

PROGETTO ESECUTIVO

Realizzazione della nuova diga di Vado Ligure - Prima Fase -

C.I.G. 8027779CCAA
C.U.P. C41C18000100005

COMMITTENTE:

**AUTORITA' DI SISTEMA
PORTUALE DEL MAR
LIGURE OCCIDENTALE**

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Susanna Pelizza

APPALTATORE:

R.T.I.

FINCOSIT

Mandataria



Mandante

PROGETTISTA INDICATO:

R.T.I.

AECOM

Infrastructure &
Environment UK Limited
(Mandataria)

AECOM

URS Italia s.p.a.

(Mandante)

RESPONSABILE INTEGRAZIONE
PRESTAZIONI SPECIALISTICHE

Ing. Emanuele Perrotta



DIRETTORE DI PROGETTO

Ing. Calogero Buttaci



PROGETTISTI SPECIALISTICI:

STRUTTURE

Ing. Neranzuola Kleiوسي

Ing. Daniele Lombardo

GEOTECNICA

Geol. Francesco Barbagli



SOSTENIBILITA' E AMBIENTE

Ing. Antonella Pizzarelli

Ing. Alessia Formato

ARCHEOLOGIA

Arch. Annette Roe

Arch. Augusto Pampalloni

07 - INDAGINI GEOGNOSTICHE / DOCUMENTI DI CARATTERE GEOLOGICO

01 - INTERPRETAZIONI INDAGINI GEOLOGICHE E GEOGNOSTICHE

RELAZIONE GEOLOGICA

Codice elaborato			Formato	Scala
60658664_00_07_01_RL_001_3_01			A1	--
			Informazioni qualità	
			Preparato da	FM
01	16/12/2021	Revisione per commenti validatore	Controllato da	CTF
00	21/09/2021	Emissione	Verificato da	FR
Rev.	Data	Rif. Revisione	Approvato da	JK

Quality information

Prepared by	Checked by	Verified by	Approved by
Francesco Barbagli Geologo	César Tejada Senior Geotechnical Engineer	Francesco Romagnoli Associate Director	Julia Kleioui Associate Director

Revision History

Revision	Revision date	Details	Authorized	Name	Position
0	15/10/21	Emissione	-		
1	15/12/21	Revisione	-		

Distribution List

# Hard Copies	PDF Required	Association / Company Name

Prepared for:

Autorità di Sistema Portuale del Mar Ligure Occidentale

Prepared by:

AECOM Infrastructure & Environment (UK) Limited

Midpoint, Alencon Link
Basingstoke
Hampshire RG21 7PP
United Kingdom

T: +44(0)1256 824500
aecom.com

AECOM URS Italia S.p.a.

20143 - Via Giacomo Watt 27
Milano
Italia

T: +39 02 4225561
aecom.com

© March 16 2021 AECOM URS Italia S.p.a.. All Rights Reserved.

This document has been prepared by AECOM URS Italia S.p.a. ("AECOM") for sole use of our client (the "Client") in accordance with generally accepted consultancy principles, the budget for fees and the terms of reference agreed between AECOM and the Client. Any information provided by third parties and referred to herein has not been checked or verified by AECOM, unless otherwise expressly stated in the document. No third party may rely upon this document without the prior and express written agreement of AECOM.

Indice

1.	Introduzione	6
1.1	Generalità	6
1.2	Oggetto e scopo	6
1.3	Sintesi delle indagini pregresse	6
1.4	Descrizione dell'intervento	6
2.	Documenti di riferimento	8
3.	Normative di riferimento	9
4.	Inquadramento dell'area	10
4.1	Inquadramento geografico	10
4.2	Inquadramento geologico e geomorfologico	11
5.	Assetto strutturale dell'area	17
6.	Le indagini geologiche e geognostiche	18
7.	Ricostruzione litostratigrafica, strutturale ed idrogeologica dell'area	20
8.	Elementi di pericolosità geomorfologica	26
9.	Elementi di pericolosità sismica	28
10.	Conclusioni	30

Elenco Figure

Figure 1-1: Nuova diga foranea – Prima fase funzionale	7
Figure 4-1: Inquadramento geografico dell'area.....	11
Figure 4-2: Legenda dei fogli 92-93 "Albenga-Savona".....	12
Figure 4-3: Legenda dei fogli 92-93 "Albenga-Savona".....	13
Figure 4-4: Alluvioni attuali: A sinistra le ghiaie del Torrente Segno, a destra i depositi ghiaioso-sabbiosi in corrispondenza della foce del torrente Segno (Technital 2016)	14
Figure 4-5: Argille di Ortovero (Technital 2016).....	14
Figure 4-6: Graniti del torrente Letimbro - Permico medio: Ammasso roccioso a tergo del Faro di Capo di Vado (Technital 2016).....	16
Figure 6-1: Planimetria con ubicazione delle indagini di riferimento (a sinistra) e mappa delle indagini geofisiche 2014 (a destra).....	19
Figure 7-1: Sezione geologica longitudinale (Technital 2016).....	23
Figure 7-2: Schema di funzionamento di una faglia di crescita	24
Figure 8-1: Rilievo batimetrico dell'area di progetto (2014).....	27
Figure 9-1: Assetto tettonico della Liguria occidentale e meccanismi focali dei terremoti	28
Figure 9-2: Indicazione della pericolosità sismica, sotto forma di massima accelerazione del suolo (da INGV) ...	29
Figure 9-3: Mappa storica (dall'anno 1000) degli epicentri dei terremoti, classificati per magnitudo (da Rovida et alii, Italian Parametric Earthquake Catalogue – CPT115 – version 3.0, INGV 2021).....	29

1. Introduzione

1.1 Generalità

Il presente elaborato costituisce la Relazione Geologica per il Progetto Esecutivo della nuova diga foranea in cassoni che verrà realizzata presso il porto di Vado Ligure.

1.2 Oggetto e scopo

La presente relazione fornisce un inquadramento geologico e geomorfologico della zona di progetto e di un suo significativo intorno.

Essa comprende una ricostruzione delle dinamiche tettoniche e sedimentarie la cui evoluzione ha portato all'assetto attuale. Vengono inoltre descritte le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni e rocce presenti, gli elementi di pericolosità geomorfologica e gli elementi generali di pericolosità sismica dell'area.

1.3 Sintesi delle indagini pregresse

In corrispondenza dell'area portuale di Vado Ligure, nel corso degli anni, sono state eseguite numerose campagne di indagini geognostiche finalizzate alla realizzazione delle opere attualmente esistenti, e comprendenti anche indagini effettuate per il progetto della nuova diga foranea. I risultati di tali indagini hanno consentito di ricostruire il quadro geologico, stratigrafico e geomorfologico dell'intera area. Le campagne di indagine più significative, cui la presente Relazione fa riferimento, sono sineticamente elencate di seguito:

- Indagine Sipac per il progetto di estensione del Pontile Esso (1969);
- Indagine Celotti per il progetto di estensione del Pontile e Fornike (1974);
- Indagine RC per il progetto di prolungamento del Molo Sopraflutti (1976);
- Indagine RC per la progettazione del Molo Traghetti (1980);
- Indagine per il Progetto Preliminare (2006) e Definitivo (2008) della piattaforma multifunzionale;
- Indagine per la realizzazione del Campo Prova - Area Rilevato (2011);
- Indagine per il Progetto Definitivo del nuovo molo frangiflutti (2014).

Inoltre nel Gennaio 2009 è stato effettuato un rilievo geologico e geomorfologico, finalizzato ad una conoscenza più approfondita dei luoghi oggetto di intervento, che ha consentito di integrare le informazioni contenute all'interno della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000.

1.4 Descrizione dell'intervento

L'intervento in progetto, previsto dal Piano Regolatore Portuale (PRP), consiste nella modifica della configurazione della diga foranea esistente, con lo scopo di proteggere la nuova piattaforma multifunzionale dall'azione indotta dal moto ondoso. Nello specifico, il presente progetto riguarda la realizzazione della diga foranea "di prima fase", ossia del tratto di diga volto ad una miglioria delle condizioni di manovrabilità delle navi in navigazione nello specchio d'acqua compreso tra la piattaforma e la diga stessa (**Error! Reference source not found.**).

