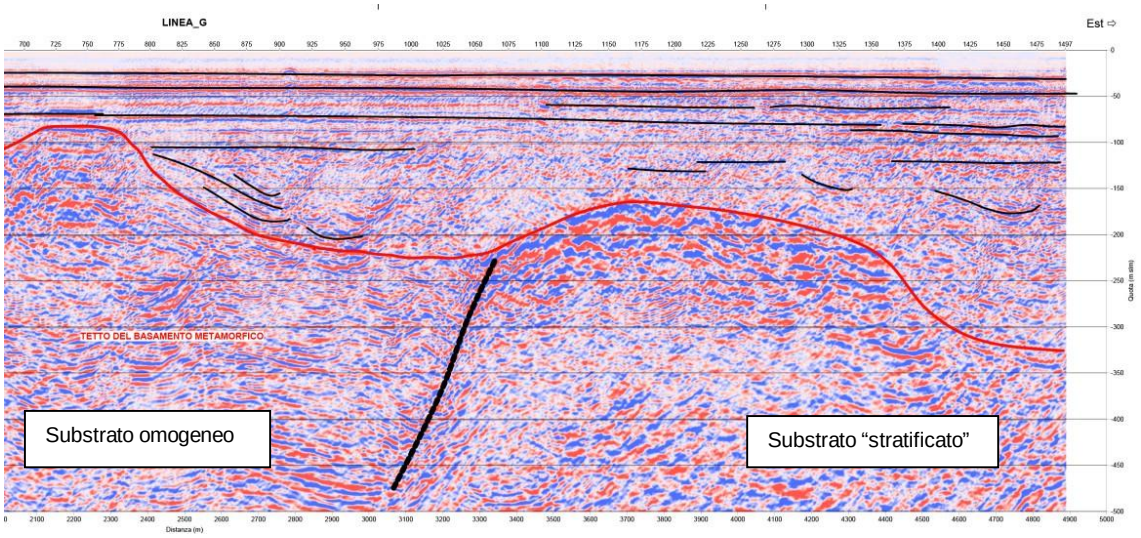


Figura 8-5. Dettaglio Linea sismica G

L'analisi delle stese di geofisica a riflessione ha consentito la ricostruzione tridimensionale del tetto del substrato lapideo rappresentato nella figura seguente.

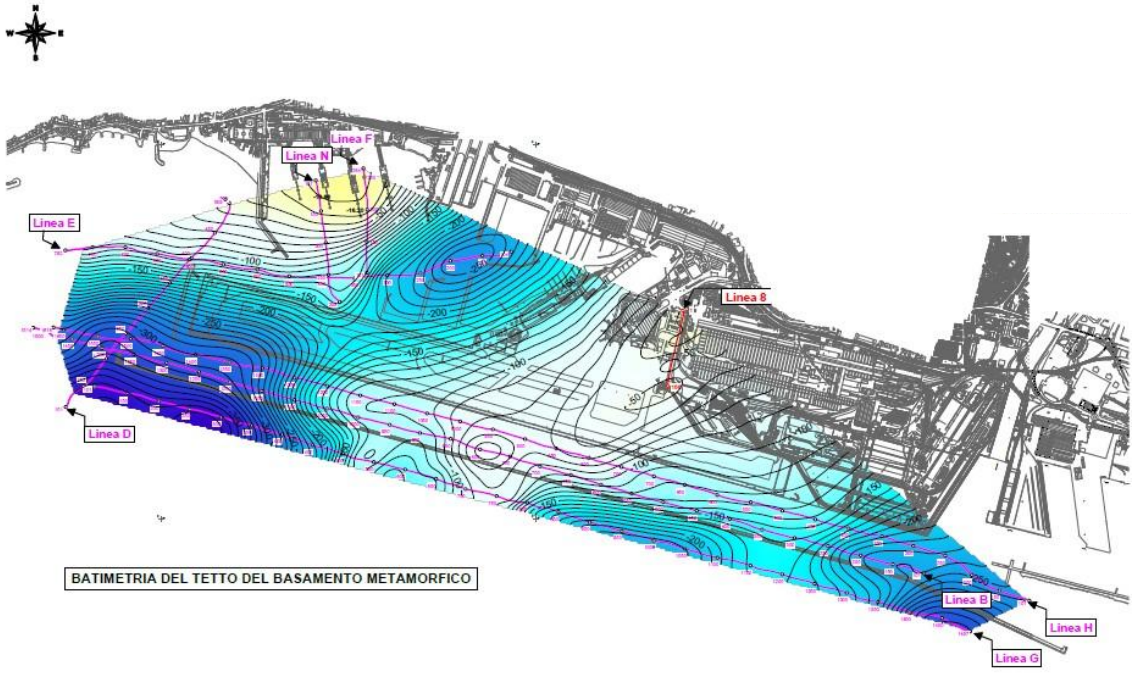


Figura 8-6. Batimetria del tetto del substrato lapideo ricostruito sulla base della sismica a riflessione

Nell'area compresa tra il Porto Petroli di Genova e la foce del Polcevera è possibile riconoscere, procedendo da W verso E, un canyon nel basamento in corrispondenza della foce del Torrente Chiaravagna; già all'interno dell'area portuale il tetto del substrato si colloca a 200 m rispetto al livello del mare (lo spessore dei depositi sciolti raggiunge i 180 m circa). In quest'area si colloca la prosecuzione in mare della "Linea Sestri- Voltaggio", sulla quale è legittimo ipotizzare che si sia impostata la paleo-valle della quale stiamo parlando.

Nella parte centrale dell'area in esame, è invece presente la prosecuzione verso mare dello spartiacque costituito dal Monte Figogna - Bric Teiolo, intercettato dai sondaggi Sj5 ed Sj5bis. La dorsale, allungato in direzione NE-SW, ha un andamento articolato, con un avvallamento evidenziato dalla linea sismica 8 (sezione geologica D-D' nell'elaborato GEO0008).

Verso E la ricostruzione del substrato evidenzia un secondo canyon (canyon del Polcevera) la cui massima profondità si raggiunge al di fuori del settore interessato dallo studio.

