Regione Liguria
Provincia di Savona
COMUNE DI PIETRA LIGURE

Progetto per la trasformazione urbanistica dei Cantieri Navali Rodriquez in un porto turistico con annesse strutture pubbliche, ricettive, residenziali e produttive

S.U.A. STRUMENTO URBANISTICO ATTUATIVO di approv. regionale L.24/87
D.P.R. 509/97
Decr. Min. Trasporti e Navigazione 14.04.98
Conf. Servizi L. 241/90 s.m.i.

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOLOGICA OPERE A TERRA

S.U.A. E N.T.C.

Proponente
Rodriquez Cantieri Navali S.p.A.
Via Raineri 22, 95122 Messina

Rodriquez Cantieri Navali SpA
Amministratore Delegato
Livio Corghi

Progettisti
Ing. Michele Ministeri
Arch. Vittorio Grattarola
Arch. Paolo Bandini
Dott. Eugenio Piovano
ACQUATECNO
Ing. Paolo Turbolente
STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA TECNICA
GEOLAB
Geol. Alessandro Canavero e Geol. Sabrina Santini

Savona, giugno 2012

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA — Dott. Geol. SABRINA SANTINI A.P. n. 338

INDICE

0. SOMMARIO 3
1. OGGETTO DELL'INCARICO 4
2. PREMESSE 4
3. METODOLOGIA DI STUDIO. 5
4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA 7
5. CONDIZIONI CLIMATICHE 9
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO 10
7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO 10
8. CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE 11
9. RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO E DESCRIZIONE DELLE INDAGINI 13
9.1 Indagini in situ. 13
9.2 Sondaggi a rotazione 14
9.3 Campagna di indagini geofisiche 18
9.4 Prove penetrometriche DPSH 23
9.5 Monitoraggio freatimetrico. 24
9.6 Indagini di laboratorio. 25
9.7 Procedure di riferimento 25
9.8 Caratteristiche geotecniche e geomeccaniche di massima dei terreni e delle rocce. ... 26
9.8.1 Modello del sottosuolo. 26
9.8.2 Caratteristiche geotecniche medie dei terreni e geomeccaniche medie delle rocce. 27
10. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO 29
11. MODELLO IDROGEOLOGICO DEL SITO 30
11.1 Modellazione idrogeologica 30
11.2 Cuneo salino 33
12. MODELLAZIONE SISMICA ED EFFETTI DI SITO 34
13 SINTESI DEI DATI PER L'INQUADRAMENTO DEI PROBLEMI GEOTECNICI 44
14. ANALISI DEI VINCOLI 44
15. NOTE ILLUSTRATIVE AGLI ELABORATI CARTOGRAFICI 47
16. CONSIDERAZIONI SULL'IMPATTO GEOLOGICO/IDROGEOLOGICO DELL'INTERVENTO 48
17. CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLE INTERFERENZE DELL'INTERVENTO SUL RETICOLO IDROGRAFICO SIGNIFICATIVO, SULLE SPIAGGE E SULLE EMERGENZE AMBIENTALI. 53
18. NORME GEOLOGICHE DI ATTUAZIONE 54

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

0. SOMMARIO

Nel periodo ottobre - novembre 2010 – aprile 2011 e aprile-maggio 2012 la Società proponente, Rodriquez Cantieri Navali S.p.A. di Messina, ha condotto un programma organico di indagini ed attività conoscitive del sottosuolo dell'area interessata dal "Progetto per la trasformazione urbanistica dei Cantieri Navali Rodriquez in un porto turistico con annesse strutture pubbliche, ricettive, residenziali e produttive", finalizzate ad integrare le conoscenze già acquisite nel giugno 2007 in fase di redazione della Indagine Ambientale svolta per l'individuazione di eventuali fonti di inquinamento.

L'area su cui insiste il progetto interessa il litorale di Pietra Ligure dall'attuale portineria dei Cantieri fino alla prossimità della foce del Rio Ranzi per un tratto di circa 500 metri e tutta l'area attualmente occupata dal cantiere di circa 46.000 metri quadrati.

Lo studio è propedeutico alla variante urbanistica nonché alla progettazione preliminare e definitiva con particolare riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni approvato con Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti il 14/01/2008 e alla relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009 nonché alla DGR 471/10 (Regione Liguria). In tale ambito è stata integrata, in più fasi, la campagna di indagine (riprodotta in allegato) con nuove verticali di carotaggio; quindi sono state eseguite le attività di campo preliminari e le successive fasi di campionamento, analisi di laboratorio ed elaborazione dati.

In sintesi nell'ambito della progettazione preliminare del 2010, per quanto riguarda gli aspetti geologici, sono state eseguite le seguenti attività:

- n° 4 sondaggi meccanici, per un totale di 100 m perforati tutti attrezzati a piezometro;
- n° 40 prelievi di campioni disturbati di sedimenti;
- n° 30 prove di resistenza meccanica S.P.T. di cui n° 3 a punta chiusa;
- n° 1 prova di permeabilità "Lefranc";
- n° 5 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH di cui 3 attrezzate a piezometro;
- n° 5 stendimenti sismici per metodo MASW;
- n° 7 rilievi sismici passivi di tipo HVSR;
- n° 2 stendimenti con metodo geoelettrico;
- n° 3 campagne di misure del livello della falda;
- n° 37 prove granulometriche per setacciatura su campioni derivanti dalle prove SPT a scarpa tagliente aperta e dai prelievi di campioni disturbati;
- rilievo di tutti i punti investigati e loro successiva georeferenziazione:
- n° 5 prelievi "in mare" di fondale marino tramite carotiere, utilizzati per verificare le stratigrafie sviluppate per mezzo dei sondaggi a terra;

integrate nel 2012 con:

- n° 6 sondaggi meccanici, per un totale di 99,30 m perforati tutti attrezzati a piezometro;
- n° 26 prelievi di campioni disturbati di sedimenti;
- n° 2 campioni indisturbati;
- n° 27 prove di resistenza meccanica S.P.T.;

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

- n° 2 prova di permeabilità "Lefranc";
- n° 2 campagne di misure del livello della falda;
- n° 26 prove granulometriche per setacciatura su campioni derivanti dalle prove SPT a scarpa tagliente aperta e dai prelievi di campioni disturbati;
- rilievo di tutti i punti investigati e loro successiva georeferenziazione:
- prove geotecniche di laboratorio effettuate presso il D.I.C.A.T. dell'Università di Genova su campioni indisturbati.

Durante l'esecuzione della prima campagna di indagini è stata riscontrata la difficoltà di eseguire prove di permeabilità in foro a causa delle problematiche legate alla formazione della tasca di deflusso; tali problematiche sono state in parte superate realizzando una prova di riferimento in situ a carico costante con altezza della tasca nulla. Nella seconda campagna di indagine, invece, il sondatore è riuscito a sviluppare due prove Lefranc a carico costante su due sondaggi.

Dalle indagini è emerso che:

- l'areale è interessato prevalentemente dalla presenza di sedimenti alluvionali e marini;
- la successione di strati presenta variabilità verticale ed omogeneità laterale;
- il tipo di acquifero risulta da normale a povero con classe di permeabilità da bassa a media.

1. OGGETTO DELL'INCARICO

La presente relazione geologica è stata sviluppata in base al dettato delle seguenti normative: Testo Unico Norme Tecniche per le Costruzioni approvato con Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti il 14/01/2008 e alla relativa circolare esplicativa del C.S.LL.PP. n° 617/2009, D. Lgs. 152/06 e s.m.i., L.R. 24/1987 nonché alla DGR 471/2010 (Regione Liguria) D.P.R. 509/97, Decr. Min. Trasporti e Navigazione 14.04.98 che stabilisce i requisiti per la redazione dei progetti da allegare alle istanze di concessione demaniale marittima ai fini della realizzazione di approdi turistici, relativamente al progetto di trasformazione urbanistica dei Cantieri Navali Rodriquez in un porto turistico con annesse strutture pubbliche, ricettive, residenziali e produttive. Il Progetto Definitivo, di cui il presente elaborato è parte integrante, assume caratteristiche di S.U.A. Strumento Urbanistico Attuativo di approvazione regionale ai sensi della L.R. 24/87, conformemente a quanto prescritto dalla strumentazione urbanistica vigente

2. PREMESSE

Il primo Progetto Preliminare ai sensi art. 5, D.P.R. 509/97, è stato presentato dalla Soc. Rodriquez Cantieri Navali S.p.A. con istanza in data 3.4.2006. Successivamente alla pubblicazione, nella quale non sono state presentate istanze concorrenti, in data 18.1.2007 si è svolta la prima seduta di Conferenza dei Servizi referente per l'esame del Progetto.