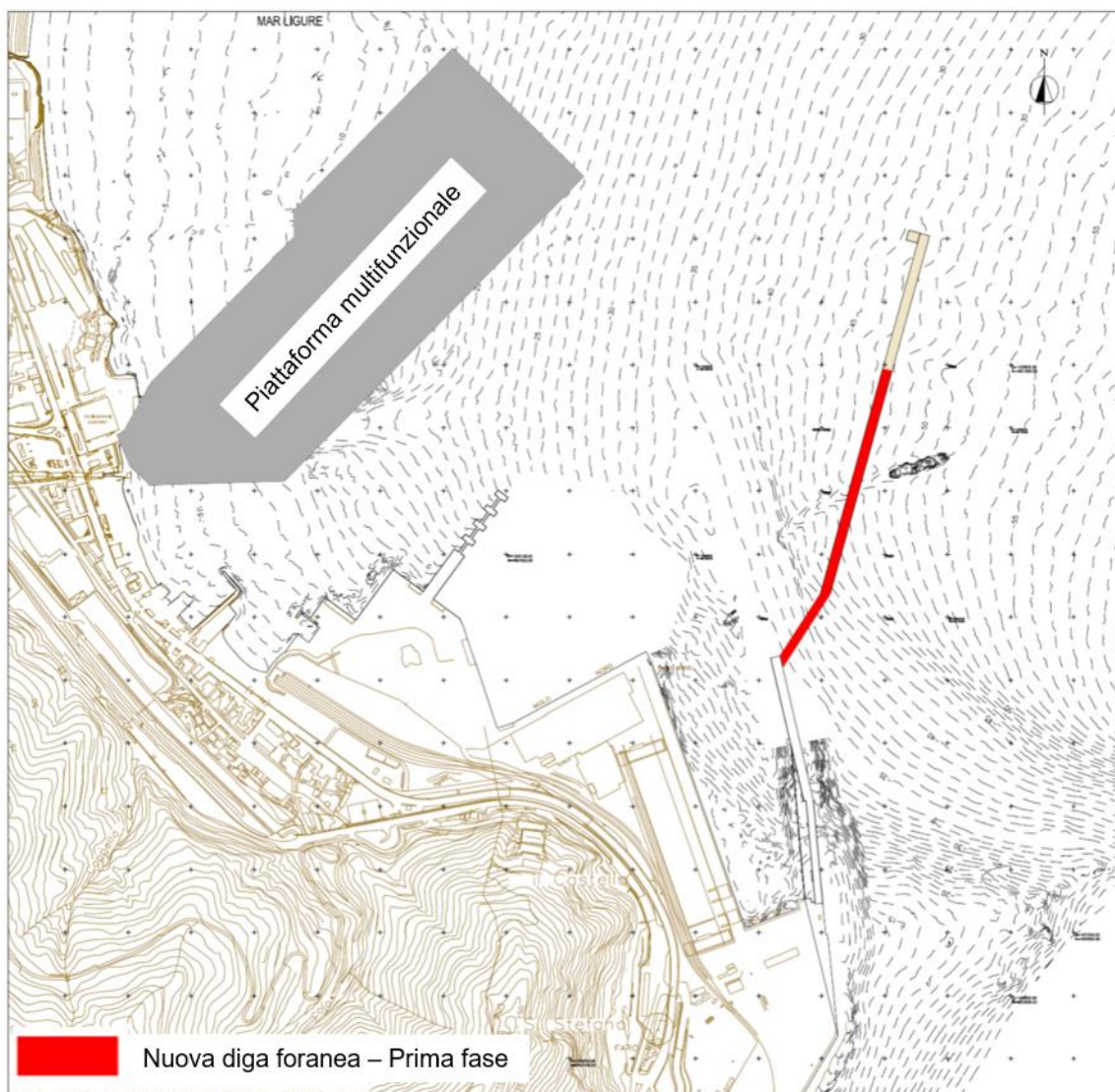


Figura 1-1: Nuova diga foranea – PRP - Prima fase funzionale

Per la realizzazione della nuova diga foranea di prima fase, è previsto il salpamento di una parte della diga esistente e del conseguente riutilizzo dei cassoni salpati, oltre alla posa di quattro cassoni di nuova fornitura. I cassoni saranno posati su uno scanno di imbasamento, che sarà fondato ad una quota variabile tra -35 m s.l.m. e -48 m s.l.m.

2. Documenti di riferimento

I documenti di riferimento del progetto posto a base gara, utilizzati come riferimento, sono di seguito elencate

- Sintesi delle Indagini Geognostiche Pregresse (60658664_00_07_01_RL_003_3_00) – AECOM, 2021.
- “Progettazione Definitiva ed Esecutiva, esecuzione dei lavori della nuova piastra multifunzionale del porto di vado ligure e gestione della parte relativa al terminal contenitori - Studio di Impatto Ambientale - sintesi non tecnica” – Technital, 2009;
- Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000, Fogli 92 - 93 “Albenga - Savona”;
- “Relazione geologica ed evoluzione geomorfologica dell'area di progetto” (MI0102-PE-D-G-R-002-00), Technital, 2016.

3. Normative di riferimento

Il presente elaborato è stato redatto nel rispetto delle seguenti normative vigenti:

- D.M. 17/01/2018: Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019;
- UNI-ENV 1997-1:1997: Eurocodice 7- Progettazione geotecnica;[LD1]
- Provincia di Savona – Piano di bacino stralcio sul rischio idrogeologico – Bacino Segno.

4. Inquadramento dell'area

4.1 Inquadramento geografico

Il porto di Vado Ligure (Savona) è situato in corrispondenza del promontorio di Capo Vado, che racchiude il centro abitato sul lato Sud e affaccia sull'abitato Savona, distante circa 5 km a Nord-Est.

L'area urbana di Vado Ligure si estende sulla piana alluvionale del Torrente Segno, un corso d'acqua con direzione grossomodo rettilinea W-E, delimitata a Nord da un'altra blanda area collinare. Il Torrente riceve le acque di alcuni affluenti minori, provenienti da entrambe le dorsali (quella di Capo Vado e quella settentrionale). La direzione di questi modesti affluenti risulta sostanzialmente perpendicolare a quella del Torrente.

La piana ha una caratteristica forma triangolare, con un lato allungato parallelamente alla linea di costa e risulta ormai completamente urbanizzata, e caratterizzata non solo da zone residenziali ma anche da insediamenti industriali nella parte prospiciente il porto.

Il porto di Vado Ligure, situato immediatamente a sud della foce del Torrente Segno, costituisce un importante scalo commerciale, turistico ed industriale ed è composto da numerose strutture che sono state aggiunte nel corso degli anni, tra le quali i pontili Petrolig ed Esso Italiana per lo scarico di prodotti petroliferi, carbone fossile, farine, granaglie e rinfuse in genere, oltre al terminal traghetti (per i collegamenti con la Corsica) e la piattaforma multifunzionale, la quale ha un'area a pianta rettangolare di circa 700 x 300 m, allungata quasi ortogonalmente alla linea di riva (Figura 4-1 **Error! Reference source not found.**).

L'attuale diga foranea si estende per circa 800 m in direzione SSE/NNW, racchiude a Sud Est lo specchio di mare di pertinenza del porto. A Sud della diga l'ara portuale comprende una zona di stoccaggio container che si estende per ulteriori 900-950 m lungo la linea di costa.

Il tratto di mare antistante il porto di Vado è caratterizzato da un fondale che si approfondisce in maniera sostanzialmente uniforme verso Est come evidenziato in Figura 1-1 e nel rilievo batimetrico in Figura 8-1. Sul lato verso mare dell'attuale diga foranea, il fondale degrada con pendenza compresa fra il 5 ed il 10%. Appena oltre la posizione della diga di progetto, la pendenza del fondale si attenua leggermente, riducendosi al 3-5%. La prima parte della diga progetto (dal raccordo con quella attuale fino a poco oltre metà del suo sviluppo lineare) si articola su un fondale caratterizzato da pendenze del 5-10%, con quote variabili fra -35 e -47 m s.l.m.; la parte più esterna ricalca invece l'andamento delle curve di livello e si imposta su un terreno di fatto pianeggiante, a quote di circa -47-48 m s.l.m. I rilievi batimetrici indicano anche la presenza di alcuni solchi, in genere non molto accentuati, orientati secondo la massima pendenza del fondale (vedi Figura 8-1).



Figura 4-1: Inquadramento geografico dell'area

4.2 Inquadramento geologico e geomorfologico

La cartografia geologica di riferimento per la zona di progetto è costituita dalla Carta Geologica 1:100.000 (Fogli 92-93 Albenga-Savona, redatta nel 1971). Una cartografia più recente è stata realizzata per la Regione Liguria nel 1997: "Carta Geologica Regionale con elementi di Geomorfologia (CGR) sc. 1:25.000 - tav. 229.3 - Vado Ligure". Le nuove cartografie del Progetto Carg e la cartografia geologica dei fondali marini non coprono a tutt'oggi l'area in esame.

La presente relazione prende come riferimento la cartografia 1:100.000, di cui si riportano stralci della carta e della legenda (vedi Figura 4-2).

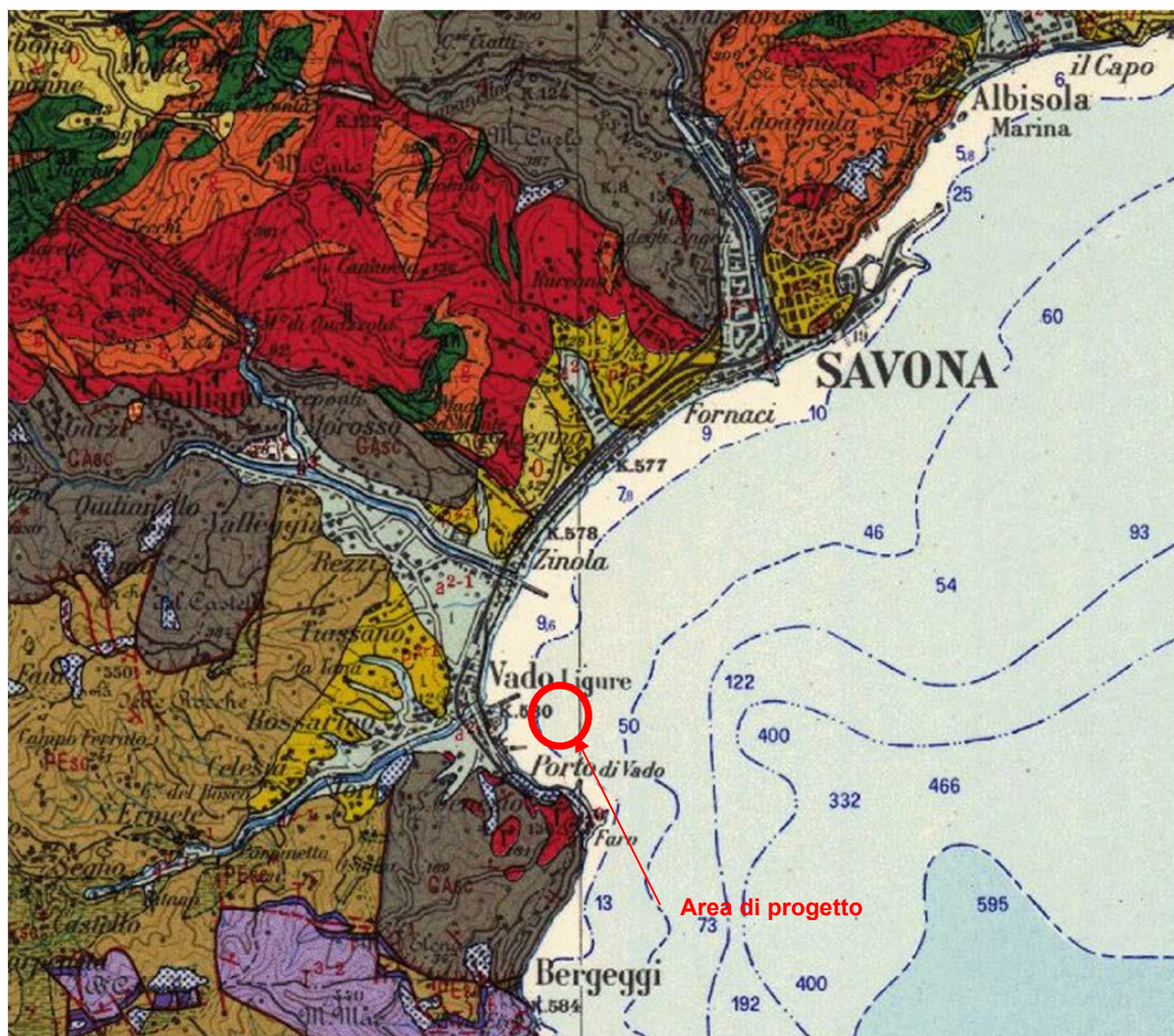


Figura 4-2: Stralcio dei fogli 92-93 "Albenga-Savona"

Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000

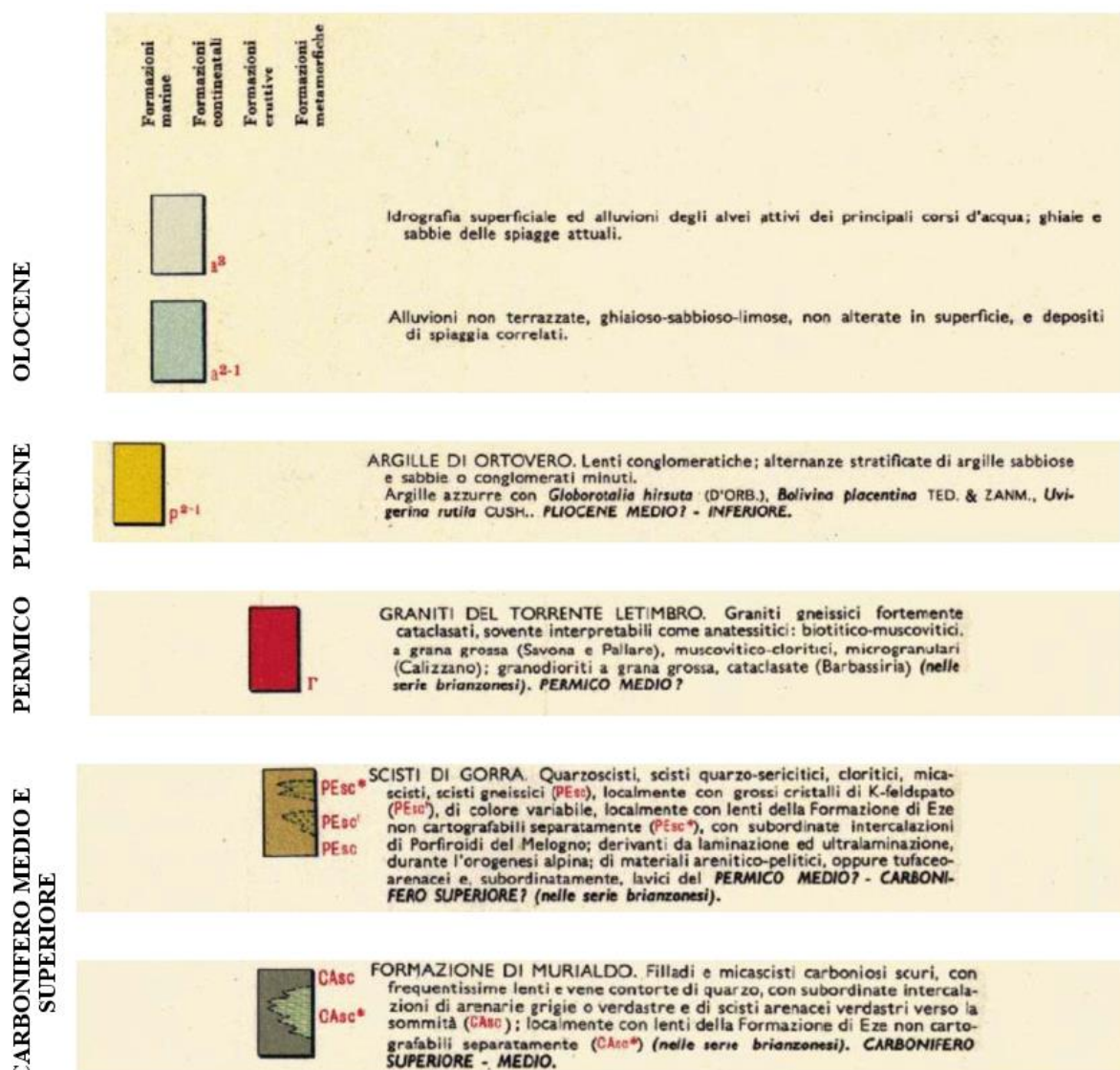


Figura 4-3: Legenda dei fogli 92-93 "Albenga-Savona"

Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000

La successione stratigrafica, dall'alto verso il basso, comprende:

- Alluvioni attuali a^3
- Alluvioni recenti non terrazzate - a^{2-1} - risalenti all'Olocene (< 10.000 anni)
- Argille di Ortovero - P^{2-1} - datate al Pliocene;
- Scisti di Gorra - $PEsc$ - datati al Permiano medio - Carbonifero superiore;
- Formazione di Murialdo - $CAsc$ - datato al Carbonifero superiore e medio;
- Graniti del Torrente Letimbro - Γ - datati al Permiano medio, che intrudono i termini paleozoici della successione sopra delineata

Di seguito viene fornita una descrizione litologica dei vari termini sopra elencati. Le foto di accompagnamento derivano dal rilievo eseguito per la relazione geologica di supporto al Progetto Definitivo (MI0102-PE-D-G-R-002-00, Technital, 2016).

I **depositi alluvionali recenti ed attuali** (di età inferiori a 10.000 anni), costituiscono la copertura più recente. Essi comprendono una progressiva variazione granulometrica da depositi a grana fine in superficie (limi, limi argillosi, limi con sabbia), a depositi granulari a grana grossa in profondità (ghiaie, ghiaie sabbiose, ciottoli, ghiaie con intercalazioni limose).

I depositi alluvionali, depositi dal Torrente Segno e dai suoi affluenti, hanno uno spessore che può variare fra 10 e 40 m.



Figura 4-4: Alluvioni attuali: A sinistra le ghiaie del Torrente Segno, a destra i depositi ghiaioso-sabbiosi in corrispondenza della foce del torrente Segno (Technital 2016)

Le Argille di Ortovero (P 2-1), risalenti al Pliocene, comprendono alternanze stratificate di argille sabbiose, sabbie e conglomerati minuti. In genere le sabbie e conglomerati minuti costituiscono delle lenti che si intercalano alle argille nella porzione superiore di questa formazione, mentre quella inferiore è contraddistinta da una assoluta predominanza argillosa (argille azzurre, comuni anche a molti altri luoghi nello stesso periodo di tempo, basti pensare alle Argille Azzurre plioceniche della Serie Toscana). Le Argille di Ortovero si trovano drappeggiate sui rilievi collinari che bordano la piana di Vado, soprattutto sul lato nord, reincise dai brevi torrentelli tributari del Torrente Segno.



Figura 4-5: Argille di Ortovero (Technital 2016)

L'ossatura dei rilievi è costituita dalla successione metasedimentaria comprendente gli Scisti di Gorra e la Formazione di Murialdo, a cui si intercalano i Graniti del Torrente Letimbro.

Gli **Scisti di Gorra (PEsc)** comprendono scisti quarzosi, sericitici, micascisti, arenarie e micro-conglomerati, scisti gneissici contenenti intercalazioni di altre formazioni più antiche. Le intercalazioni sono dovute a laminazione di tali formazioni, ovvero lembi delle stesse che sono stati strappati via dal loro contesto originario e inclusi nella successione degli Scisti in seguito all'evoluzione tettonica del Paleozoico.

I rapporti con le altre formazioni non sono ben definiti, sempre a causa dell'intensa deformazione tettonica che ha interessato questa successione. Sembra abbastanza plausibile una successione stratigrafica con la Formazione di Murialdo alla base (vedi sotto), mentre la parte superiore sembrerebbe costituito dai Porfiroidi del Melogno (non presenti nella zona in esame).



Figura 1 - PEsc - Scisti di Gorra - Facies degli scisti sericitici-cloritici e quarzo-sericitici: A sinistra Scisti Sericitici-Chloritici ad alta scistosità; al centro quarziti e quarzoscisti; a destra Scisti Quarzo-Sericitici (Technital 2016)

La **Formazione di Murialdo (CAsc)** comprende filladi e micascisti di colore scuro contenenti materiale carbonioso. All'interno dei micascisti si ritrovano intercalazioni lentiformi di meta-andesiti appartenenti alla Formazione di Eze e graniti migmatitici (dovuti cioè alla fusione parziale di materiale crostale, in questo di caso di porzioni della successione metasedimentaria paleozoica) ascrivibili ai Graniti del Torrente Letimbro.

La base della formazione non è identificabile con ragionevole certezza dato che nella zona di Savona, come anche nel resto dell'area dei Fogli 92-93, i contatti con le formazioni adiacenti sono di natura tettonica. Da un punto di vista strutturale la Formazione di Murialdo sembra potersi collocare alla base degli Scisti di Gorra, ipotesi avvalorata da passaggi graduali attestati fra le due formazioni. Nell'area di Vado, in ogni caso il contatto Murialdo-Gorra è di natura tettonica.

Non ci sono resti fossili in grado di indicare una datazione che quindi viene fatta considerando quella degli Scisti di Gorra (Carbonifero Superiore).

Lo spessore della Formazione di Murialdo non è determinabile con certezza. Nella zona in esame costituisce l'ossatura del rilievo collinare di Capo Vado.



Figura 2 -CAsc – Formazione di Murialdo: A sinistra Filladi e micascisti scuri carboniosi, a destra lenti e vene di quarzo caratteristiche della formazione (Technital 2016)

I **Graniti del Torrente Letimbro (Γ)** sono una formazione di origine magmatica, comprendente per lo più graniti e granodioriti, fortemente cataclastici e con tessitura gneissica, indice di un metamorfismo piuttosto intenso che ha originato una diffusa tessitura gneissica ed è responsabile della natura fortemente cataclastica di questa formazione. L'origine dei graniti sembra essere quella migmatitica, cioè il magma da cui sono raffreddati era dovuto alla fusione parziale della successione metasedimentaria sopra descritta: si nota, anche nella zona di Capo Vado, la presenza di lembi di graniti all'interno della Formazione di Murialdo, senza contatti tettonici, ma con un passaggio graduale fra i due litotipi, consistente in rocce con grado di migmatizzazione variabile.