8.2 DESCRIZIONE DELLE SEZIONI GEOLOGICHE

L'analisi dettagliata delle stratigrafie di una moltitudine di sondaggi e dei risultati della sismica ha permesso la realizzazione di alcune sezioni geologiche interpretative, tra le quali le più significative sono quella longitudinale e tre trasversali rispetto all'opera progettata (cfr. GEO0007-GEO0008).

La sezione geologica longitudinale A-A', realizzata parallelamente all'andamento dell'Opera a Mare, evidenzia che i sedimenti argillosi, incontrati nei sondaggi SJ1, SJ2, SJ3, SJ4 e BH9 al di sotto dei 50-55 metri dal livello del mare (35-40 metri dal fondale) e descritti nelle stratigrafie come "*argilla grigia dura/consistente*" o "*argilla compatta*", sono stati interpretati come depositi pliocenici appartenenti alla formazione delle Argille di Ortovero, facenti quindi parte del substrato pre-quaternario. Questa interpretazione è coerente con le ricostruzioni bibliografiche dell'area (es "Studio di Impatto Ambientale del Piano Regolatore del Porto di Genova", che riporta la presenza di Argille di Ortovero al di sotto dei sedimenti marini quaternari, a una profondità di circa 30 m dal livello del mare in prossimità della terminazione occidentale del rilevato aeroportuale) e con i dati di numerosi sondaggi effettuati nel settore del Porto Petroli di Sestri Ponente, che rivelano la diffusa presenza di argille plioceniche al di sotto dei sedimenti marini quaternari.

Si rileva che i depositi prevalentemente alluvionali ascrivibili al torrente Polcevera sono separati dall'alto morfologico costituito da metabasalti. Questo alto morfologico avrebbe impedito la sedimentazione dei depositi alluvionali nella porzione occidentale. La presenza dei metabasalti e delle argille plioceniche (Argille di Ortovero) si trova in accordo con gli affioramenti presenti immediatamente a nord, cioè sulla porzione continentale dell'area esaminata.

In ragione di quanto sopra, anche questo assetto geometrico dovrà essere tenuto in debita considerazione nell'ambito delle sezioni geotecniche, al fine di verificare la propensione del contesto geologico-geotecnico nei confronti dei cedimenti differenziali. In questo senso è anche opportuno ricordare che le geometrie dei prismi sedimentari costituiti da sedimenti marini quaternari non possono essere assunte, a fini geotecnici, come corpi tabulari, ma più realisticamente come corpi cuneiformi che si inspessiscono procedendo verso il mare aperto e con possibili variazioni laterali di spessore anche procedendo parallelamente alla costa.

I depositi marini e transizionali quaternari, di natura prevalentemente sabbioso-limosa, suturano verso l'alto sia i litotipi del substrato lapideo, sia i depositi alluvionali, fino al raggiungimento dell'attuale fondale marino.

Le sezioni geologiche B-B' e C-C', trasversali all'area sono state realizzate tra la zona costiera e la parte esterna della diga foranea ed attraversano il Porto Petroli, il rilevato aeroportuale, il canale di calma e la diga. Entrambe le sezioni mostrano la presenza di un substrato che si approfondisce significativamente già all'interno del porto (oltre i 200 m da l.m. secondo le linee sismiche D-E-F-N). Nella parte più settentrionale il substrato è costituito da calcescisti e "*brecce ofiolitiche*" appartenenti alle Unità tettono-metamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella.

I sedimenti argillosi delle Argille di Ortovero si appoggiano sul substrato, approfondendosi in modo costante verso mare mentre lo spessore dei depositi marini e transizionali quaternari aumenta. passando dai circa 5-6 metri al di sotto dei riporti antropici della costa di Multedo, a più di 30 metri in corrispondenza del lato a mare del rilevato aeroportuale.

La sezione D-D', anch'essa trasversale alle opere, è stata realizzata all'estremità orientale dell'area aeroportuale; l'analisi della linea sismica 8 ha consentito di identificare una vallecola secondaria incisa nel substrato che, presumibilmente, è costituito da metabasalti. In questo settore i sondaggi realizzati non hanno rinvenuto le argille prequaternarie fino a 70-75 m da livello mare, ma solo i depositi marini quaternari.

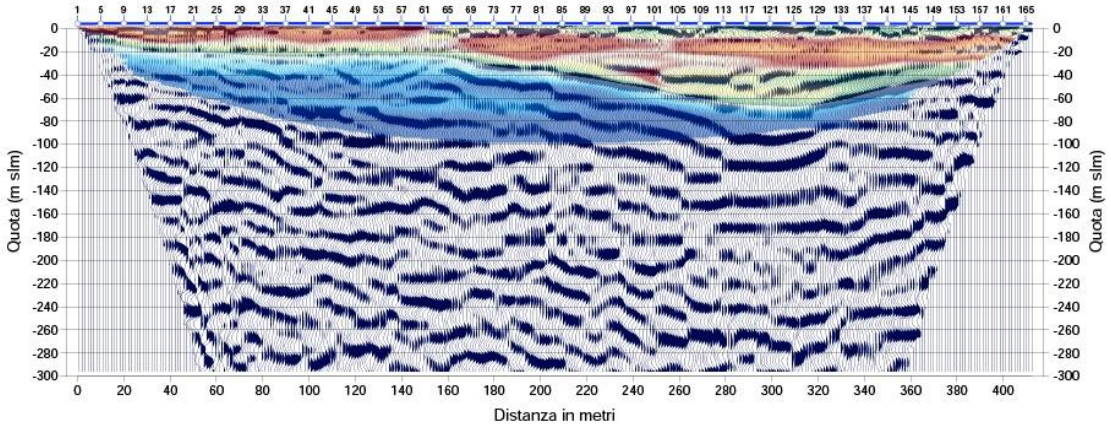


Figura 8-7. Linea sismica 8 realizzata all'estremità W dell'aeroporto

Nell'allegato 2 sono inoltre riportate due sezioni geologiche realizzate con andamento circa N-S (e di conseguenza circa perpendicolari alla sezione geologica AA'), utili ad illustrare l'andamento dei corpi geologici in direzione perpendicolare alla linea di costa. Tali sezioni geologiche fanno parte delle "Indagini geologiche a corredo dello Studio di Impatto Ambientale del Piano Regolatore del Porto di Genova" (documentazione dell'Autorità Portuale di Genova).