In seguito all'avvio dell'istruttoria, il Progetto ha subito diverse osservazioni, sia durante gli incontri avvenuti tra i progettisti e gli uffici tecnici competenti della Regione e del Demanio, sia

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

durante le successive Conferenze dei Servizi convocate in seguito per l'esame degli approfondimenti richiesti.

Nel corso del tempo inoltre, l'acquisizione in proprietà da parte della Società proponente di una porzione significativa dei sedimi precedentemente assegnati in Concessione, unitamente al parziale ridisegno delle opere a mare, ha comportato la necessità di una rettifica dei perimetri delle aree sulle quali si prevede di realizzare gli interventi e che sono oggetto della richiesta di nuova Concessione Demaniale.

Successivamente alla prima conferenza dei servizi del 2006, si sono svolte altre Conferenze, dal 2008 al 2010. Nel corso dell'estate 2010, una serie di incontri con i competenti Assessorati della Regione Liguria e con la Sovrintendenza ai Beni Architettonici, ha ulteriormente affinato e modificato il progetto. In data 9 agosto 2011 il Progetto Preliminare ai sensi dell'articolo 5, D.P.R. 509/97, è stato approvato nella seduta Deliberante della Conferenza dei Servizi, svoltasi presso la Regione Liguria. Nel verbale di tale Conferenza sono allegati i pareri degli enti e degli uffici competenti, con presenza di prescrizioni relative ai singoli aspetti progettuali presentati.

Il presente Progetto Definitivo ai sensi dell'articolo 6, D.P.R. 509/97, approfondisce e sviluppa gli elementi progettuali già approvati dalla Conferenza ed ottempera alle prescrizioni puntuali sia sotto il profilo urbanistico-architettonico sia sotto quello ambientale (D.G.R. 975/2011 e D.G.R. 940/2011).

Per quanto attiene gli aspetti geologici l'indagine è stata svolta in più fasi, effettuando un'accurata ricerca storico-bibliografica, rilievi di superficie ed un'idonea campagna di rilevamento geologico-geomorfologico, con lo scopo di individuare, in via preliminare, la natura e le caratteristiche tecniche del sottosuolo, in un contorno sufficientemente esteso dell'area interessata dai lavori. In seguito a tale fase conoscitiva si sono effettuate il situ indagini dirette ed indirette in varie campagne di indagini, talora svolte con obiettivi diversi (esemplificando: ambientali, geologico stratigrafici, geotecnici) e di laboratorio geotecnico che hanno permesso di raggiungere un'approfondita conoscenza del sottosuolo e delle sue caratteristiche fisiche, tecniche, composizionali, e le dinamiche ad esso correlate (riguardo l'idrogeologia).

La base cartografica, utilizzata nelle fasi di rilevamento e sulla quale si è fatto totale affidamento, è quella della Carta Tecnica Regionale scala 1:5.000 e degli elaborati grafici forniti dall'Ing. Michele Ministeri, dagli Architetti Vittorio Grattarola e Paolo Bandini, dal Dott. Eugenio Piovano e dall'Ing. Paolo Turbolente, dei quali sono stati effettuati ingrandimenti e/o riduzioni fotomeccaniche a varia scala.

Alla luce degli elementi ricavati dall'indagine svolta in più riprese dal 2007 al maggio 2012 si ritiene di poter esporre quanto segue.

3. METODOLOGIA DI STUDIO.

Gli studi geologici relativi alla redazione di un S.U.A., considerando l'area in oggetto come ricadente nel tipo di S.U.A. AP, ovvero Strumenti Urbanistici Attuativi in terreni interamente di

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

pianura, come da "Integrazione alla nota - circolare n° 77.341/8.706-2.034 del 30/07/1987 relativa all'applicazione della Legge Regionale 08/07/1987 n° 24", del 12 dicembre 1989 nella quale vengono indicati i criteri di redazione degli standard degli studi geologici necessari per tale tipo di intervento, si compongono delle fasi di seguito contraddistinte:

1) fase preliminare;
2) fase di ricerca originale;
3) elaborazione della cartografia tematica.

Relativamente agli aspetti trattati dalla DGR 471/2010 specificamente relativi alla microzonazione sismica di secondo livello si rimanda all'elaborato appositamente esteso.

Durante la fase preliminare sono stati analizzati numerosi aspetti relativi alle condizioni geologiche dell'area indagata, effettuando una ricerca bibliografica di quanto già realizzato precedentemente sul sito stesso e nei suoi immediati dintorni, curando, inoltre, l'organizzazione documentata di tutti i dati derivanti da studi ed indagini precedenti quali:

- Piano Territoriale della Costa e strumenti di Pianificazione generale;
- documenti relativi alla realizzazione della linea ferroviaria;
- bibliografia specializzata;
- dati idrogeologici;
- precedente relazione geologica per caratterizzazione ambientale dell'area.

Dalla ricerca bibliografica condotta sono emersi dati, di carattere generale, relativi all'utilizzo, nel tempo, di tale area; in particolare essa risulta essere una piccolo promontorio sabbioso su cui, in epoca recente, sono state inseriti i corpi di fabbrica del Cantiere Navale nello spazio compreso tra la linea di costa, consolidata con massicciata ad oggi visibile, e la linea ferroviaria.

Dall'esame degli elaborati individuati durante la fase di ricerca originale, si evince che il sito risulta ubicato in zona subpianeggiante appartenente ad una porzione di litorale sabbioso interdigitato localmente con i depositi alluvionali del Rio Ranzi, con intorni caratterizzati dalla presenza del massiccio carsico a NE, e da depositi alluvionali e di spiaggia sovraimposti ad un ammasso roccioso avente caratteristiche meccaniche medio-buone, ma posto ad elevata profondità.

La fase preliminare è stata completata attraverso il rilevamento in sito dal quale emerge che in nessuna porzione dell'area in esame sono riscontrabili zone di potenziale dissesto.

Le fasi sopra descritte hanno permesso di evidenziare le principali caratteristiche geologiche del sottosuolo quali le litologie presenti ed i loro rapporti litostratigrafici, determinare le caratteristiche meccaniche dei sedimenti sabbiosi attraverso le prove sia in situ sia di laboratorio e gli approfondimenti da effettuare nelle successive fasi di progettazione.

Utilizzando gli elementi emersi dalle fasi conoscitive sopra descritte, al fine di fornire un quadro geologico organico, necessario per pervenire ad una corretta individuazione dell'idoneità

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

all'utilizzazione urbanistica dell'area in oggetto, sono state predisposte, su base cartografica aggiornata e rappresentate allegato, i due seguenti documenti:

"CARTA DI ANALISI", SCALA 1:2.000;
"CARTA DI SINTESI", SCALA 1:2.000.

Sulla base della prima elaborazione dei dati ottenuti si è giunti allo sviluppo della summenzionata Carta di Analisi elaborato originale in scala 1:500 rappresentato allascala 1:2.000, integrata poi successivamente con il dettaglio del rilevamento di campagna e delle prove eseguite in sito. Sulla base di successive rielaborazioni, con sovrapposizione degli allegati precedenti e verifica in sito delle singole caratteristiche sia geomorfologiche sia geologico-tecniche, si è, infine, giunti allo sviluppo della Carta di Sintesi nella quale sono indicate le aree che dovranno essere assoggettate ad interventi specifici. Il rilevamento geologico dell'area e dei suoi immediati dintorni è stato completato durante il progetto preliminare con prove in situ dirette ed indirette ed in particolare: sondaggi a rotazione e continua estrazione di campione, attrezzati a piezometro, prove sismiche a rifrazione di tipo attivo MASW e passivo HVSR, prove penetrometriche dinamiche superpesanti, indagini di laboratorio geotecnico, prove di permeabilità e rilevazioni chimiche e freatimetriche sulla falda integrate, durante la presente fase progettuale, con ulteriori quattro sondaggi interni all'area e due esterni, tutti attrezzati a piezometro, con fini di approfondimento sia geotecnico sia idrogeologico, esecuzione di indagini di laboratorio, prove di permeabilità ed una prima campagna di monitoraggio idrogeologico.

4. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

L'area in studio prospiciente il Mar Ligure lungo il litorale pietrese si estende dalla foce del Rio Ranzi fino alla Passeggiata a Mare Bado, occupando la fascia territoriale costiera compresa tra la Ferrovia ed il mare. Da un punto di vista generale, l'area ricade, nel Piano Territoriale della Costa, all'interno dell'Unità Fisiografica, compresa tra la Caprazzoppa e il Porto di Loano, e nell'Ambito di progetto AP13 – Loano – Pietra Ligure – Borgio Verezzi – in cui è evidenziata la possibilità di riconversione/riqualificazione dell'area del Cantiere Rodriquez che insiste sulla porzione a ponente dell'arco costiero.

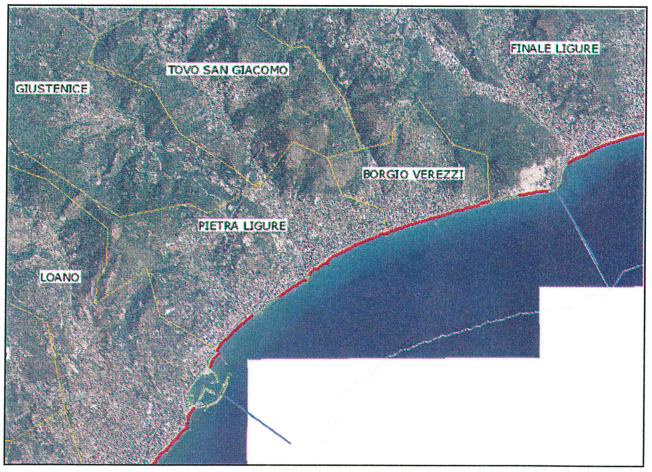


Figura 4.1: Rappresentazione limiti Unità Fisiografica- Fonte Repertorio Cartografico Regionale.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

In tale tratto di costa sono presenti lembi di spiaggia di limitata profondità comprese tra le linee di comunicazione principali (Aurelia e Ferrovia) e la linea di battigia che risultano vulnerabili all'erosione marina: al fine di ovviare a tale problematica, infatti, sono state svolte numerose campagne di ripascimento degli arenili documentate anche nel sito cartografico della Regione Liguria. A monte delle linee di comunicazione sono presenti territori più o meno aspri: verso Finale Ligure è visibile la falesia aggettante quasi in mare, verso Loano il territorio si apre maggiormente dando maggiore sfogo al fondovalle. Le litologie presenti lungo tale arco di costa sono ascrivibili alle coperture meso-cenozoiche Brianzonesi ed in particolare, partendo dal Capo di Caprazzoppa si ossevano: Calcari di Val Tanarello e Pietra di Finale, Dolomie di S. Pietro dei Monti e Quarziti di Ponte di Nava, interrotte dalla piana alluvionale del Torrente Maremola oltre la quale riaffiorano i Calcari di Val Tanarello e le Quarziti di Ponte di Nava.

L'unità fisiografica considerata è caratterizzata al suo lembo estremo a nord dalla perimentrazione del Sito di Interesse Comunitario del Finalese- Capo Noli che delimita, nel tratto a mare, la prateria di Posidonia Oceanica qui presente, tuttavia, da un punto di vista della qualità delle acque, anche il PTC della Costa classifica questo lembo di costa come acque a media vulnerabilità e valore naturalistico in cui sono presenti praterie di Fanerogame marine ed, in particolare, il limitato lembo di Posidonia Oceanica al largo di Finale Ligure su descritto ed un prato di Cymodocea Nodosa, quest'ultimo esteso per tutta la lunghezza dell'arco di costa considerato.

Tale situazione evidenzia la presenza di un habitat di povere caratteristiche ambientali in quanto, le biocenosi di Cymodocea rappresentano una fase intermedia di popolamento determinata da una situazione instabile che non consente, pertanto, l'insediamento stabile della Posidonia e delle altre specie di maggior pregio. Tale considerazione è contenuta anche nel PTCP della Provincia di Savona dove si legge " *Relativamente a Cymodocea nodosa merita evidenziare che essa rappresenta uno stadio meno evoluto della vegetazione marina ed è tipica di ambienti instabili, laddove la Posidonia non trova condizioni favorevoli per il suo sviluppo. La sua presenza, soprattutto in aree dove in precedenza esisteva la Posidonia, indica, dunque probabilmente una situazione di degrado ambientale. In Provincia di Savona sono 800 gli ha di estensione di Cymodocea, distribuiti per un tratto di 51 km (63% della costa): ne deriva, pertanto, un rapporto Cymodocea/Posidonia pari a 0.78, cioè piuttosto elevato e presumibilmente correlabile ad una bassa qualità dell'ambiente marino costiero*". Nel tratto di costa considerato ed afferente all'unità fisiografica, individuata da il porto di Loano e il Promontorio di Caprazoppa, la realizzazione e l'ampliamento del porto di Loano rischiano di determinare uno squilibrio della spiaggia occidentale di Pietra L.. Tra le altre problematiche si evidenziano l'impoverimento della spiaggia di Borgio (soppressione della discarica dalla cava Ghigliazza) ed il recupero della cava su Capo Caprazoppa.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

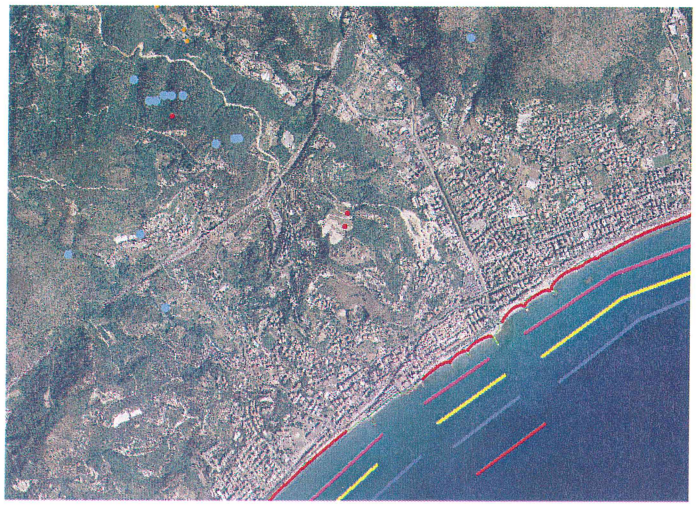


Figura 4.2: Rappresentazione delle campagne di ripascimento degli arenili (linee colorate), ubicazione delle grotte (punti rossi), delle sorgenti (punti azzurri) e delle derivazioni d'acqua potabile (punti arancio)

L'ambiente in cui sorge l'attuale cantiere è riconducibile a quello di una antica spiaggia di tessitura medio/fine, caratterizzato da andamento pianeggiante: solo in corrispondenza dei manufatti di difesa dal mare, muri frangionda, sono presenti dislivelli metrici rispetto alla battigia; il Cantiere è stato ubicato, infatti, su una piccola propaggine di spiaggia che è ad oggi visibile in quanto delimitato dal perimetro del cantiere stesso, documentato anche in alcuni elaborati progettuali della Ferrovia, realizzata prima delle opere cantieristiche.

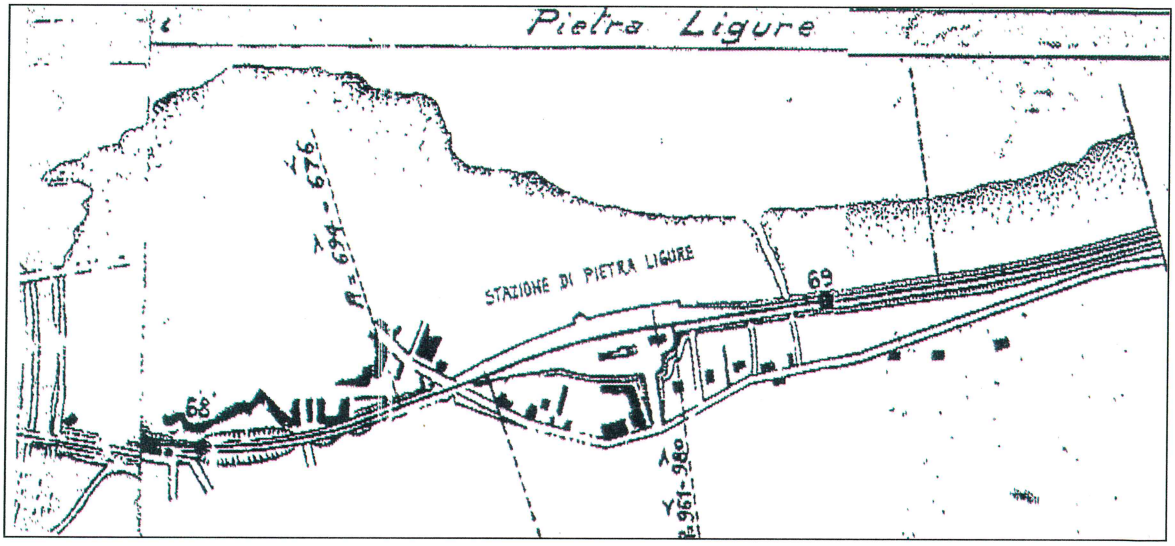


Figura 4.3: Documentazione storica delle Ferrovie dello Stato

Dalle indagini in sito è emersa la presenza, al di sotto del piano campagna, di una stratigrafia a prevalenza sabbiosa caratterizzata da strati contenenti residui di lamellibranchi e conchiglie di minute dimensioni, intervallata a stratificazione di livelli a granulometria fine che evidenziano un antico apporto fluviale.