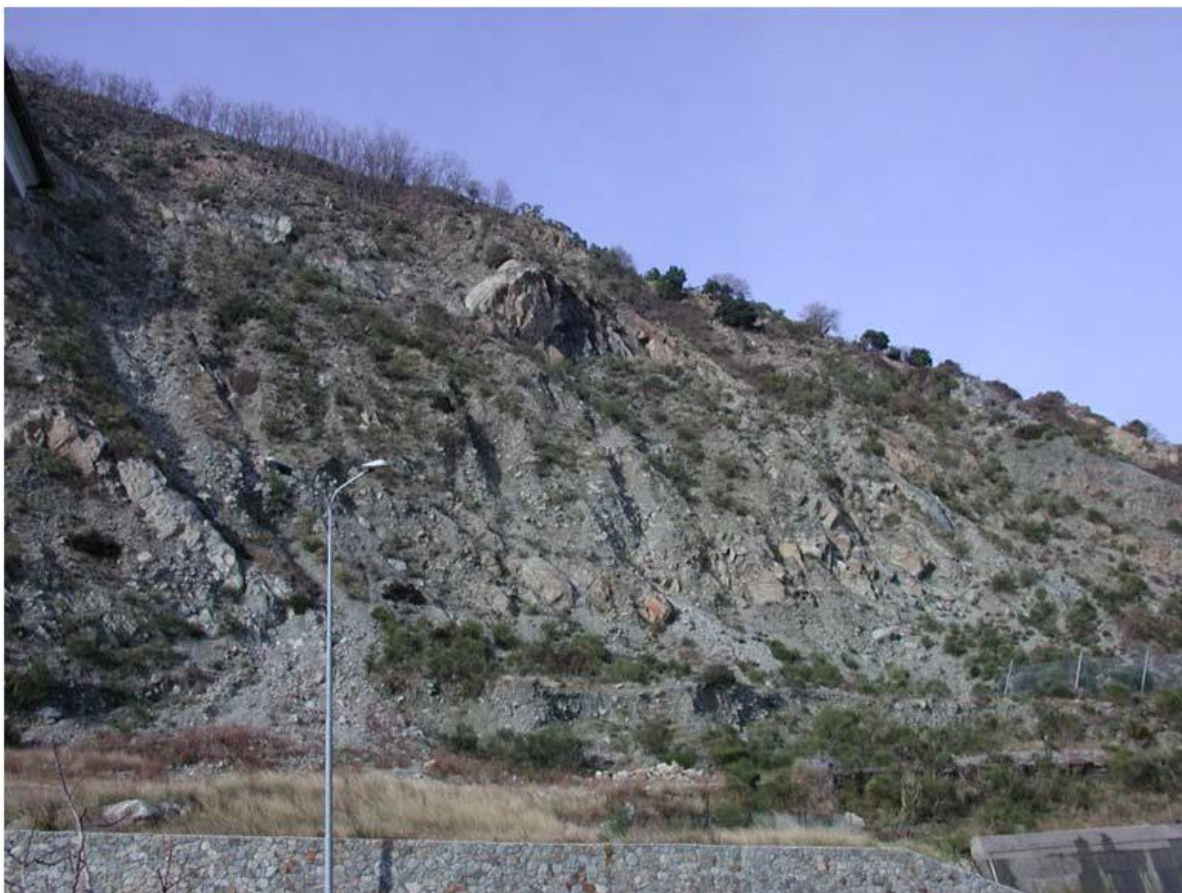


Figura 4-6: Graniti del torrente Letimbro - Permico medio: Ammasso roccioso a tergo del Faro di Capo di Vado (Technital 2016)

Da un punto di vista geomorfologico, i depositi pliocenici della Argille di Ortovero, a giacitura sub-orizzontale, costituiscono una sorta di altopiano debolmente degradante a mare, drappeggiato da depositi eluvio-colluviali e inciso dal reticolo fluviale recente che ha deposto sedimenti alluvionali in tali incisioni e nella modesta piana di fondovalle del Torrente Segno. L'altopiano re-inciso viene poi sostanzialmente interrotto dal mare, lungo la cui riva si trovano i depositi di spiaggia più recenti. Le incisioni dell'altopiano, procedendo in più fasi, hanno comportato la formazione di terrazzi alluvionali, contraddistinti da una modesta estensione areale.

Per quanto concerne la parte a mare, l'ampio terrazzo marino che contraddistingue gran parte della Liguria si interrompe all'altezza di Savona e quindi non è presente nell'area in esame. La Carta Regionale (1997) riporta un breve tratto di terrazzo sul lato sud di Capo Vado, non significativo per la zona di progetto.

Spianate morfologiche, dovute ad antichi terrazzamenti marini, sono state identificate anche sul rilievo di Capo Vado (il rilievo geologico geomorfologico del 2016 li riporta, come pure la Carta Regionale, 1997): si tratta di forme relitte che ora si trovano in quota a cause del generale sollevamento dell'area avvenuto a partire dal tardo Pliocene.

5. Assetto strutturale dell'area

Le formazioni che costituiscono l'ossatura dei rilievi collinari prospicienti il Porto di Vado appartengono al substrato paleozoico deformati al di sopra del basamento cristallino nell'area del cosiddetto Dominio Brianzonese, uno dei domini paleogeografici/paleostrutturali in cui viene tradizionalmente suddivisa l'area dell'Oceano Ligure-Piemontese.

L'assetto strutturale di questa serie sedimentaria paleozoica risulta contraddistinta da una generale disposizione secondo un monoclinale a basso angolo, con prevalenti deformazioni fragili (clastiche), differenziate dalle deformazioni plastiche (pieghe) che sono assenti o quantomeno difficilmente identificabili.

La zona è sezionata, infatti, da numerosi contatti tettonici che accostano lembi della successione sedimentaria, sia fra loro che con altri termini della copertura paleozoica o post-paleozoica. Per tal motivo risulta complicato ricostruire i possibili eventi deformativi duttili (piegamenti), inoltre i rapporti fra le singole formazioni risultano spesso incerti.

Per quanto riguarda i lineamenti tettonici, si possono evidenziare due principali insiemi:

- Un sistema di faglie e fratture con andamento grossomodo N-S/NNW-SSE, ad alto angolo; nella zona di Capo Vado il contatto fra Scisti di Gorra e la Formazione di Murialdo appartiene a questo sistema. I rapporti fra le due formazioni sono in parte determinati da questi lineamenti che dislocano la successione stratigrafica naturale. Un sistema di fratturazione con andamento NNW-SSE è ugualmente presente, probabilmente relativo ad una fase più recente dell'evoluzione tettonica. Su queste fratture si impostano gli affluenti del Torrente Segno.
A più grande scala, si nota come lineamenti appartenenti alla stessa famiglia, siano presenti anche al largo, determinando, fra l'altro la presenza di frequenti falesie ribassate, che risultano evidenti analizzando la morfologia degli isolotti antistanti la costa fra Savona e Ventimiglia (vedi relazione geologica di supporto al progetto definitivo, 2016)
- Un sistema con direzione Est-Ovest ed angolazione variabile, che generalmente ha un alto angolo per le aree immergenti a Sud, mentre a basso angolo quelle immergenti nella direzione opposta. I Lineamenti tettonici appartenenti a questo sistema sono chiaramente evidenti dalla conformazione delle vallate di questa zona. La valle del Torrente Segno si imposta su una frattura appartenente a detto sistema. Subito a Nord ed a Sud della zona di Vado Ligure esistono, tuttavia, due faglie, ampiamente cartografate: la prima che va dalla zona di Savona verso Cadibona a ENE, l'altra passante all'altezza di Bergoggi. Questo sistema sembra essere quello più rilevante in termini di influenza sull'evoluzione tettonica, comportando la formazione di depressioni tettoniche laddove le superfici tettoniche sono di natura estensionale, come pur sovrapposizioni all'interno della stessa unità o fra unità diverse dove invece si registra una componente compressiva.

Per quanto riguarda l'area a mare, oltre alle considerazioni riassunte nella descrizione morfologica dei fondali nell'area di intervento, c'è da dire che nella zona di Vado Ligure, il fondale marino degrada verso Est senza formare alcun terrazzo sottomarino. L'area di fondale con andamento sub-pianneggiante si interrompe, infatti, all'altezza di Savona, riapparendo, con estensione più contenuta, solo all'altezza di Loano, circa 20 km a Sud Ovest di Vado Ligure.

Il gradiente morfologico del fondale appare sostanzialmente omogeneo fino a quote profonde, localmente accentuato in corrispondenza di scarpate con andamento circa Nord-Sud legate ai dislocamenti di faglia sopra descritti.

6. Indagini geologiche e geognostiche

Le conoscenze geologiche sulla zona sono state approfondite per mezzo di varie campagne di indagine, svoltesi nel corso del tempo, per il graduale ampliamento delle strutture portuali. Nello specifico è stato fatto riferimento alla campagna geognostica eseguita nel 1976 per la costruzione della diga attuale ed alla campagna di indagini effettuata nel 2014 per il Progetto Definitivo della nuova diga foranea.

Le ubicazioni delle prospezioni di riferimento sono mostrate nella Figura 6-1.

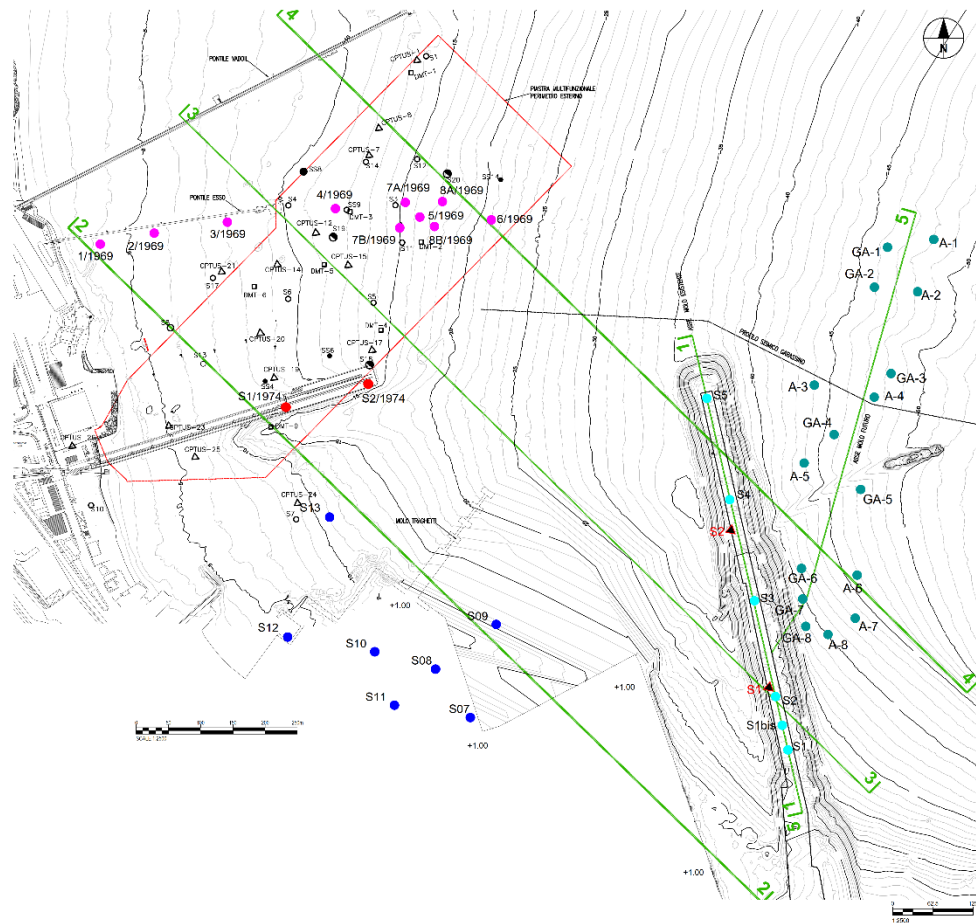
Le indagini del 1976 (da parte di Studio Geotecnico Italiano) constano di 6 sondaggi (indicati in carta con le sigle S1÷S5, a cui va aggiunto S1bis frutto di un riposizionamento del priimo sondaggio), eseguiti a mare ed approfonditi da 5 a 30 m al di sotto della superficie del fondale di allora.