La sezione geologica BB' è stata realizzata in corrispondenza del Ponte Canepa del Bacino di Sampierdarena, circa 1,5 Km a Est della terminazione orientale dell'Opera a Mare. La sezione sulla quale sono proiettati i dati di 5 sondaggi (G38/1, G38/2, G2/1, G2/2, G48/2) raggiunge una profondità di circa 30 m dal livello del mare, ed è interamente sviluppata nei sedimenti marini quaternari senza raggiungere il tetto del substrato roccioso.

La sezione geologica CC' mostra un prisma di sedimenti marini quaternari che aumenta di spessore verso mare, passando da circa 5-6 metri di potenza al di sotto dei riporti antropici della costa di Multedo, a più di 30 metri in corrispondenza del lato a mare del rilevato aeroportuale. Parallelamente, il tetto del substrato roccioso su cui poggiano tali sedimenti si approfondisce, passando da circa 10 m sotto il livello del mare in corrispondenza della costa a circa 45 metri in corrispondenza del sondaggio SJ1.

La sezione CC' mostra inoltre la natura del substrato roccioso su cui poggiano i sedimenti marini quaternari. Nella parte più settentrionale, fino a circa 250 m dalla linea di costa, tale substrato è costituito da calcescisti e "*brecce ofiolitiche*" appartenenti alle Unità tettono-metamorfiche Voltri e Palmaro-Caffarella; più verso mare, i sedimenti quaternari poggiano invece su depositi argillosi pliocenici (Argille di Ortovero).

9 ELEMENTI PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO GEOLOGICO GENERALE SOTTESO DAL CONTESTO MARINO PROSPICIENTE GENOVA

Come già accennato nei capitoli precedenti, l'assetto geomorfologico del tratto costiero prospicente il territorio comunale di Genova è caratterizzato dalla presenza da una piattaforma a debole e regolare pendenza (pochi gradi) ampia circa 8-10 km, che costituisce l'elemento di raccordo tra l'area costiera emersa e il ciglio della scarpata. La continuità della piattaforma è tuttavia bruscamente interrotta dalla testata dei due imponenti canyon sottomarini, noti in letteratura come canyon del Polcevera (a Ovest) e del Bisagno (a Est), che traggono origine dai delta-conoidi sommersi dei rispettivi corsi d'acqua continentali. La testata dei canyon è contraddistinta da una morfologia piuttosto complessa, costituita da un insieme di scarpate di erosione, subcircolari o ad anfiteatro, coalescenti, ciascuna delle quali formatasi a seguito di ripetuti collassi di frana che con meccanismi retrogressivi hanno progressivamente intaccato la scarpata incidendola profondamente (Fig. 4-7). I valori di acclività nella testata dei canyon sono piuttosto elevati: in entrambi i citati canyon, il loro profilo longitudinale nel tratto corrispondente ai primi 20 km a partire dal ciglio della scarpata ha una pendenza media di 4,3°, sebbene localmente possano essere raggiunti anche valori di acclività pari a 7-8° (Soulet et al., 2016). Valori ancora più elevati si registrano tuttavia per i fianchi del canyon e soprattutto lungo le nicchie di distacco degli slump sottomarini.

Secondo una classificazione stilata da Migeon et al. (2011) in merito alla tipologia dei fenomeni di collasso gravitativo sottomarini riconosciuti lungo tutto il margine costiero tra Genova e Nizza (classificazione fondata essenzialmente sulla morfologia, dimensione e localizzazione lungo la scarpata delle zone di distacco), la testata dei canyon del Polcevera/Bisagno è considerata di Tipo 1. Questa tipologia di slump scar (alla quale sono associati volumi di sedimenti mobilizzati < 0,1 km^3) si localizza essenzialmente nella parte più elevata ed acclive (e quindi instabile) della scarpata e in prossimità di aree caratterizzate da ingenti apporti solidi da parte dei corsi d'acqua costieri. Secondo Migeon et al. (2011) possono inoltre localizzarsi:

- lungo i fianchi dei canyon che intaccano la scarpata in aree con pendenze superiori ai 20°;

- in aree non direttamente interessate da ingenti apporti terrigeni, ma in prossimità di aree coinvolte da eventi sismici significativi (il riferimento degli autori è all'evento del 1887) e, in questi casi, anche con pendenze relativamente modeste (5°) (Migeon et al., 2011).

Questa tipologia di nicchia di distacco è analoga a quella formatasi a seguito dell'imponete collasso gravitativo innescatosi in corrispondenza del rilevato artificiale dell'aeroporto di Nizza il 16 ottobre 1979, durante le operazioni di espansione verso mare del rilevato (Ioualalen et al., 2010). E' opportuno sottolineare che a Nizza, prima dell'evento di collasso, il ciglio della scarpata che immette nell'omonimo canyon si localizzava a qualche centinaio di metri dal rilevato della pista aeroportuale.

Fra i fattori predisponenti per l'innesco degli slump alla testata dei canyon vengono citati:

- la pendenza del fondale marino (nel caso del Tipo 1 di Migeon et al., 2011, i valori critici di acclività entro i quali si sviluppano slump oscillano nell'intervallo compreso tra 10° e 20°; gli stessi autori sottolineano tuttavia che tale parametro non rappresenti sempre un elemento indicativo valido per definire la suscettibilità al collasso dei sedimenti di piattaforma);

- la sismicità locale (e più precisamente magnitudo e profondità ipocentrale);

- le variazioni su lungo termine del livello marino;

- il sovraccarico della successione sedimentaria da parte di altri apporti terrigeni di origine continentale (e antropici).