5. CONDIZIONI CLIMATICHE

Le condizioni climatiche sono ben rappresentate dai dati disponibili in rete relativi alla stazione meteorologica presente nel comune di Pietra Ligure, ubicata presso l'Istituto Ospedaliero

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

S. Corona, quindi prossima al sito di intervento e da quella di Loano dalle cui rilevazioni si può evincere come il sito rientri nella zona climatica mediterranea ed in particolare nella sottoregione mesomediterranea, con una distribuzione bimodale delle precipitazioni, con massimo principale autunnale e secondario primaverile, e unimodale delle temperature che registrano il massimo in agosto ed il minimo in gennaio. In particolare la stazione presso il S. Corona rileva una media delle temperature più rigide, +6,1 °C, nel mese di gennaio, mentre quella dei mesi più caldi, luglio e agosto, è intorno a +26,6 °C. Le precipitazioni medie annue sono dell'ordine di 770 mm distribuite in circa 60 giorni con minimi estivi e massimi autunnali.

Il regime dei venti è variabile, con lunghi periodi di calma e vento debole (80%) intervallati da giorni ventosi; per quanto riguarda la provenienza vi è una dominanza dei venti di SW nella stagione estiva e NW nel periodo invernale con subordinate provenienze da SSE.

6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame, ubicata lungo il litorale di Pietra Ligure, insiste sull'arenile che qui creava una modesta propaggine sabbiosa. L'attuale struttura cantieristica ha occupato e consolidato tale lembo di spiaggia, attraverso le opere di presidio all'ingressione marina quali mantellate a mare e muri frangiflutti.

Entro i terreni interessati dallo studio non sono presenti affioramenti sui quali osservare le caratteristiche geologiche delle coperture superficiali e dell'ammasso roccioso di base, entrambi sono, invece, rilevabili lungo gli intagli della strada Provinciale in direzione Maremola e sulle porzioni di versante ubicate a monte della strada che dalla sponda orografica destra del Maremola, conduce verso la Località Ranzi (in tale zona è altresì presente un vecchio fronte di cava): ivi l'ammasso roccioso affiora con litologie appartenenti alla Formazione delle Dolomie di San Pietro dei Monti, qui costituite da calcari e dolomie grigie tipiche di facies di piattaforma e risalenti al Lias e dalle Quarziti di Ponte di Nava.

A tali litologie appaiono sovrapposte coperture detritiche eluvio-colluviali fortemente arrossate con matrice argillosa che ingloba materiali litici direttamente derivanti dall'alterazione dell'ossatura litologica.

La zona di interesse appare, invece, caratterizzata da sedimenti di chiara origine marina, obliterati da uno spessore variabile fino a 1,0 metro di materiali di riporto. La tessitura e le caratteristiche morfologiche del sedimento sono tali da evidenziare come tale materiale sia caratteristico di depositi di spiaggia, con una percentuale limosa che aumenta con l'approfondirsi al di sotto del piano campagna.

7. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area dei cantieri navali, che copre oggi una superficie pianeggiante di circa 46.000 m^2, (dei quali circa 17.000 m^2 coperti) è ubicata nel tessuto cittadino di Pietra Ligure (SV) in Via Don Giovanni Bado 4 ed appare contornata lungo il lato Nord - Est da edifici residenziali che si

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

affacciano su Via Don Giovanni Bado, lungo il lato Nord-Est dalla linea ferroviaria Genova – Ventimiglia, lungo il lato Sud-Ovest ed il lato Sud-Est, rispettivamente, dall'arenile e dal mare per un fronte di circa 500 metri.

Nel sito sono presenti due edifici di maggior rilevanza storico-industriale (fabbricato uffici ed edificio mensa), di cui si prevede la conservazione, mentre tutti gli altri manufatti di minore rilevanza, che rappresentano una barriera tra il tessuto urbano retrostante ed il fronte mare, saranno demoliti e sostituiti dalle opere a progetto.

L'area, subpianeggiante e con altezza sul livello del mare contenuta entro i 2,5 e 3,2 metri, insiste su una porzione di litorale che in passato è stata in parte stabilizzata e protetta lungo il fronte mare, nella zona di varo delle imbarcazioni, da una scogliera in massi e elementi in c.a. la cui azione protettiva, in prossimità delle aree coperte e interessate dai capannoni, viene localmente amplificata dalla presenza di un muro paraonde.

8. CONDIZIONI IDROGEOLOGICHE

Il principale elemento idrologico presente nella zona d'intervento è rappresentato dal Rio Ranzi, corso d'acqua che confluisce direttamente in mare, probabilmente impostato su linee di fragilità tettonica e caratterizzato da un regime occasionale strettamente dipendente dalle precipitazioni meteoriche.

Durante le indagini bibliografiche svolte a margine delle attività di campo, è stato riscontrato, attraverso materiale storico delle Ferrovie dello Stato, che l'area risulta attraversata, per la sua profondità ed in più punti, da canali che conferiscono in mare piccoli colatori alcuni ad oggi non più rilevabili a vista neppure nelle zone di monte alcuni ancora individuabili.

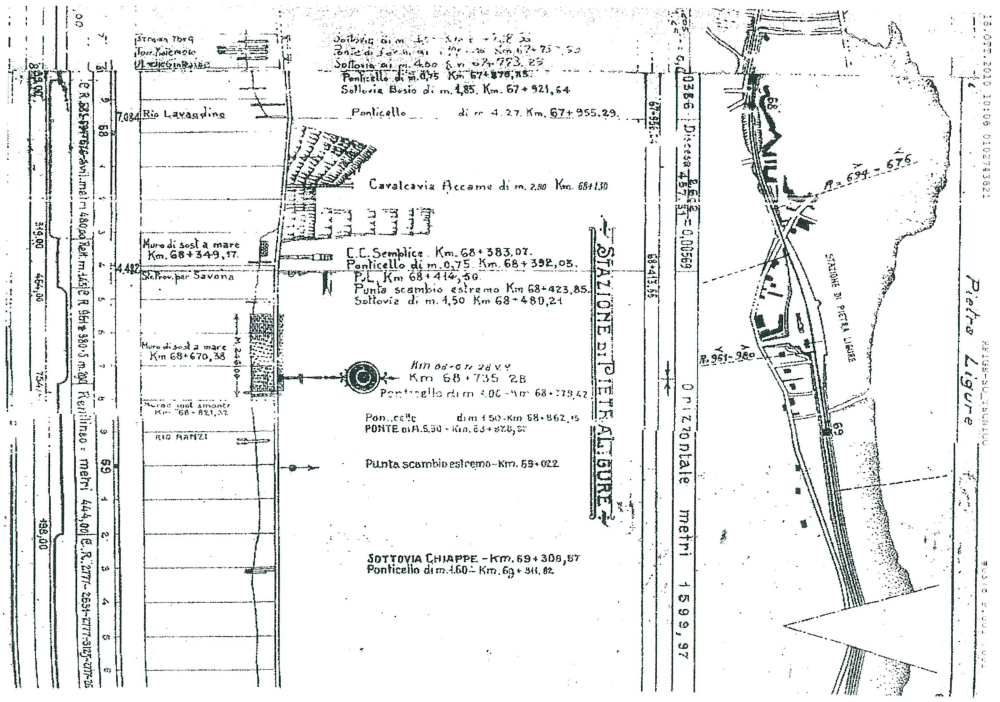


Figura 8.1: Documentazione di progetto della Ferrovia con particolare riferimento agli attraversamenti

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Le indicazioni di progetto della Ferrovia evidenziano che tali scoli d'acqua sono stati attraversati con opere minori, ovvero ponticelli di circa 0,75 metri – 1,50 metri di luce, dei quali oggi non si evince la collocazione esclusi un manufatto ristrutturato recentemente posto all'esterno del capannone verso il Rio Ranzi, uno che interessa il piazzale prospiciente la Palazzina degli Uffici ed uno probabilmente ubicato lungo l'area prospiciente il cancello principale.