Le indagini eseguite nel 2014 (da Terra s.r.l.) rappresentano il punto di riferimento di maggiore rilevanza in quanto comprendono sondaggi effettuati lungo l'allineamento della diga di progetto. Si tratta complessivamente di 16 sondaggi, indicati nella planimetria con le sigle A1÷A8 e GA1÷GA8. Le profondità raggiunte sono variabili fra 2,0 m e 3,6 m dal livello del fondale per i sondaggi A1÷A8 e fra 2,0 m e 3,8 m per i sondaggi GA1÷GA8 (la quota de fondale varia fra -41,0 e -49.1 m s.l.m.).

In aggiunta a tali dati, l'indagine 2014 comprende anche due sondaggi (S1 ed S2) effettuati dalla diga esistente a mare, approfonditi per circa 20-21 m a partire dal piano fondale.

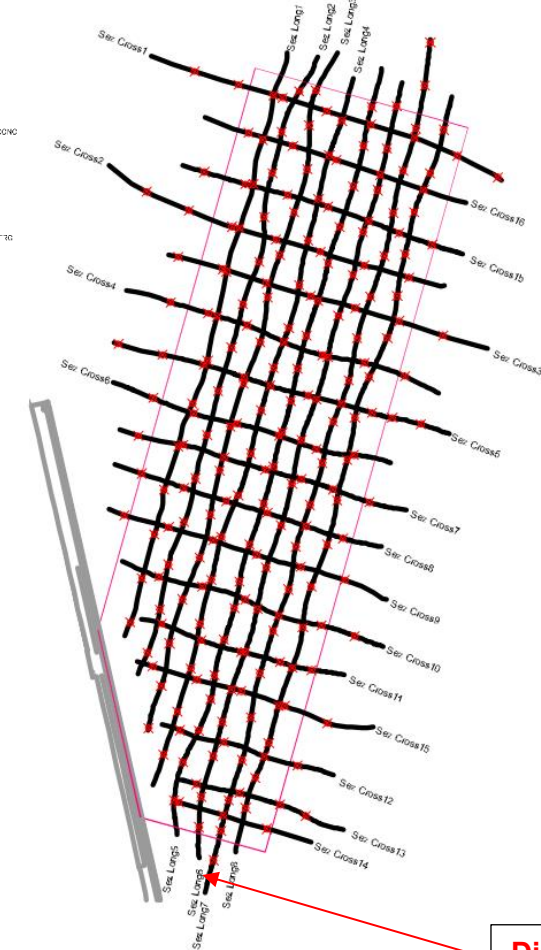
Sono state inoltre eseguite, sempre nel corso della campagna 2014, delle indagini geofisiche (da parte di GeoPolaris), comprendenti un rilievo batimetrico ed una serie di profili sismici che hanno sezionato l'area della nuova diga di progetto, sia longitudinalmente che trasversalmente (vedi Figura 6-1).

Fra le indagini preesistenti, ulteriori importanti elementi per la comprensione della situazione geologica locale sono stati tratti dal rilievo geologico che costituisce l'ossatura della relazione geologica di supporto al Progetto Definitivo (2016), che ricostruisce l'evoluzione tettonica e sedimentaria della zona in esame.



- INDAGINE 1969
- INDAGINE 1974
- INDAGINE 1976
- INDAGINE 1980
- INDAGINE 2006 - PROGETTO PRELIMINARE - PAVASSANO
- ▲ SPT-14 - PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PIEZOCING
- S5 - SONDAGGI GEONOSTICI
- SMT-9 - PROVA DI LATOMETRIA
- INDAGINE ADDIZIONALE 2006 - PROGETTO DEFINITIVO
- S54 - PRELIEVI SUPERFICIALI DEL TERRENO COSTITUENTE & FONDALE CON VIBROCORRE
- S18 - SONDAGGI CIRCONOSTICI - CAMPIONAMENTO CATERIFICO
- INDAGINE SETTEMBRE-OTTOBRE 2014
- ▲ FORI DI SONDAGGIO
- VIBROCORRE
- 5 SEZIONE STRATIGRAFICA 2015

ROTTHE DEI PROFILI SBP



Diga esistente

Figura 6-1: Planimetria con ubicazione delle indagini di riferimento (a sinistra) e mappa delle indagini geofisiche 2014 (a destra)

7. Ricostruzione litostratigrafica, strutturale ed idrogeologica dell'area

Sulla base dei suddetti elementi, è possibile definire la stratigrafia del fondale, riassunta nella sezione Longitudinale illustrata in Figura 7-1.

Sul fondale antistante la diga esistente, si rinviene una copertura sedimentaria legata agli apporti detritici del Torrente Segno. Come è stato evidenziato nella ricostruzione tettonico-sedimentaria dell'area si è avuto un considerevole apporto detritico, dovuto ad importanti gradienti morfologici che hanno, quindi, favorito l'erosione dei versanti retrostanti la linea di costa.

Il maggior dislivello ha anche comportato una maggiore energia per i corsi d'acqua della zona, il che ha favorito il trasporto solido di materiale grossolano (ghiaia e subordinatamente sabbia).

Nel corso del tempo, i gradienti morfologici si sono attenuati e con essi sia il grado di erosione sia l'energia dei corsi d'acqua, comportando una graduale diminuzione della granulometria del loro carico solido. Si è quindi passati da sabbie e sabbie limose a terreni decisamente limoso-argillosi (a questo ha contribuito anche l'emersione delle Argille di Ortovero).

Nella zona di progetto, sia l'indagine 1976 che l'indagine 2014 hanno evidenziato, lungo l'attuale diga foranea, la medesima situazione.

I dati delle prospezioni 1976 mostrano, con l'approfondimento della perforazione, un passaggio da limi a ghiaie. Lo spessore della copertura sedimentaria rinvenuta nei sondaggi S1, S2 ed S3 risulta dell'ordine dei 4-7 m, mentre i sondaggi S4 ed S5 mostrano uno spessore di gran lunga maggiore, tanto che, nonostante la profondità raggiunta dalla quota fondale (14 m per S4, 30 m per S5), la roccia non viene intercettata. Il maggiore spessore di coltre sedimentaria è dovuto ad un notevole ispessimento delle ghiaie, mentre limi e sabbie non mostrano significativi cambiamenti in termini di spessore degli strati.

I sondaggi S1 ed S2 del 2014 mostrano anch'essi un sostanziale progressivo aumento della granulometria dall'alto verso il basso passando da limi a sabbie e quindi a ghiaie (fatte salve alcune intercalazioni di materiale fine nelle ghiaie), per uno spessore complessivo di circa 9,5 m in corrispondenza del sondaggio S1 e 13,5 m in corrispondenza del sondaggio S2.

I campionamenti del 2014 lungo l'allineamento di progetto riportano, a partire dal fondale marino, la presenza di limi sabbiosi debolmente argillosi il cui spessore è mediamente dell'ordine di almeno 1,5-2,5 m. Essi passano verso il basso a sabbie limose, il cui spessore non può essere determinato con esattezza, dato che non viene intercettata mai la base nei sondaggi effettuati. I sondaggi A1-A8 e GA1-GA8 intercettano quindi la parte superiore della successione sedimentaria detritica, quella a grana più fine.

Il substrato è costituito da gneiss granitoidi ascrivibili ai Graniti del Torrente Letimbro. Ciò è in linea con quanto emerso dalle osservazioni sull'assetto geo-strutturale della zona: con i micascisti della Formazione di Murialdo ed i Graniti affioranti a Capo Vado, che risultano separati dalle formazioni adiacenti tramite contatti tettonici ad alto angolo, e considerando la giacitura di questi ultimi, era assai improbabile che nella zona di progetto si potessero rinvenire litotipi diversi da quelli sopra citati.

I Graniti sono stati intercettati sia nei sondaggi S1-S2-S3 del 1976 sia nei sondaggi S1-S2 del 2014. Nel 1976, lo scopo dell'indagine non consisteva nel verificare le condizioni della roccia in posto ma di confermare la sua profondità, per cui le perforazioni vennero arrestate dopo circa un paio di metri di penetrazione in roccia. Durante l'indagine 2014, si è proceduto con perforazioni più profonde, attraversando il substrato per circa 20m: non sono state evidenziate differenze sostanziali con la situazione delineata nel 1976, per cui si può ipotizzare che gli gneiss migmatitici abbiano uno spessore sufficiente da considerarli continui per tutto o almeno gran parte dell'allineamento di progetto. Non abbiamo ulteriori dati che possano corroborare questa assunzione, in quanto i sondaggi lungo l'allineamento di progetto si limitano alla copertura sedimentaria, per cui non si può escludere che vi possa essere una variazione laterale di facies come osservato a Capo Vado, con la presenza di micascisti alternati agli gneiss granitoidi.

La quota superiore dello strato roccioso costituisce un importante elemento geologico ai fini progettuali. La quota esatta della roccia di base non è considerata rilevante ai fini dell'analisi di stabilità della diga, in quanto lo strato di depositi superficiali è quello che ne governa i risultati. Anche i cedimenti a breve e lungo termine sono governati dalle caratteristiche degli strati limo-sabbiosi superficiali e degli strati granulari sottostanti.

Le indagini geofisiche del 2014, effettuate con una serie di profili sismici a riflessione sia in senso longitudinale che trasversale (vedi Figura 6-1 e Figura 7-1), evidenziano la presenza di due riflettori, uno principale, localizzato circa 10-12 m al di sotto della quota del fondale, ed uno secondario, posizionato grossomodo in posizione intermedia fra il primo riflettore ed il fondale stesso (a 5/6 m di profondità). Correlando questi risultati con il resto dei dati geognostici, il riflettore principale sembrerebbe corrispondere all'interfaccia sedimenti-substrato roccioso.