Sulla scorta degli elementi fin qui esposti e alla luce di quanto avvenuto a Nizza nel 1979 è quindi possibile effettuare alcune considerazioni generali in merito ai possibili rischi relativi alla realizzazione delle opere nel contesto marino genovese:

1) L'area prospiciente l'aeroporto di Genova, dove è previsto lo stoccaggio del materiale di risulta dello scavo, è situata ad una distanza di circa 2-2,5 km dal ciglio della scarpata del canyon del Polcevera, distanza che può essere considerata relativamente sicura rispetto al possibile innesco di

fenomeni di collasso gravitativo dei sedimenti della piattaforma associati a fenomeni di erosione rimontante, che però meritano attenzione durante l'implementazione dei modelli.

2) La sismicità strumentale (entro un raggio di 30 km a partire dal capoluogo) e quella storica non evidenziano per l'area di Genova intensità macrosismiche superiori al grado 6,5 MCS. Inoltre, dall'analisi della documentazione storica, non sono noti effetti sul paesaggio naturale sia nell'area montana, sia lungo la fascia costiera (effetti invece ben documentati in occasione dell'evento del 1887). In base alla scala ESI 2007, non è tuttavia possibile escludere che, in occasione di eventi di moderata magnitudo, possano verificarsi distacchi di materiale in corrispondenza della testata dei canyon del Polcevera e del Bisagno.

3) Si ritiene opportuna, inoltre, una valutazione degli effetti di onde di tsunami, sebbene a Genova non abbiano storicamente raggiunto altezze rilevanti (0,5 m in occasione del sisma del 1887), anche in considerazione dell'ipotesi 2 (vedi par. 5.2) relativa all'innesco dell'evento di Nizza del 1979. Il possibile cedimento dei depositi sedimentari sui quali insiste l'Opera a Mare in seguito ad un abbassamento repentino del livello marino (dell'ordine di alcuni metri) e del conseguente maggior carico esercitato dal rilevato dell'opera, a seguito di un collasso gravitativo verificatosi sulla scarpata continentale è un'ipotesi, per quanto remota, da tenere in considerazione.

10 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SUI PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

In questo ambito si ribadiscono alcune criticità geologiche che possono avere influenza per la progettazione delle opere; resta comunque inteso che gli elaborati geologici devono essere considerati nella loro interezza:

- presenza di materiali con scadenti caratteristiche meccaniche ed elevata compressibilità come ad esempio quella riscontrabile nell'ambito dei depositi marini. Il materiale antropico è invece contraddistinto da caratteristiche molto variabili;
- possibili cedimenti differenziali tra le varie parti dell'opera connessi alla disomogeneità della distribuzione di litotipi contraddistinti da differenti caratteristiche meccaniche;
- estrema variabilità delle caratteristiche e dello spessore del riporto antropico che ha riempito le incisioni sottomarine collocate in corrispondenza della prosecuzione delle foci dei corsi d'acqua principali (Chiaravagna e Polcevera) e che ha parzialmente compenetrato i sedimenti marini più soffici;
- l'ubicazione delle lenti di materiali a differente granulometria e degli elementi strutturali è soggetta ad un certo grado di indeterminatezza in ragione della complessità della struttura geologica e dei rapporti eteropici con i sedimenti di genesi alluvionale;
- la vicinanza di infrastrutture (aeroporto e diga foranea) rappresenta un elemento che il progettista dovrà considerare con la massima attenzione, in quanto una variazione inopportuna dello stato tensionale dei terreni dovuta alla realizzazione di scavi, riporti, ecc. può generare importanti lesioni a danno di tali manufatti, qualora non vengano adottate le opportune contromisure;
- la presenza di canyon sottomarini a pochi chilometri di distanza dall'opera potrebbe rappresentare sia un'area sorgente di terremoti (strutture tettoniche associate ai canyon), sia di fenomeni gravitativi (frane sottomarine) con conseguente possibile innesco di onde di tsunami (come documentato in aree più occidentali della costa; vedi il citato evento dell'aeroporto di Nizza del 1979).

11 BIBLIOGRAFIA

Ambraseys N.N. (1962) - Data for the investigation of seismic sea waves in the Eastern Mediterranean, Bull. seism. Soc. Am., 52, 895–913.

Autorità Portuale di Genova - Piano Regolatore Portuale, Studio di Impatto Ambientale. Volume 0, Relazione di sintesi non tecnica.

Autorità Portuale di Genova, COCIV (2014) Progetto Definitivo della nuova calata ad uso cantieristica navale all'interno del Porto Petroli di Genova Sestri Ponente e della sistemazione idraulica del Rio Molinassi. Relazione indagini geolgnostiche e ambientali. Reperibile all'indirizzo: http://www.va.minambiente.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/1525/2370?pagina=1

Camassi R., Castelli V., Molin D., Bernardini F., Caracciolo C.H., Ercolani E., Postpischl L. (2011) - Materiali per un catalogo dei terremoti italiani: eventi sconosciuti, rivalutati o riscoperti. Quaderni di Geofisica, 96, 389 pp.

Capponi G., Crispini L. (2002) – Structural and metamorphic signature of alpine tectonics in the Voltri Massif (Ligurian Alps, North Western Italy). Eclogae geol. Helv., 95, 31-42.

Capponi G., Crispini L. (2008) – Carta Geologica d'Italia alla scala 1.50.000 e Note Illustrative. Foglio 213-230 (Genova). APAT, Roma.

Capponi G., Crispini L., Piazza M., Amandola L. (2001) - Field constraints to the Mid-Tertiary kinematics of the Ligurian Alps. Ofioliti, 26, 409-416.

Crispini L., Capponi G. (2001) - Tectonic evolution of the Voltri Group and Sestri Voltaggio Zone (Southern limit of the NW Alps):a review. Ofioliti, 26 (2a), 161-164.

Cortesogno L., Haccard D. (1984) – Note illustrative alla carta geologica della zona Sestri-Voltaggio. Mem. Soc. Geol. It., 28, 115-150.