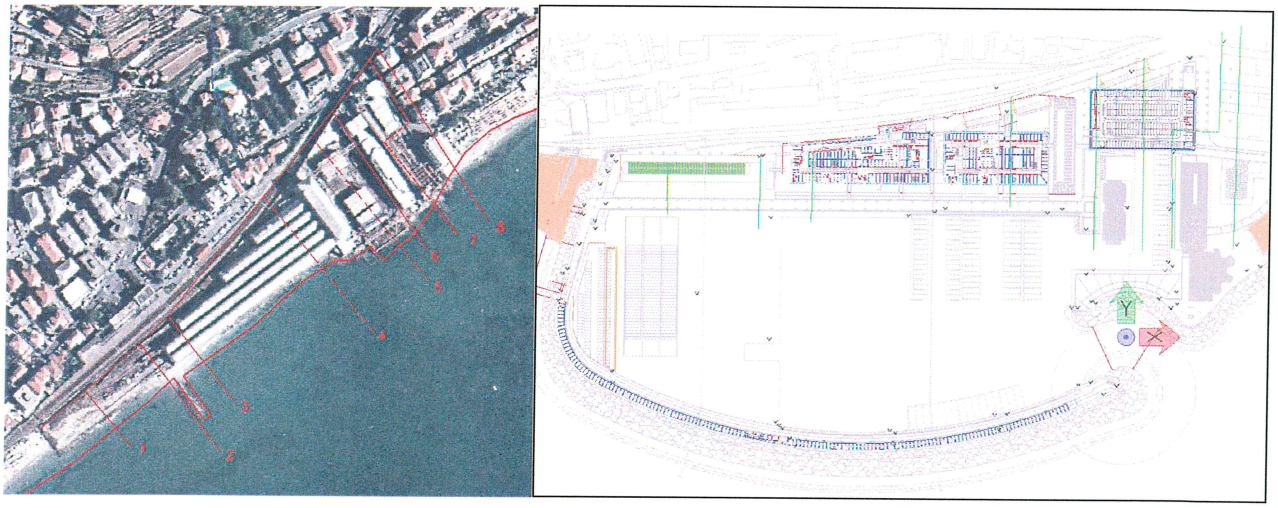


Figura 8.2: Sovrapposizione tra i documenti delle Ferrovie in verde, lo stato attuale e lo stato di progetto

Nel periodo del rilevamento non sono apparse evidenti zone di ristagno idrico e di imbibizione dei terreni in corrispondenza del sito in oggetto, poiché nelle superfici non impermeabilizzate la permeabilità per porosità dei terreni favorisce l'infiltrazione delle acque superficiali ed il deflusso sotterraneo.

Nonostante, immediatamente a ridosso della Via Aurelia, sia osservabile in spaccato l'ammasso roccioso di base, in prossimità del sito l'ammasso roccioso non è mai stato campionato nel corso delle indagini fin qui svolte, e ciò concorda con il fatto che una linea tettonica, facilmente individuabile poco a valle del tracciato autostradale, determina il ribassamento del lato mare con una dislocazione del substrato roccioso alcune decine di metri al di sotto del piano di campagna, specie nella parte terminale della piana.

La tavola d'acqua si trova, in tutta l'area studiata, a bassa profondità, mediamente compresa tra – 1,5 m e – 2 m dal piano di campagna, con una risalita capillare dell'ordine di 50 centimetri e minime escursioni dovute sia alla particolare conformazione del sito nonché alla totale assenza di opere di emungimento: l'escursione tra periodo estivo ed invernale è minima, anche a causa dell'effetto dinamico del cuneo salino.

Analogamente a quanto è riscontrabile nei bacini laterali del Nimbalto e del Maremola è ipotizzabile la presenza di un acquifero profondo in condizioni di subartesianità con alimentazione non secondaria anche dal substrato e con orizzonti di copertura di materiali fini, ubicati presumibilmente oltre i 25 metri dal p.c., scarsamente permeabili dotati di buona continuità laterale.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

9. RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO E DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

Nel presente paragrafo vengono descritte le caratteristiche principali di massima dei sedimenti presenti nel sito; tali caratteristiche, come introdotto in premessa, derivano da elementi bibliografici e dalle indagini specifiche eseguite sia nell'ambito di tale lavoro sia nelle fasi precedenti di progettazione ed indagine.

9.1 Indagini in situ.

Le indagini utilizzate nel presente lavoro sono rappresentate nella successiva immagine e sono le seguenti:

Fasi	Denominazione	X	Y	Z	X	Y	Z
Caratterizzazione ambientale	S1	1442401	4888439	2.90			
	S2	1442484	4888530	2.75			
	S3	1442441	4888488	3.00			
	S4	1442563	4888439	2.70			
Progetto preliminare	SA	1442425	4888477	3.00			
	SB	1442347	4888370	2.64			
	SC	1442376	4888331	2.66			
	SD	1442279	4888271	2.66			
	DPSH1	1442457	4888501	3.10			
	DPSH2	1442319	4888332	2.75			
	DPSH3	1442427	4888370	2.72			
	DPSH4	1442384	4888415	2.66			
	DPSH5	1442281	4888254	2.66			
	MASW1	1442383	4888425	2.85	1442295	4888316	2.70
	MASW2	1442295	4888316	2.70	1442383	4888425	2.85
	MASW3	1442418	4888460	3.20	1442463	4888494	3.20
	MASW4	1442418	4888460	3.20	1442448	4888482	3.20
	MASW5	1442501	4888508	2.80	1442535	4888463	3.00
	SEV1	1442295	4888316	2.70	1442383	4888425	2.85
	SEV2	1442418	4888460	3.20	1442462	4888403	2.90
	MASWA	1442383	4888425	2.85	1442295	4888316	2.70
	HVSR1	1442290	4888311	2,75			
	HVSR2	1442372	4888407	2,66			
	HVSR3	1442459	4888407	2,90			
	HVSR4	1442495	4888448	3,00			
	HVSR5	1442461	4888488	2,80			
	HVSR6	1442507	4888500	2,75			
	HVSR7	1442538	4888474	2,70			
Progetto definitivo	SE	1442529	4888485	3,00			
	SF	1442425	4888477	3,00			
	SG	1442365	4888352	2,66			
	SH	1442141	4888158	4,00			
	SI	1442380	4888524	3,50			
	SL	1442279	4888339	5,50			

Tabella 9.1: coordinate punti di indagine (Gauss-Boaga).

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Indagini preliminari (anno 2007):

- sondaggi a rotazione "a secco per indagini ambientali": ● (S1-4)

Progetto preliminare/definitivo (anni 2010, 2011 e 2012):

- sondaggi a rotazione "attrezzati a piezometro": ● (SA – D);
- sondaggi a rotazione "attrezzati a piezometro": ● (SE – L);
- prove DPSH rivestite: ■ (DPSH 1- 5);
- campagna di indagini geofisiche:
  - Indagine sismica attiva di tipo MASW: ★---------- (MASW 1- 5);
  - Indagine sismica passiva HVSR: ⬇ (HVSR1-7);
  - Sondaggi elettrici verticali: --------▲-------(SEV 1-2);



Figura 9.1: attrezzatura utilizzata

9.2 Sondaggi a rotazione

Come anticipato le indagini sono state eseguite in più tempi, inizialmente per la fase di caratterizzazione ambientale, successivamente per il Progetto Preliminare ed in questa sede per il Progetto Definitivo. Tutte le indagini sono qui commentate mentre nel report delle indagini sono rappresentati tutti i risultati ottenuti.