I dati dei sondaggi lungo l'attuale diga foranea indicano invece un maggiore approfondimento del substrato roccioso dalla quota del fondale. Se consideriamo le quote assolute del fondale e del tetto della roccia, spostandoci progressivamente verso Nord a partire dal tratto iniziale della diga esistente, abbiamo le seguenti variazioni (vedi Tabella 7-1):

Sondaggio	Anno	Quota assoluta del fondale (m s.l.m.)	Quota assoluta tetto del substrato (m s.l.m.)	Spessore coltre sedimentaria (m)
S1	1976	-27,0	-31,0	4,0
S1 bis	1976	-30,5	-37,2	6,7
S2	1976	-34,5	-41,5	7,0
S1	2014	-36,0 (terreno naturale sotto lo scasso della diga attuale)	-45,3	9,3
S3	1976	-39,5	-45,6	6,1
S2	2014	-40,0 (terreno naturale sotto lo scasso della diga attuale)	-53,5	13,5
S4	1976	-42,0	Non inferiore a -56,0	>14,0
S5	1976	-41,5	Non inferiore a -71,5	>30,0

Tabella 7-1: Quote fondale e tetto del substrato lungo la diga esistente sulla base delle indagini disponibili (1976 e 2014)

I dati indicano che la parte superiore del substrato si trova ad una profondità di circa 45 m, in corrispondenza del punto di raccordo fra la diga di progetto e quella esistente (grossomodo in nelle vicinanze del sondaggio S1 – 2014). È possibile notare che la quota superiore dello strato di roccia, partendo dal sondaggio S3(1976) degrada leggermente, rimanendo sostanzialmente pianeggiante fra S1 (2014) e S3 (1976), con una differenza di pochi decimetri. A Nord di S3 (1976) si ha un abbassamento consistente, e specialmente a nord di S2 (2014) dove si registra un approfondimento più marcato. La stratigrafia del sondaggio S4 (spinto fino a -56 m s.l.m.) non evidenzia infatti la presenza di roccia, come anche il sondaggio S5, prolungato per ben 30 m al di sotto della quota del fondale (quindi fino a - 71.5 m s.l.m.) non rileva alcuna traccia del substrato. Entrambi i sondaggi evidenziano una spessa coltre di ghiaia (prevalentemente a spigoli vivi), con matrice sabbiosa. I risultati delle indagini geotecniche sono relativi a terreni localizzati ad una certa distanza dalla posizione della nuova diga foranea, pertanto i livelli dello strato roccioso sono stati determinati sulla base delle indagini geofisiche eseguite nel periodo 2006-2014.

La situazione descritta lascia supporre la presenza di una o più faglie dirette ad alto angolo, che hanno agito ribassando il substrato roccioso. La faglia appartiene con ogni probabilità al sistema Est-Ovest descritto al Capitolo 5; la diga esistente di per sé ha una direzione NNW-SSE, coincidente con l'orientamento dell'altro sistema di faglie presente nella zona ed una faglia con tale direzione non potrebbe comportare quindi i dislocamenti che osserviamo nei sondaggi disponibili.

La faglie (o le faglie) va quindi ad intersecare anche l'allineamento della nuova diga, per cui ci possiamo aspettare che l'abbassamento della parte superiore dello strato roccioso ed il conseguente ispessimento della coltre detritica

siano elementi rintracciabili anche nella zona di progetto. La discrepanza con i rilievi sismici del 2014 potrebbe essere spiegato dall'elevato stato di addensamento delle ghiaie di riempimento delle depressioni tettoniche.

Una rappresentazione dell'assetto geologico e stratigrafico descritto viene mostrata nella Sezione Geologica, riportata in Figura 7-1.

Realizzazione della nuova diga di Vado Ligure
Prima Fase

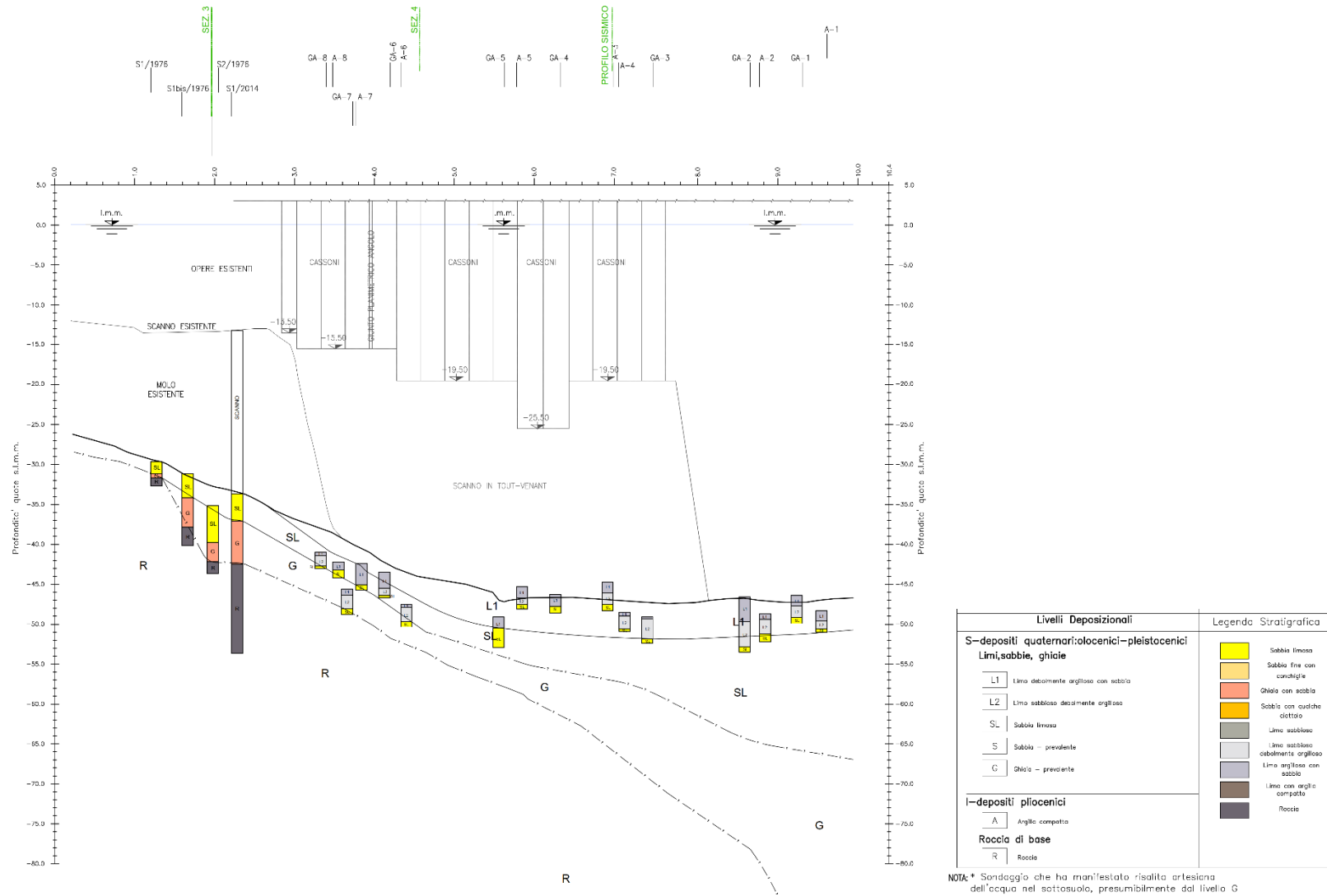


Figura 7-1: Sezione geologica longitudinale (AECOM 2021)

Faglie dello stesso tipo di quella presente nella zona d'interesse, sono note come faglie sinsedimentarie o "faglie di crescita": esse sono attive durante la fase di deposizione dei sedimenti, creando, con il dislocamento indotto da esse, una depressione che viene gradualmente colmata dagli apporti detritici continentali. In sostanza le faglie creano delle "trappole sedimentarie" in cui vengono depositi i sedimenti più grossolani come le ghiaie. Il fatto che i clasti siano prevalentemente angolosi indica un trasporto breve e probabilmente di massa, lasciando ipotizzare che vi fosse un consistente apporto di materiale detritico all'epoca.

Finché una faglia sinsedimentaria è attiva, si hanno differenze anche considerevoli di spessore fra i sedimenti depositi ai due lati della stessa. I sedimenti che si depongono quando la faglia è inattiva hanno analogo spessore e di fatto vanno a sigillare l'accumulo detritico della depressione tettonica. Nel caso della zona in esame, l'attività estensionale della faglia sembra ormai cessata, considerando che gli spessori dei sedimenti più recenti (limi e limi argillosi e sabbiosi) hanno sostanzialmente lo stesso spessore su entrambi i lati della faglia stessa.

Le faglie di crescita sono piuttosto comuni nelle strutture distensive (rifting, horst and graben, etc.). Il meccanismo è visualizzato nella figura seguente (vedi Figura 7-2: Schema di funzionamento di una faglia di crescita, tratta da Twiss & Moores, 1992)

Lo spostamento lungo la superficie della faglia avviene durante la sedimentazione.

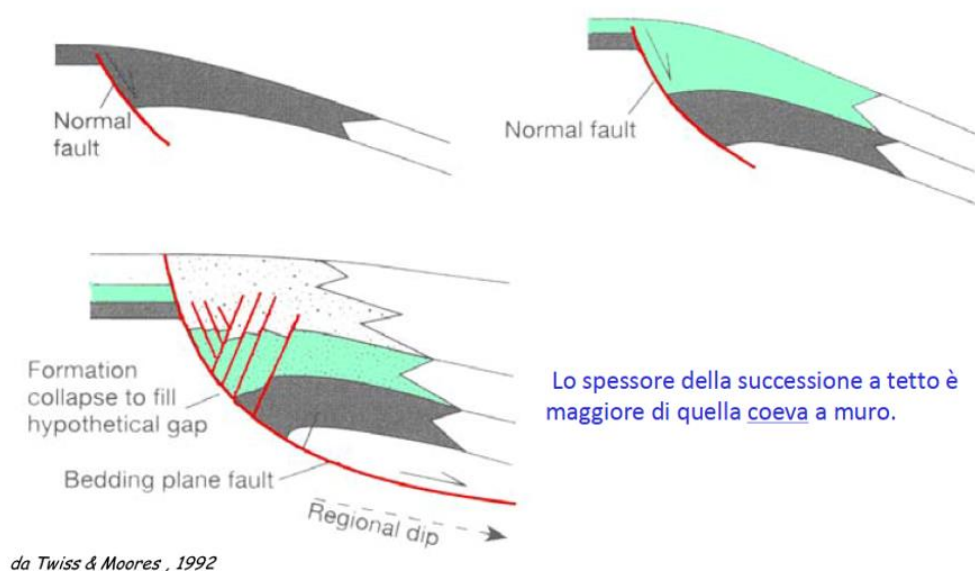


Figura 7-2: Schema di funzionamento di una faglia di crescita

L'evoluzione tettonico-sedimentaria della zona, ricostruita nella descrizione fornita nei precedenti paragrafi e definita anche nella relazione geologica di accompagnamento al Progetto Definitivo della nuova diga (2016), può essere riassunta per punti secondo lo schema seguente:

- Strutturazione di un'ampia insenatura, governata dai due sistemi prevalenti di faglie (E-W e NNW-SSE) – Miocene (24 - 7 Ma);
- Riattivazione dei sistemi di faglie con formazioni di strutture tipo graben che definiscono un nuovo assetto dell'insenatura – Pliocene (7-2 Ma). Sedimentazione delle Argille di Ortovero nell'area del graben;
- Impostazione di un sistema fluviale lungo l'allineamento dell'attuale Torrente Segno, seguendo l'andamento di una faglia appartenente al sistema Est-Ovest. Considerevoli quantità di sedimenti grossolani cominciano ad accumularsi al largo (Pliocene "medio" – Pleistocene, 5-2 Ma);
- Sollevamento del bacino del graben con emersione dei terreni sedimentati. Conseguente aumento del gradiente morfologico del bacino del Torrente Segno. L'aumento di energia determina una maggiore capacità erosiva e quindi un consistente apporto di materiale detritico grossolano che tende a deporsi nelle "trappole sedimentarie" rappresentate dalle depressioni tettoniche formatesi a mare. (Pleistocene, <2 Ma);
- Graduale riduzione del gradiente morfologico del bacino fluviale e conseguente riduzione dell'energia di erosione. I sedimenti alluvionali diminuiscono gradualmente di granulometria (Pleistocene, < 2 Ma);

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dell'area, nella coltre alluvionale è presente un corso acquifero, di tipo sostanzialmente freatico o in leggera pressione, impostato nelle ghiaie e sabbie di base delle alluvioni. A questo corso acquifero attingono i pozzi della zona di Vado Ligure. Il suo spessore, variabile, è compreso fra 10 e 40 metri.

Il substrato roccioso (Formazione di Murialdo, Graniti del Torrente Letimbro, Scisti di Gorra) non rappresenta un corso acquifero significativo. Vi può essere una modesta circolazione idrica, impostata lungo le fratture del substrato, in particolare durante le stagioni piovose.

Sono note delle sorgenti sottomarine, legate ad un substrato di tipo carbonatico. Una situazione del genere si riscontra vicino a Bergeggi, poco a sud di Vado Ligure. Come evidenziato nell'inquadramento geologico, c'è un lineamento tettonico con direzione circa E-W passante proprio vicino a Bergeggi, che di fatto separa quella zona dall'area di Vado Ligure.

Le acque fuoriuscenti dalle sorgenti sottomarine di Bergeggi, ricche di in carbonato di calcio, sono in grado di cementare le sabbie marine, producendo le beach rock, un elemento del paesaggio che si ritrova per esempio anche a Finale Ligure.

8. Elementi di pericolosità geomorfologica

La zona in esame si trova su un tratto di fondale con una pendenza moderata in prossimità della diga esistente, mentre la porzione più esterna della diga di progetto si sviluppa sostanzialmente in piano.

Il rilievo batimetrico effettuato (vedi Figura 8-1) non ha evidenziato forme compatibili con fenomeni di instabilità gravitativa. Il fondale degrada in maniera regolare, senza formare cigli di scarpate, corone di frana od altri elementi morfologici che potrebbero indicare possibili movimenti del terreno.

Il fondale è solcato da un'incisione, con andamento leggermente curvo e direzione media circa WSW – ENE, che si estende dalla diga esistente fino a poco oltre l'allineamento di progetto, dove termina (a valle non ci sono ulteriori solchi). Al termine dell'incisione, il rilievo batimetrico ha rilevato la presenza di un relitto. Il solco, la cui profondità raggiunge un massimo di 1.5/2.0 m, è quindi da mettere in relazione all'inabissamento dell'imbarcazione, senza quindi alcuna implicazione di natura geomorfologica.

Altri segni rilevati nella zona di progetto sono da mettere ancora in relazione all'antropizzazione dei luoghi (strascichi di reti, una tubazione/cavo sub-parallelo alla linea di costa).

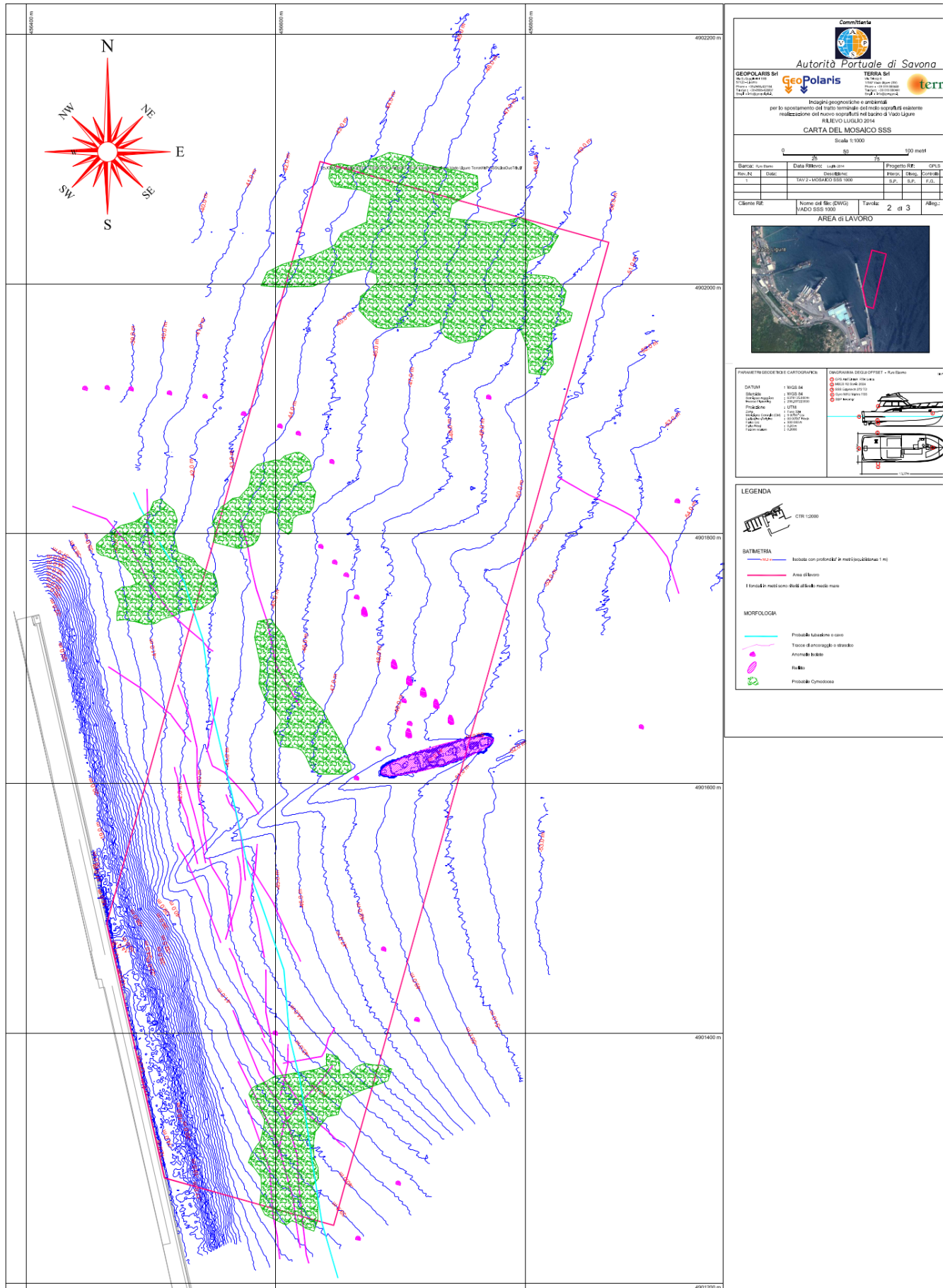


Figura 8-1: Rilievo batimetrico dell'area di progetto (2014)

9. Elementi di pericolosità sismica

L'area di Vado Ligure si trova in una zona che ha subito nel corso della sua lunga evoluzione geologica, intensi eventi deformativi, connessi alla strutturazione della catena alpina. Per quanto riguarda la situazione in tempi recenti (Pliocene-Pleistocene), gli eventi deformativi sono di tipo fragile e legati ai due sistemi di faglie descritti al Capitolo 5:

- Un sistema con direzione circa N-S / NNW-SSE;
- Un sistema con direzione circa E-W.

L'azione dei due sistemi nella strutturazione della zona, non solo di Vado Ligure ma in generale della Liguria Occidentale, viene mostrata nella figura seguente, tratta da Mantovani (1983), lavoro citato anche nella relazione geologica di accompagnamento al progetto definitivo (vedi Figura 9-1).

Nella figura, vengono fornite anche indicazioni sulla natura del meccanismo focale delle varie zone evidenziate, da cui si evince una prevalenza di meccanismi tipo strike-slip (trascorrenti). La componente distensiva, che pure ha giocato un ruolo importante nella determinazione degli elementi del paesaggio della zona, induce una strutturazione a gradoni tipo graben, e risulta quindi avere una rilevanza attualmente limitata o del tutto assente.

Questi elementi, unitamente alla presenza di depositi di "sigillatura" al tetto (vedi capitolo 7), lasciano presupporre che l'attività estensionale della faglia sinsedimentaria discussa in precedenza sia sostanzialmente cessata.