Crispini L., Federico L., Capponi G., Spagnolo C. (2009) – Late orogenic transpressional tectonics in the "Ligurian Knot". Ital. J. Geosci., 128, 433–441.

Dan G., Sultan N., Savoye B. (2007) The 1979 Nice Harbour catastrophe revisited: trigger mechanism inferred from geotechnical measurements and numerical modelling. Marine Geology, 245, 40-64.

d'Atri, A., Piana, F., Tallone, S., Bodrato, G. & Roz Gastaldi, M. (1997). Tettonica oligo-miocenica nell'Alto Monferrato (Bacino Terziario Piemontese) e nel settore nord-occidentale del Gruppo di Voltri (Acqui Terme, Cassinelle, AL). Atti Tic. Sci. Terra, Ser. Spec., 5, 85-100.

Elter P., Pertusati P. (1973) – Considerazioni sul limite Alpi - Appennino e sulle sue relazioni con l'arco delle Alpi Occidentali. Mem. Soc. Geol. It, 12 (4), 359-376.

ENEL (1994) - Rapporto per la localizzazione di una centrale elettronucleare nella Regione Piemonte - Area PO 2. Rapporto 8402. Vol. X.

Eva C., Rabinovich A.B. (1997) The February 23, 1887 tsunami recorded on the Ligurian coast, western Mediterranean Geophys. Res. Lett., 24, 2211-2214.

Fanucci F., Fierro G., Rehault J.P. (1974) Evoluzione quaternaria della piattaforma continentale ligure. Mem. Soc. Geol. It., 13/2.

Fanucci F., Morelli D (2006) Assettostrutturale ed evoluzione polifasica del margine appenninico tra Portofino e La Spezia. Rend. Soc. Geol. It,

Fanucci F., Corradi N., Fierro G., Firpo M., Piccazzo M., Ramella A., Tucci S. (1987) Sismostratigrafia e neotettonica del Mar Ligure. Quad. Ist. Geol. Univ. Genova, 8 (3).

Fanucci F., Morelli D., Corradi N., Balduzzi I., Migeon S. (2016) Slope instability and erosional features of the Ligurian Margin. Rend. Online Soc. Geol. It., 40 (suppl. 1), 603.

Federico L., Capponi G., Crispini L., Scambelluri M. (2004) – Exhumation of alpine high pressure rocks: insights from petrology of eclogite clasts in the Tertiary Piedmontese basin (Ligurian Alps, Italy). Lithos, 74, 21-40.

Ferraris F., Firpo M., Pazzaglia F.J. (2012) DEM analyses and morphotectonic interpretation: the Plio-Quaternary evolution of the eastern Ligurian Alps, Italy. Geomorphology, 149-150, 27-40

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007) - CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500). INGV-SGA. http://storing.ingv.it/cfti4med

Hoogerduijn Strating E.H. (1994) – Extensional faulting in an intraoceanic subduction complex – working hypothesis for the Paleogene of the Alps-Apennine system. Tectonophysics, 238, 255-273.

Ioualalen M., Migeon S., Sardoux O. (2010) Landslide tsunami vulnerabilità in the Ligurian Sea: case study of the 1979 October 16 Nice International airport submarine landslide and of identified geological mass failures. Geophys. J. Int., 181, 724-740.

ISIDe working group (2016) - Version 1.0. DOI: 10.13127/ISIDe

Larroque C., Scotti O. & Ioualalen M. (2012) - Reappraisal of the 1887 Ligurian earthquake (western Mediterranean) from macroseismicity, active tectonics and tsunami modelling. Geophys. J. Int., 190, 87–104.

Laubscher H., Biella G.C., Cassinis R., Gelati R., Lozej A., Scarascia S., Tabacco I. (1992) – The collisional knot in Liguria. Geol. Rundsch., 81 (2), 275-289.

Martino S., Prestininzi A., Romeo W. (2014) - Earthquake-induced ground failures in Italy from a reviewed database. Nat. Hazard Earth Syst. Sci., 14, 799-814.

Michetti A.M., Esposito E., Guerrieri L., Porfido S., Serva L., Tatevossian R., Vittori E., Audemard F., Azuma T., Clague J., Comerci V., Gürpinar A., McCalpin J., Mohammadioun B., Mörner N.A., Ota Y., Roghozin E. (2007) - Intensity Scale ESI 2007. In: Vittori, E. & Guerrieri, L. (Eds.), Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, LXXIV. Servizio Geologico d'Italia, Dipartimento Difesa del Suolo, APAT, SystemCart Srl, Roma, Italy, 7-54.

Migeon S., Cattaneo A., Hassoun V., Larroque C., Corradi N., Fanucci., Dano A., Mercier de Lapinay B., Sage F., Gorini C. (2011) Morphology, distribution and origin of recent submarine landslides of the Ligurian Margin (North-western Mediterranean): some insights into geohazard assessment. Mar. Gepphys. Res., 32, 225-243.

Molli G., Crispini L., Malusà M., Mosca P., Piana F., Federico L. (2010) Geology of the Western Alps-Northern Apennine junction area: a regional review. In: M. Beltrando, A. Peccerillo, M. Mattei, S. Conticelli, C.Doglioni (Eds.), The Geology of Italy: tectonics and life along plate margins. J. Virtual Explorer, 36, paper 10.

Morelli D. (2008) La cartografia marina: ricerche ed applicazioni orientate ai rischi geologico-ambientali in aree campione. Tesi di Dottorato, Università degli Studi di Trieste, 118 pp.

Ramsay J.G. (1967) – Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, New York.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (Eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Soulet Q., Migeon S., Gorini C., Rubino J-L., Raisson F., Bourges P. (2016) Erosional versus aggradational canyons along a tectonically-active margin: the northeastern Ligurian margin (western Mediterranean Sea). Mar. Geol., 382, 17-36.

Sturani C. (1975) Explanatory notes on the Western Alps (from the Sestri-Voltaggio Line to the vl d'Ossola) Structural Model of Italy. Quad. Ric. Sci., CNR, 90. 149-174.