Nella fase di caratterizzazione ambientale sono stati eseguiti n. 04 carotaggi a rotazione con continua estrazione di campione a secco, nel preliminare sono state eseguite n. 04 perforazioni a rotazione con continua estrazione di campione corredate da SPT e n. 01 prova di permeabilità in situ, per il progetto definitivo sono state effettuate ulteriori n. 06 perforazioni interne al Cantiere

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Navale, e n. 02 esterne all'area d'intervento per il monitoraggio della falda; anche in questa fase sono state eseguite prove in situ quali SPT e n. 02 prove di permeabilità in foro Lefranc. Relativamente alle perforazioni eseguite internamente all'area SF sostituisce SA ed il relativo piezometro andato perso durante operazioni urgenti di manutenzione della fognatura comunale. Le caratteristiche della macchina perforatrice utilizzata sono di seguito riportate.

Attrezzatura utilizzata

Per i sondaggi del progetto preliminare e definitivo sono state utilizzate più sonde le cui caratteristiche sono di seguito sintetizzate:

- ☑ Progetto preliminare CMV MK600D montata su carro cingolato e dotata di pompa per acqua installata sul carro e sistema di rotazione dell'antenna di perforazione, con un'altezza massima in posizione di lavoro di 7,30 m e prolunga per manovre da 6,00 m, e di attrezzatura per l'esecuzione delle prove di resistenza dinamica alla punta eseguite in ognuna delle quattro perforazioni.



Figura 9.2: attrezzatura utilizzata

- ☑ Progetto definitivo FRASTE PL Multidrill montata su caro cingolato, con sistema di rotazione dell'antenna di perforazione, con un'altezza massima in posizione di lavoro di 7,30 m, ma con pompa dell'acqua esterna, con attrezzatura per l'esecuzione delle prove di resistenza dinamica alla punta.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it



Figura 9.3: attrezzatura utilizzata

Note sull'esecuzione dei sondaggi

Le perforazioni sono state protratte fino alla profondità di 25,00 ÷ 25,50 metri dal piano campagna al fine di raggiungere una conoscenza adeguata del volume significativo di terreno quando le stesse erano svolte per fini geotecnici e fino a 10,00 ÷ 15,00 metri quando avevano scopo idrogeologico; le conoscenze dirette così acquisite hanno permesso, durante il progetto preliminare, di "calibrare" la campagna di indagini sismiche e penetrometriche svolte successivamente.

Tutte le perforazioni sono state condotte a circolazione di fluido in quanto i campionamenti di terreno sono stati condotti per una classificazione tecnico-meccanica delle terre e non a scopo ambientale.

Come si evince dall'esame della documentazione è stato possibile recuperare solo n. 02 campioni indisturbati a causa della tessitura prevalentemente sabbiosa dei sedimenti.

Durante le perforazioni sono state eseguite prove di penetrazione dinamica alla punta SPT ad intervalli regolari di 1,5 metri e sono state tentate più prove di permeabilità in situ che hanno generalmente dato esito negativo in quanto non si riusciva a realizzare la "tasca" di deflusso a seguito del rifluimento dei materiali. A causa di tale inconveniente è stata eseguita durante la campagna del progetto preliminare, con limitate problematiche, una sola prova Lefranc a carico costante, mentre, nella campagna del progetto definitivo, è stato possibile completare le prove di permeabilità solo nei sondaggi SE ed SH.

Tutte le verticali di carotaggio sono state, infine, attrezzate a piezometro fenestrato da cui si sono ottenute le letture del monitoraggio piezometrico nonché del cuneo salino.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Descrizione delle stratigrafie

Le rappresentazioni stratigrafiche, presenti nel report delle indagini, evidenziano una serie di strati e successioni prevalentemente di sabbie medio fini e sabbie grossolane con alcuni interstrati a tessitura fine così sintetizzabili:

Sondaggio A:

0,00 – - 7,50 m strati di sabbie e ghiaie e sabbie medio/fini sormontate da 1 metro di cls;
-7,50 – -12,30 m strati di sabbie medio fini e sabbie con ciottoli;
-12,30 – -13,00 m strato di trovanti quarzosi e/o sabbie cementate;
-13,00 – -16,50 m strato di sabbie medio fini;
-16,50 – -23,70 successioni di sabbie con clasti;
-23,70 – -25,00 m sabbia argillosa.

Sondaggio B:

0,00 – - 2,00 m strato costituito da sabbia ghiaiosa;
-2,00 – - 6,00 m strati di sabbie ghiaiose e medio fini con ciottoli;
-6,00 – - 8,00 m strato di sabbia debolmente ghiaiosa;
-8,00 – -16,40 m strati di sabbie fini e sabbie;
-16,40 – -18,00 strato di argilla debolmente sabbiosa inglobante clasti;
-18,00 – -25,00 m sabbie ghiaiose, interstrati cementati e sabbie medie.

Sondaggio C:

0,00 – - 6,00 m strati costituiti da sabbia ghiaiosa, ghiaia grossolana e sabbie fini;
-6,00 – -13,30 m successioni di sabbie fini e medio fini;
-13,30 – -15,20 m strati di sabbia grossolana e con ciottoli;
-15,20 – -18,00 m strato di sabbie con ciottoli di quarzite;
-18,00 – -25,00 m successioni di sabbia con ciottoli e sabbie argillose con eventuali clasti.

Sondaggio D:

0,00 – -0,50 m di cemento e riporto antropico;
-0,50 – -5,00 m strati di sabbie ghiaiose;
-5,00 – - 7,50 m strati di sabbie fini;
-7,50 – -10,00 m sabbia medio fine;
-10,00 – -12,70 m strato di sabbie finissime;
-12,70 – -13,00 sabbia grossolana con ciottoli;
-13,00 – -16,50 sabbia;
-16,50 – -17,00 sabbia quarzosa grossolana;
-17,00 – -17,50 sabbia quarzosa grossolana con ciottoli;
-17,50 – -18,00 verrucano;
-18,00 – -25,00 m sabbie argillose anche grossolane con clasti di quarzo inglobati molto alterati e resti organici.

Sondaggio E:

0,00 - - 2,40 m cls fratturato facente parte dello scivolo a mare sormontato da 1,5 metri di riporti antropici;
2,40 - - 7,40 m intervalli di sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose di colore bruno;
-7,40 - -12,00 m strati di sabbie medio fini con ciottoli e sabbie fini e finissime di colore grigio;
-12,00 - - 13,00 m sabbia grossolana tendente a ghiaia con clasti di quarzo;
-13,00 - - 14,60 m trovanti quarzosi ;
-14,60 - -22.00 m strato di sabbie ghiaiose intervallate a ghiaia grossolana;
-22,00 - -25,00 m sabbia argillosa.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Sondaggio F:

0,00 - - 7,30 m strati di sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose e sabbie medio/fini sormontate da 0.60 metri cls/riporti;
-7,30 - -10,50 m strati di sabbie fini e finissime grigie con ciottoli;
-10,50 - - 15,00 m strati di sabbie ghiaiose con ciottoli arrotondati di calcare e quarzo.

Sondaggio G:

0,00 - - 7,25 m strati costituiti da sabbia ghiaiosa, ghiaia grossolana e sabbie fini di colore marrone;
-7,25 - -12,30 m successioni di sabbie fini e medio fini di colore grigio con resti vegetali;
-12,30 - -14.30 m strati di sabbia grossolana e ghiaia sabbiosa con ciottoli;
-14,30 - -15,00 m argilla rossa debolmente sabbiosa inglobante clasti di quarzite.

Sondaggio H:

0,00 – - 3,00 m di cemento e riporto antropico;
-3,00 – - 7,50 m strati di sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose di colore bruno;
-5,00 – - 7,50 m strati di sabbie fini;
-7,50 – -13,50 m sabbia molto fine di colore grigio azzurro contenente clasti isolati calcarei e resti di lamellibranchi;
-13,50 – -15,60 m strato di ghiaie sabbiose;
-15,60 – -16,60 argilla sabbiosa di colore rossastro;
-16,60 – -20,00 sabbia ghiaiosa contenente trovanti quarzosi di dimensioni pluridecimetriche;
-20,00 – -25,00 sabbie argillose di colore bruno chiaro.

Sondaggio I:

0,00 - - 0,35 m pavimentazione in autobloccanti;
-0,35 - - 8,00 m strati di sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con ciottoli appiattiti, è stata rilevata la locale presenza di intervalli cementati riconducibili a beachrock;
-8,00 - - 10,00 m strati di sabbia ghiaiosa e ghiaia sabbiosa.

Sondaggio L:

0,00 - - 0,15 m pavimentazione bituminosa;
-0,15 - - 3,00 m riporti misti a sabbia ghiaiosa ;
- 3,00 - - 9,30 m sabbie ghiaiose grigio brune.