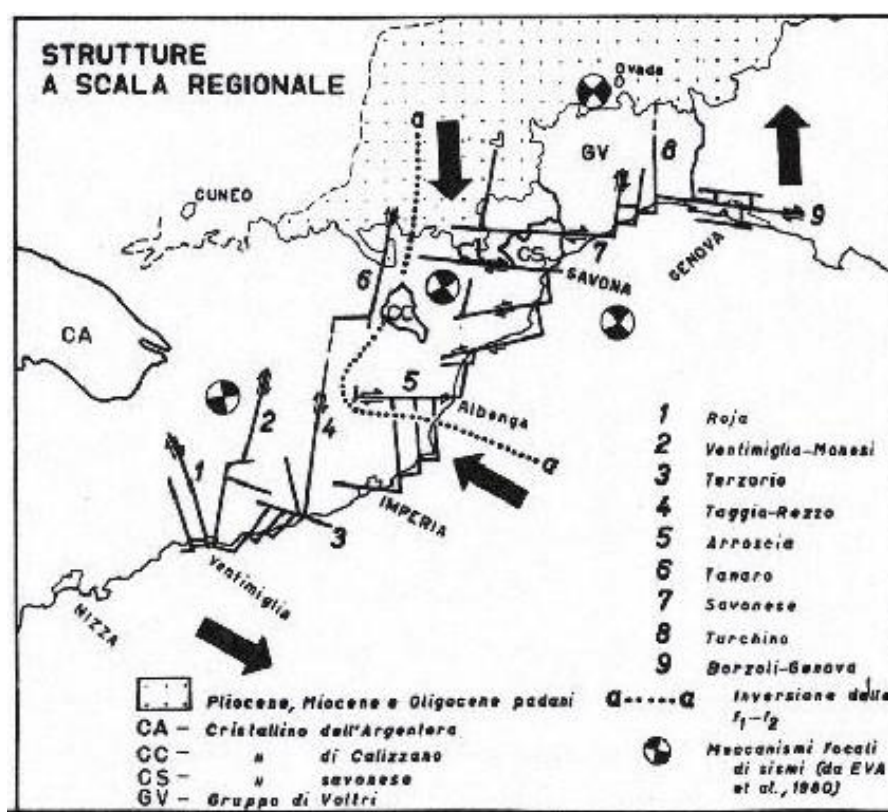


Figura 9-1: Assetto tettonico della Liguria occidentale e meccanismi focali dei terremoti

Per definire gli elementi generali della pericolosità sismica (per una trattazione più dettagliata della sismicità e della risposta sismica locale si rimanda alla Relazione Geotecnica), si può fare riferimento ai dati messi a disposizione dall'INGV, riassunti nelle figure riportate di seguito.

La pericolosità sismica della zona di Vado Ligure è complessivamente bassa (vedi Figura 9-2).

Per quanto riguarda la sismicità storica (a partire dall'anno 1000), la mappa degli epicentri mostrata in **Figura 9-3** (da Rovida ed Alii – INGV 2021) mostra una sostanziale assenza di terremoti con magnitudo superiore a 5.0 originatisi nella zona di Vado Ligure-Savona. I dati INGV reperibili, relativi ai terremoti registrati dal 1985 in poi, riportano solo 2 eventi con magnitudo almeno pari a 4.0 (con un massimo di 4.2 registrato nel 1993 al largo della costa savonese).

Storicamente, gli eventi più significativi si sono avuti per sismi originatisi nella Liguria Orientale ed in particolare nella zona di Imperia.

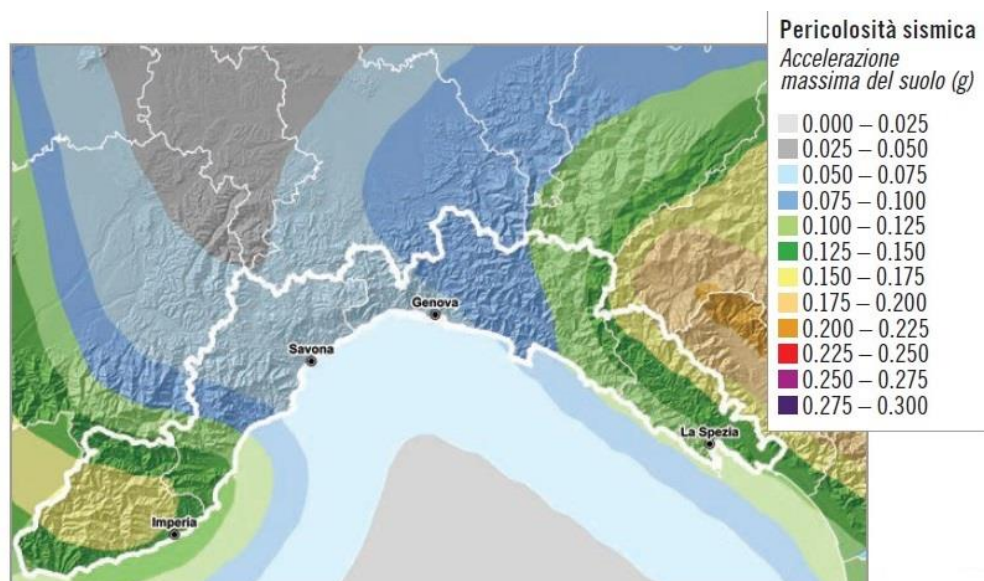


Figura 9-2: Indicazione della pericolosità sismica, sotto forma di massima accelerazione del suolo (da INGV)

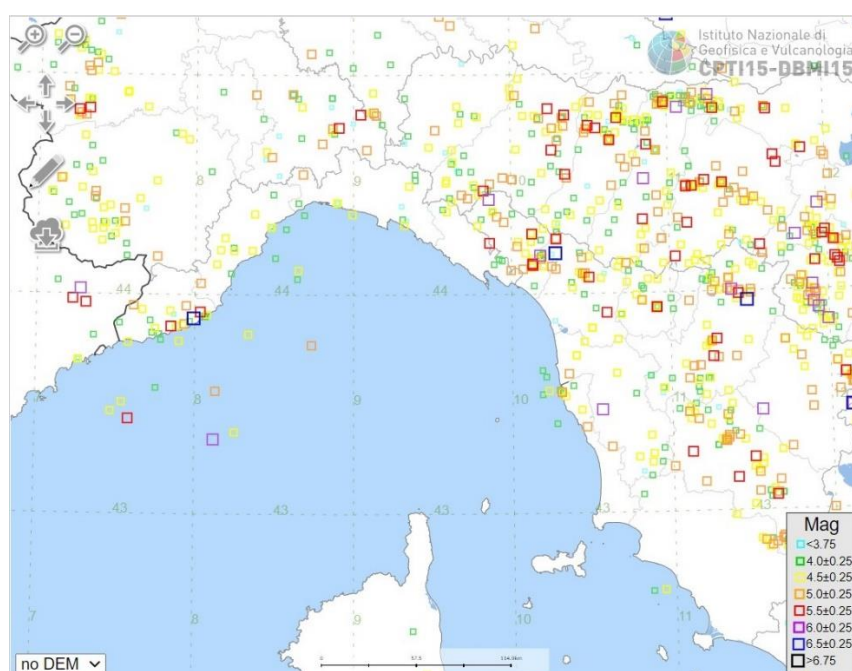


Figura 9-3: Mappa storica (dall'anno 1000) degli epicentri dei terremoti, classificati per magnitudo (da Rovida et alii, Italian Parametric Earthquake Catalogue – CPT115 – version 3.0, INGV 2021)

10. Conclusioni

Le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche sono state ricostruite sulla base delle indagini appositamente effettuate per la realizzazione dell'intervento di progetto (la nuova diga foranea del Porto di Vado Ligure), correlate con i risultati delle indagini preesistenti. È stato fatto riferimento anche alla precedente relazione geologica, redatta a supporto del progetto definitivo.

L'insieme dei dati raccolti ha permesso di determinare che l'assetto geologico attuale è il frutto di una graduale evoluzione occorsa dal Miocene ad oggi, i cui elementi salienti sono:

- L'azione di due sistemi di faglie, uno lungo la direzione approssimativa E-W, l'altro grossomodo ortogonale (NNW-SSE);
- La creazione di depressioni tettoniche ad opera soprattutto del sistema E-W, esplicitata attraverso faglie dirette con superficie di scorrimento ad alto angolo;
- Un notevole apporto detritico dal continente, frutto di una considerevole energia del rilievo, durante l'attività delle faglie estensionali, con riempimento delle depressioni mediante sedimenti grossolani (tettonica sinsedimentaria);
- Indebolimento della tettonica estensionale e sigillatura dei depositi sinsedimentari da parte di sedimenti detritivi continentali a grana fine, dovuti a minori gradienti morfologici;

Lungo l'allineamento di progetto è stata rinvenuta una copertura sedimentaria che mostra un graduale aumento della granulometria, passando, quindi, da limi a limi sabbiosi (in prossimità, del fondale) a sabbie e quindi a ghiaie più in profondità.

Lo spessore della coltre sedimentaria è dell'ordine di 8-12 m fino a circa 3/4 della lunghezza della diga di progetto, invece, nella parte terminale, più esterna, si ha un notevole ispessimento dovuto un abbassamento del substrato in ragione della presenza di una o più faglie sinsedimentarie. L'ispessimento riguarda soprattutto le ghiaie che costituiscono il riempimento della depressione tettonica. Un ispessimento, anche se di minore entità, interessa anche le sabbie, mentre i limi e limi sabbiosi mantengono uno spessore sostanzialmente regolare, andando quindi a sigillare i depositi sinsedimentari.

Le ghiaie in basso passano a gneiss granitoidi (Graniti del Torrente Letimbro), possibilmente intercalati a filladi e micascisti (Formazione di Murialdo). Non ci sono significativi elementi di pericolosità geomorfologica nell'area della diga di progetto.

Per quanto riguarda gli aspetti sismici, la zona di Vado Ligure si trova in un'area a bassa pericolosità: non ci sono epicentri con magnitudo superiore a 5.0 nella serie storica. Gli eventi più significativi sono storicamente dovuti ad eventi localizzati nella Liguria orientale, con lunghi tempi di ritorno.

Per le considerazioni di dettaglio riguardo alle caratteristiche geomeccaniche dei terreni ed alla valutazione della risposta sismica locale, si rimanda alla relazione geotecnica di accompagnamento al progetto esecutivo.

Sulla base delle informazioni in possesso e delle valutazioni eseguite di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione.

Tabella 10-1: Caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione

Livello	γ (kN/m ³)	IP (-)	G _s (-)	OCR (-)	e ₀ (-)	K (m/s)	c _v (m ² /anno)	c _u (kPa)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E' (MPa)	Cc/Cr (-)	C α (-)	ν (-)	K ₀ (-)
L1	16	15	2.73	5	1.14	2.00E-08	150	15(*)	0	31	-	0.336/0.027	3E-03	0.35	0.5
SL	18	-	2.72	1	-	1.00E-06	-	-	0	32	30	-	-	0.33	0.47
G	18	-	2.72	1	-	1.00E-05	-	-	0	32	40	-	-	0.33	0.47

(*) Per individuare il valore di C_u per L1 si può utilizzare la seguente relazione: C_u=0.46OCR^{0.7} σ'_v ; con un valore minimo di 15kPa.

Tabella 10-2: caratterizzazione geotecnica della roccia di base

Livello	γ (kN/m ³)	UCS (MPa)	E_{rm} (GPa)	ν (-)	c' (kPa)
R	24	27	1.00	0.2	45