Spagnolo C., Crispini L., Capponi G. (2007) – Late structural evolution in an accretionary wedge: insights from the Voltri Massif (Ligurian Alps, Italy). Geodinamica Acta, 20 (1-2), 21-35.

Vanossi M. (1991) – Guide Geologiche Regionali, Alpi Liguri. BE-MA Editrice, 295 pp

ALLEGATO N° 1:

Schema geologico interpretativo dell'area dell'opera a mare

Sondaggi del settore costiero che hanno incontrato il substrato roccioso:

- *ORV, Argille di Ortovero*
- *BRP, Brecce di Torrazza di Pra'*
- *LIG, Unità Liguridi*
- *ERZ-AGI-AGF, Calcari di Erzelli, Argilloscisti di Costagiutta e di Murta, non distinti*
- *MBF, Metabasalti del Monte Figogna*
- *SGL, Serie di Gallaneto-Lencisa*
- *MDG, Dolomie del Monte Gazzo*
- *CS, Calcescisti unità Voltri e Palmaro-Caffarella*
- *MG, Metagabbri unità Voltri e Palmaro-Caffarella*
- *S, Serpentiniti unità Voltri e Palmaro-Caffarella*

- *Argille di Ortovero discordanti su Brecce di Torrazza di Pra' BRP*
- *Dolomie MDG tetttonicamente sovrapposte a serpentiniti S*
- *Attribuzioni con riserva*
- *unità non identificabile in base alla descrizione litologica*

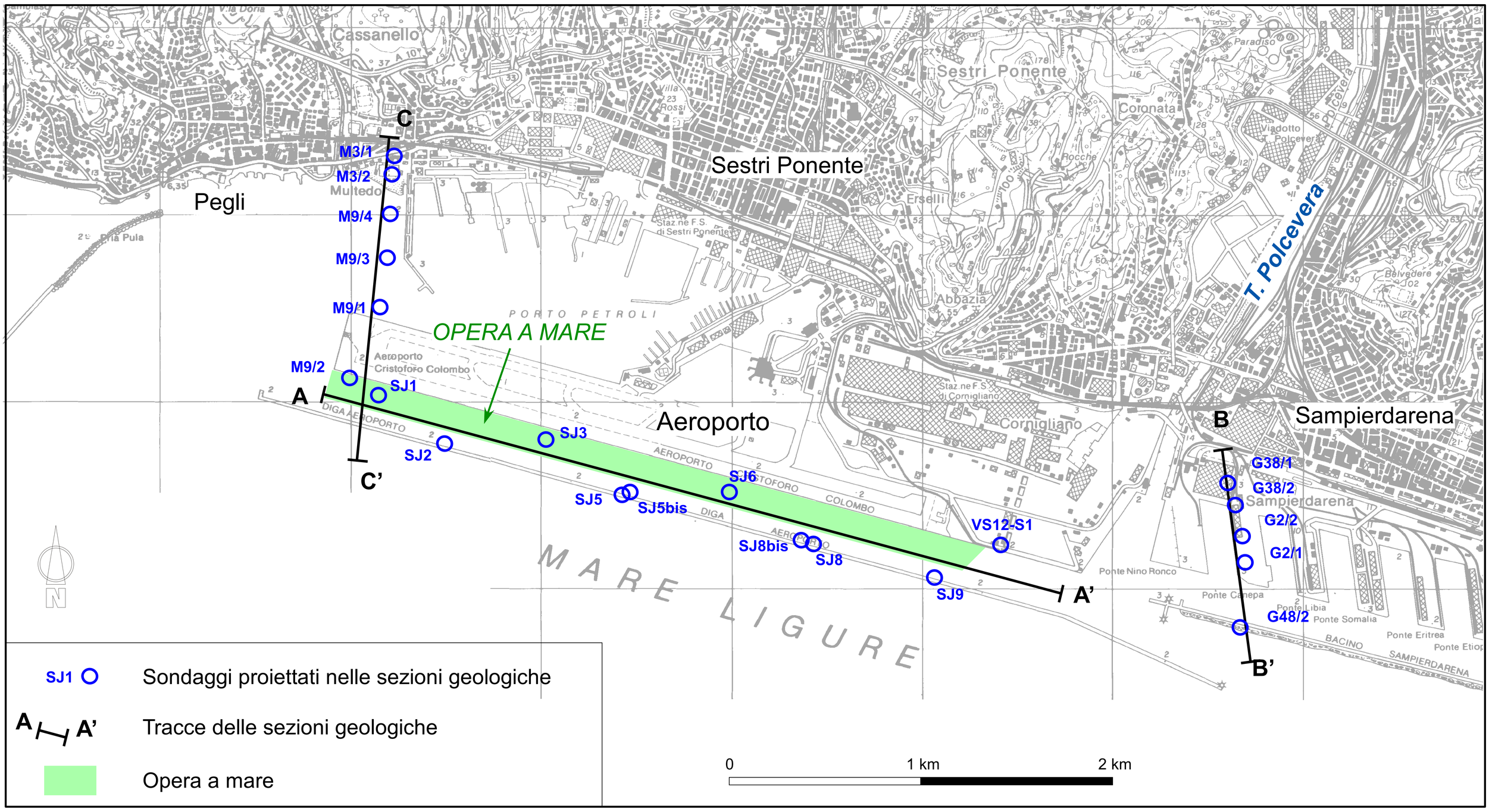
Possibili limiti tra le unità del substrato nell'area dell'Opera a Mare