9.3 Campagna di indagini geofisiche

Scopo dell'indagine, svolta durante le fasi di progetto preliminare, è stato quello di caratterizzare l'area d'interesse dal punto di vista sismico e consentire alcune valutazioni idrogeologiche relative alla presenza del cuneo salino e all'interferenza dei previsti piani interrati con l'andamento della falda. Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves* analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della V_S (velocità di propagazione delle onde di taglio) e due stese geoelettriche.

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008 (ex DM 14/09/2005).

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_S).

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

La classificazione dei terreni è stata quindi svolta sulla base del valore della Vs_{30} (il valore *medio ponderato* della V_S nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

$$Vs30 = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

in cui Vs_i e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato.

Indagine di tipo MASW

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Wave) è una tecnica di prospezione sismica che, attraverso la registrazione della modalità di propagazione delle onde di superficie (surface wave) o onde di Rayleig nel sottosuolo permette di risalire alla velocità di propagazione delle onde di taglio S, caratteristiche del mezzo e fondamentali per determinare il parametro Vs_{30}. Questa tecnica viene spesso utilizzata in quanto meno penalizzata da ambienti rumorosi.

La prospezione sismica utilizza l'energia sismica immessa nel terreno mediante un'energizzazione (battuta di una mazza su di una piastra metallica poggiata sul terreno) che torna in superficie dopo aver percorso il sottosuolo lungo le traiettorie dei raggi rifratti. Questa tipologia di prospezione si realizza con uno stendimento sismico costituito da 12 o 24 o più geofoni allineati a distanza intergeofonica variabile che registrano le onde sismiche generate in corrispondenza di X punti di energizzazione dislocati tipicamente ad una distanza (offset) compreso fra 2 e 10 ml (nel presente caso 10 metri per la prima e seconda, e 8 metri per le ultime tre) dal primo geofono all'esterno dello stendimento ed in allineamento con i geofoni.

Ogni singolo geofono è collegato mediante un cavo bipolare che trasmette il segnale al sismografo, il segnale sismico viene così registrato, opportunamente amplificato, visualizzato sullo strumento e memorizzato per le successive elaborazioni ed interpretazioni.

La distanza intergeofonica è indicativamente rappresenta dallo spessore minimo della discontinuità rilevabile. La profondità massima di penetrazione, diversamente dalla sismica a rifrazione tradizionale, è determinata dalla relazione fra velocità di propagazione dell'onda e le sue frequenze, quindi non dipende dalla geometria dello stendimento, ma dalle caratteristiche della successione litostratigrafica del terreno investigato.

L'obiettivo della registrazione è l'individuazione del treno di onde superficiali (onde di Rayleig).

Il treno d'onda attraversando il mezzo subisce una dispersione le cui modalità sono direttamente correlate con la velocità di propagazione delle onde di taglio S.

Le caratteristiche di un'acquisizione per la tecnica MASW prevede una o più energizzazioni registrate per tempi di 1-2 sec con intervallo di campionamento di 250 ms-1ms.

Dal sismogramma, note le caratteristiche geometriche dell'acquisizione, si ottiene lo spettro delle velocità (diagramma velocità-frequenza) sul quale l'operatore individua la curva di dispersione che viene sottoposta ad un processo di inversione basato su complessi algoritmi

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

genetici che lavorano in un campo assegnato dall'operatore di DV (range di variazione della velocità) e Dp (range di variazione dello spessore di terreno a velocità "costante") che porta all'elaborazione di un modello del terreno espresso nel grafico profondità-velocità delle onde S con il relativo calcolo della Vs_{30}.

L'attendibilità e l'affidabilità del modello matematico viene espressa in termini di deviazione standard del valore di velocità delle onde S e del rispettivo spessore assegnato a ciascun strato, ed in termini di "misfit" indice di qualità del processo di elaborazione matematica.

Strumentazione

L'indagine sismica è consistita nell'esecuzione di cinque profili sismici attivi, utilizzando un sismografo sismografo PASI 16S24U predisposto con 24 geofoni verticali PASI da 4,5 Hz.

L'elaborazione dei sismogrammi acquisiti è stata effettuata mediante software WinMASW 4.5 ACADEMY.

Descrizione del profilo MASW - Risultati

I profili sismici MASW sono stati eseguiti in adiacenza alla Palazzina uffici, lungo il perimetro a valle del rilevato ferroviario, sul piazzale antistante la Palazzina Uffici e in prossimità del fabbricato Mensa, al fine di poter sfruttare al massimo la conformazione del sito senza avere interferenze di superficie parzialmente pavimentate o alterate dall'azione antropica. L'acquisizione è stata eseguita con un tempo di campionamento di 125 μs ed una durata di acquisizione su singola battuta di 1024 - 2048 ms.

Lungo l'allineamento di monte la distanza intergeofonica è stata predisposta in 5 ml per una lunghezza complessiva di 110 m ed è stata realizzata una battuta, in andata e ritorno, sullo stesso allineamento in offset di 10 metri per parte; lungo la Palazzina Uffici la distanza intergeofonica è stata predisposta in 2 ml per una lunghezza complessiva di 44 m e è stato realizzato un unico punto di energizzazione (di battuta) in offset di 8 metri. Sul piazzale prospiciente la Palazzina Uffici è stata eseguita una stesa con distanza intergeofonica predisposta in 2 ml per una lunghezza complessiva di 44 m ed è stata realizzata una battuta, sullo stesso allineamento in offset di 10 metri; l'allineamento in prossimità del'edificio Mensa è anch'essa di 44 metri con distanza intergeofonica di 2 metri e offset di 8 metri.

Lungo l'allineamento di monte, inoltre, è stato eseguito un ulteriore profilo MASW (A) con distanza intergeofonica di 5 ml per una lunghezza complessiva di 110 m le cui risultanze sono state associate ai dati delle HVSR 1.

Tutti i risultati grafici sono allegati nel report delle indagini, mentre per ogni profilo sismico e rilevazione vengono di seguito sintetizzati i risultati.

L'elaborazione delle registrazioni per il profilo posizionato lungo il rilevato ferroviario ha portato all'individuazione nei primi 30 metri di profondità di 6 discontinuità sismiche:

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Spessore (m)	V_S (m/s)	Modulo di taglio stimato (MPa)
7.5	200	86
5.0	270	162
4.0	350	279
7.0	550	669
7.0	650	925
15.0	800	1414
Semi-spazio	1000	2237

MASW 1: Modello medio individuato (Vs30 del modello medio dal p.c.: 333 m/s).

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (*MASW*) ha consentito di determinare il profilo verticale della V_S (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro V_{S30}, risultato pari a 333 m/s (considerando come riferimento il piano campagna).

L'elaborazione delle registrazioni per il profilo posizionato lungo il rilevato ferroviario, in ritorno, ha portato all'individuazione nei primi 30 metri di profondità sempre di 6 discontinuità sismiche:

Spessore (m)	V_S (m/s)	Modulo di taglio stimato (MPa)
7.5	200	86
5.0	270	162
4.0	350	279
7.0	550	669
7.0	650	933
15.0	800	1414
Semi-spazio	1000	2247

MASW 2: Modello medio individuato (Vs30 del modello medio dal p.c.: 333 m/s).

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (*MASW*) ha consentito anche qui di determinare il profilo verticale della V_S (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro V_{S30}, confermandolo pari a 333 m/s rispetto al piano campagna.

L'elaborazione delle registrazioni per il profilo sul piazzale prospiciente la Palazzina degli Uffici ha portato all'individuazione nei primi 30 metri di profondità di 5 discontinuità sismiche:

Spessore (m)	V_S (m/s)	Modulo di taglio stimato (MPa)
7.0	200	86
5.0	270	162
4.0	350	279
7.0	550	669
7.0	650	952
Semi-spazio	800	1446

MASW 3: Modello medio individuato (Vs30 del modello medio dal p.c.: 339 m/s).

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (*MASW*) ha consentito di determinare il profilo verticale della V_S (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro V_{S30}, risultato pari a 339 m/s, considerando come riferimento il piano campagna, valore leggermente superiore al precedente.