0 1 km 2 km

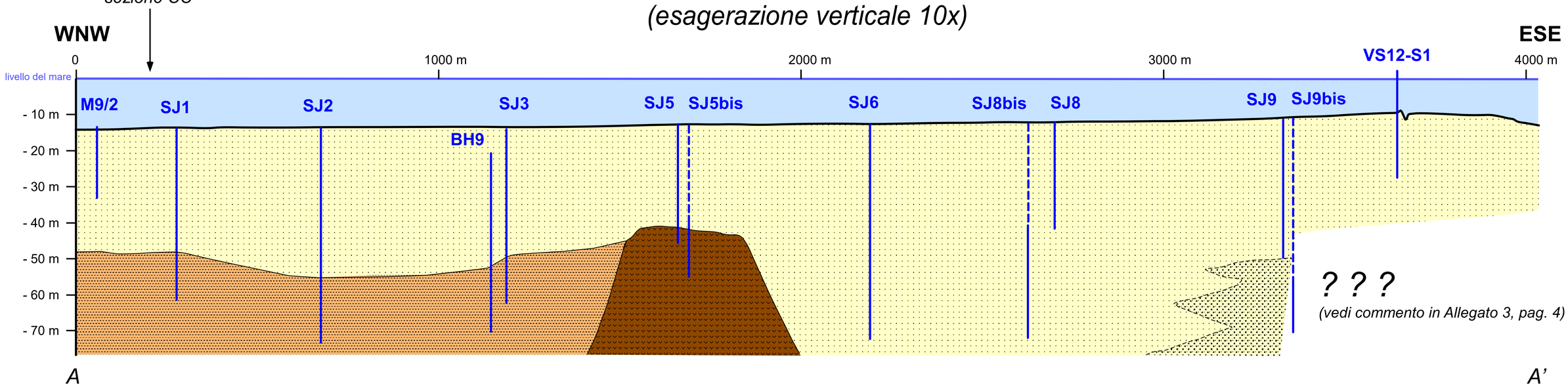
N

ALLEGATO N° 2:

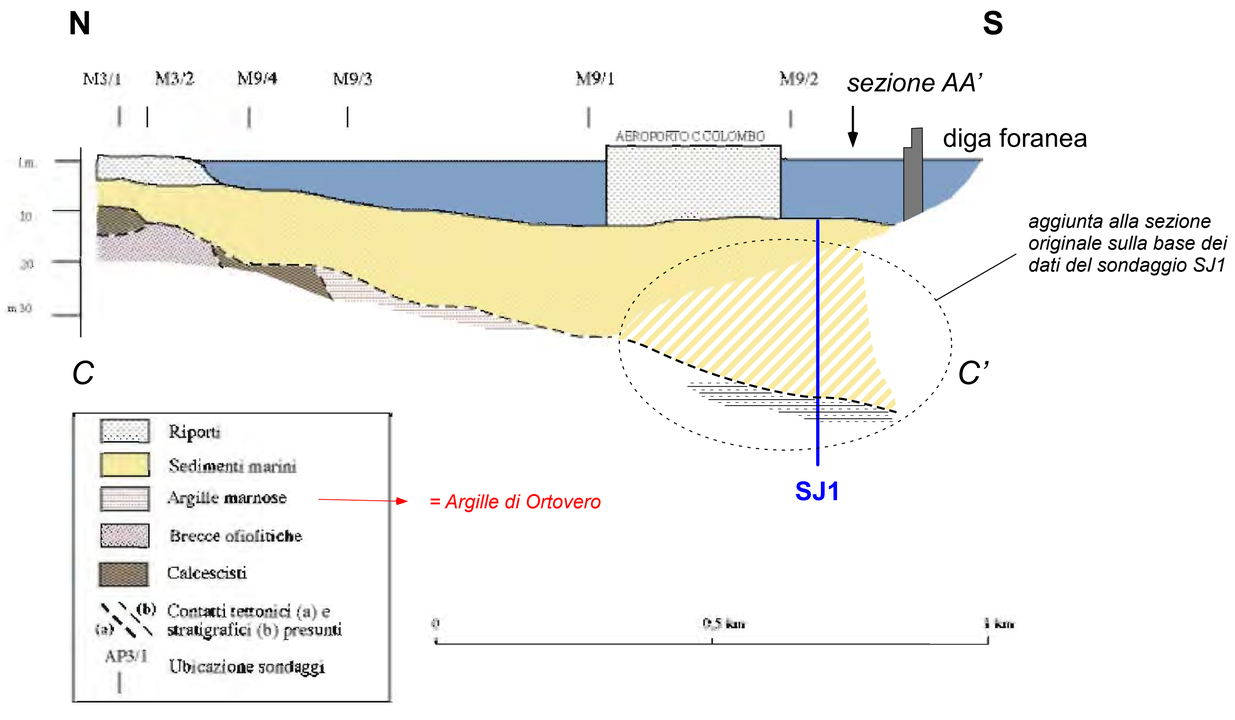
Sezioni geologiche



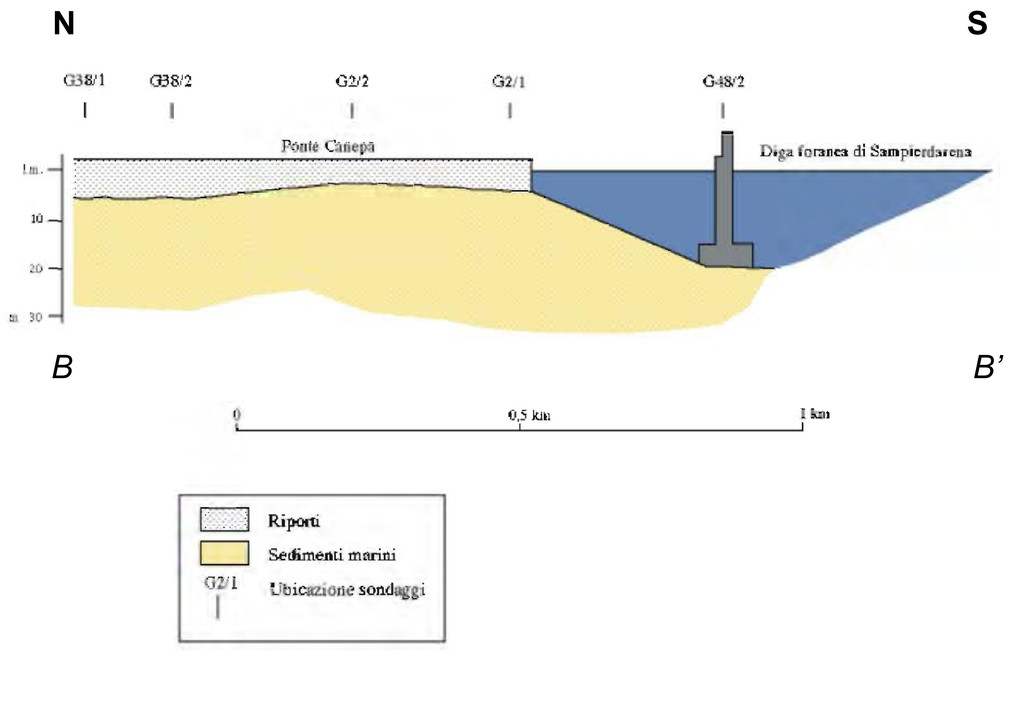
Sezione Geologica AA'
(esagerazione verticale 10x)



Sezione Geologica CC' *(esagerazione verticale ~9x)*
da: "Indagini geologiche a corredo dello Studio di Impatto Ambientale del Piano Regolatore del Porto di Genova"



Sezione Geologica BB' *(esagerazione verticale ~9x)*
da: "Indagini geologiche a corredo dello Studio di Impatto Ambientale del Piano Regolatore del Porto di Genova"



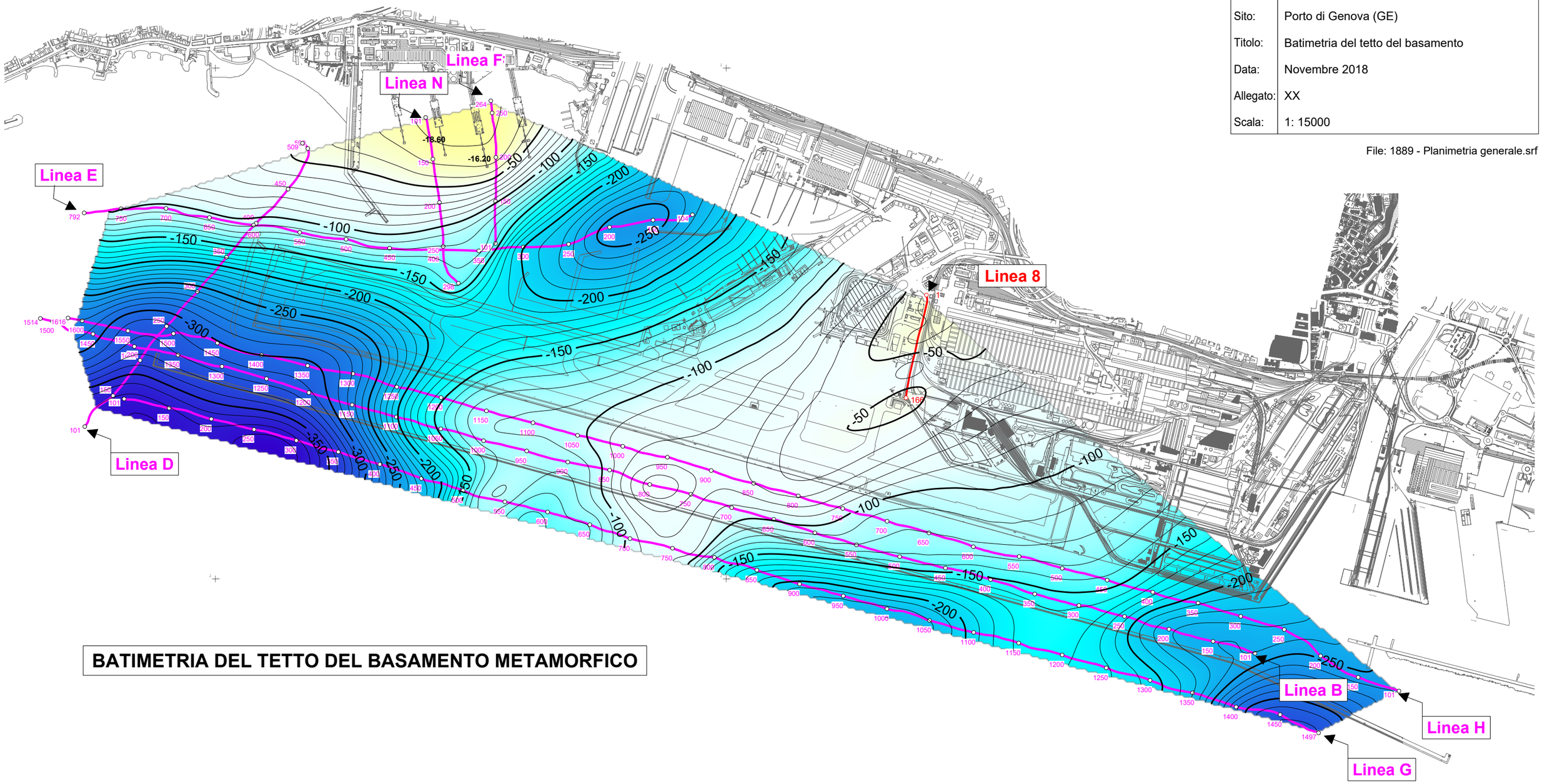
ALLEGATO N° 3:

Batimetria del tetto del substrato lapideo

PROGEO S.r.L.
Via Talete 10/8
47100 Forlì - Italia
tel. +39 0543 723580
fax. +39 0543 721486
mail.progeo@gmail.com
www.progeo.info

Cliente:	SPEA Engineering SpA
Lavoro:	Indagine Sismica a Riflessione
Sito:	Porto di Genova (GE)
Titolo:	Batimetria del tetto del basamento
Data:	Novembre 2018
Allegato:	XX
Scala:	1: 15000

File: 1889 - Planimetria generale.srf



BATIMETRIA DEL TETTO DEL BASAMENTO METAMORFICO

Sezione sismica a riflessione a terra

Sezioni sismiche a riflessione a mare

La numerazione indica le posizioni degli shot

Sistema di riferimento Guass-Boauga Fuso Ovest - Datum Roma 1940