L'elaborazione delle registrazioni per il profilo lungo la Palazzina degli Uffici ha portato all'individuazione nei primi 30 metri di profondità di 5 discontinuità sismiche:

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Spessore (m)	V_S (m/s)	Modulo di taglio stimato (MPa)
6.5	200	86
6.0	270	162
4.0	350	279
7.0	550	685
7.0	650	952
Semi-spazio	800	1433

MASW 4: Modello medio individuato (Vs30 del modello medio dal p.c.: 338 m/s).

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (*MASW*) ha consentito di determinare il profilo verticale della V_S (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro V_{S30}, risultato pari a 338 m/s, considerando come riferimento il piano campagna, valore leggermente superiore al precedente.

L'elaborazione delle registrazioni per il profilo sul piazzale prospiciente la Mensa ha portato all'individuazione nei primi 30 metri di profondità di 5 discontinuità sismiche:

Spessore (m)	V_S (m/s)	Modulo di taglio stimato (MPa)
9.0	200	86
5.5	270	162
4.0	350	279
6.0	550	669
6.0	650	952
Semi-spazio	800	1433

Modello medio individuato (Vs30 del modello medio dal p.c.: 312 m/s).

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire da dati di sismica attiva (*MASW*) ha consentito di determinare il profilo verticale della V_S (e del modulo di taglio) e, di conseguenza, del parametro V_{S30}, risultato pari a 312 m/s, considerando come riferimento il piano campagna, valore leggermente superiore al precedente.

Indagini geoelettriche

La prospezione geoelettrica è un metodo di indagine geofisico che consente l'individuazione delle variazioni di conducibilità elettrica nel sottosuolo in funzione delle caratteristiche fisiche dei materiali attraversati, permettendo la definizione di unità elettrostratigrafiche e l'individuazione di strutture sepolte.

L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta una serie di picchetti collegati tra loro da cavi multicanale, tramite i quali è immessa corrente nel terreno, generando quindi un campo elettrico; simultaneamente sono registrare le variazioni di potenziali indotte. La successiva elaborazione consente di stimare la distribuzione della resistività (grandezza inversa della conducibilità elettrica) nel terreno tramite un processo matematico di regressione che utilizza algoritmi di calcolo capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Strumentazione

L'indagine geoelettrica è stata tentata utilizzando un acquisitore per geoelettrica "PASI" in grado di gestire la sequenza di misure e il cambiamento continuo degli elettrodi energizzanti e potenziometrici; è inoltre equipaggiato con software in grado di gestire tutte le operazioni di campagna. Lo strumento gestisce contemporaneamente tutti i picchetti tramite cavi multicanale, in modo che ogni elettrodo può essere utilizzato sia per immettere corrente nel terreno sia per misurare i valori di potenziale indotto.

Descrizione del profilo geoelettrico - Risultati

I profili di geoelettrica ottenuti ubicando le stese in adiacenza alla Palazzina Uffici e lungo la porzione di terreno compresa tra i capannoni e la linea Ferroviaria, uniche ubicazioni possibili a causa della presenza di vaste porzioni di terreno cementate, non hanno dato risultati interpretabili a causa della presenza di una massiccia quantità di ferro entro le platee di pavimentazione ubicate in corrispondenza di tutto il sito d'intervento ed alla vicinanza della linea Ferroviaria, anch'essa caratterizzata dalla presenza di elementi metallici nonché della condotta fognaria comunale in acciaio.

Risultanze della campagna di indagini geofisiche.

Le metodologie geofisiche utilizzate e che hanno fornito risultati interpretabili, ovvero le MASW, hanno evidenziato una omogeneità laterale della stratigrafia del sottosuolo nell'area dei Cantieri Rodriquez, e hanno permesso di caratterizzare il volume di sottosuolo interessato dall'intervento che presenta la seguenti caratteristiche:

- è presente un sismostrato sub tabulare posto a profondità maggiore di – 45.0 m dal p.c. in prossimità della porzione a monte delle aree;
- i sismo strati caratteristici dei depositi di spiaggia di origine alluvionale di copertura presentano spiccata uniformità laterale senza inversioni;
- le coperture risultano lateralmente omogenee, e, dalle risultanze della geofisica effettuata, emerge un range del valore di Vs_{30} compreso tra 312 e 339 m/sec.;
- in base alle risultanze della geofisica e dei sondaggi geognostici il suolo è inquadrabile entro la categoria C.

9.4 Prove penetrometriche DPSH

Sono state eseguite n. 05 prove penetrometriche in continuo e con l'ausilio del rivestimento la cui ubicazione è riprodotta nella precedente planimetria. Le caratteristiche dello strumento utilizzato per le prove dinamiche sono di seguito riportate.

Attrezzatura utilizzata

Per questo tipo di prove si è utilizzato un penetrometro statico-dinamico superpesante denominato TG 63/200 EML.C di fabbricazione PAGANI GEOTECHNICAL EQUIPMENT (PGE); la

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

configurazione usata è quella standard - *superpesante(DPSH) EMILIA* - le cui caratteristiche strumentali sono le seguenti:

Peso massa battente M = 63,50 kg	Angolo d'apertura punta α = 90°
Peso sistema di battuta p = 0.63 kg	Lunghezza cadauna asta La = 1,00 m
Altezza di caduta libera H = 0.75 m	Peso asta per metro Ma = 6.31 kg/m
Diametro punta conica Dp = 51.00 mm	Prof. 1^ aggiunta asta P1 = 0.40 m
Area base punta conica Ap = 20.43 cm²	Penetrazione standard δ = 0.20 m

La PGE ha inoltre calcolato il rendimento medio del dispositivo di battuta come pari al 73%. Le prove sono state spinte a *rifiuto all'avanzamento della punta* (con questo termine si indica che il maglio rimbalza ripetutamente sulla testa incudine senza produrre alcun avanzamento significativo). Nel seguito sono riportate le tabelle ed i diagrammi indicanti, per ciascuna prova, il numero di colpi *N30* per ogni infissione di 20 cm, ed anche il valore corrispondente della resistenza dinamica alla punta Rpd. Quest'ultimo valore è ottenuto con una formula empirica detta "degli olandesi" ed è un parametro caratteristico dello stato di addensamento e di consistenza del terreno che può essere utile per confrontare attrezzatura strumentale differente, per correlazioni con la resistenza alla punta del penetrometro statico, o per valutazioni speditive del valore di carico ammissibile:

$$Rpd = (M^2*H)/AP*e*(M+P)$$

dove:

M (kg) = massa battente; H (cm) = altezza di caduta; AP (cm2) = area della punta conica; e (cm) = infissione per colpo = δ (cm)/N ; P (kg) = peso totale aste

Note sull'esecuzione delle prove dinamiche

Tutte le prove si sono interrotte per il raggiungimento del rifiuto sperimentale all'avanzamento (con questo termine si intende che il maglio rimbalza sulle aste senza produrre un avanzamento significativo) ed in particolare la prova DPSH 1 è stata spinta fino alla profondità di 15.6 m dal p.c. , nella DPSH 2 il rifiuto è occorso alla profondità di circa 16.2 m dal p.c.. La DPSH 3 è stata spinta fino alla profondità di 12.4 m. La DPSH 4 è stata spinta fino alla profondità di 21,0 e la DPSH 5 il rifiuto è occorso alla profondità di circa 15,6 m dal p.c. Di tali verticali penetro metriche tre e precisamente la 1 la 3 e la 4 sono state attrezzate a piezometro, mediante la posa di una tubazione in PVC di 1" di diametro che consente il passaggio della sonda freatimetrica per la lettura del livello di falda e della relativa temperatura. In generale, è da evidenziare che tutte le prove sono risultate molto rappresentative e significative a tutte le profondità in considerazione che è stato utilizzato il rivestimento delle aste.

9.5 Monitoraggio freatimetrico.

Durante lo sviluppo del lavoro relativo al progetto preliminare è stato possibile effettuare una campagna di letture freatimetriche limitata ad alcune letture, ovvero una prima serie di letture effettuate al termine della prima fase di perforazione, una successiva, a circa un mese di distanza

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

durante, le fasi di rilevamento dei parametri relativi alle caratteristiche chimico – fisiche delle colonne d'acqua per l'individuazione del cuneo salino e della posizione della linea di interfase acqua dolce/salata ed una ultima serie in occasione della realizzazione del Sondaggio SD integrativo. La fase di monitoraggio freatimetrico è stata completata mediante la realizzazione di letture multiparametriche relative alle caratteristiche di temperatura e conducibilità dell'acqua nei piezometri; tali letture evidenziano all'interno dei piezometri realizzati nei fori di sondaggio, la presenza di acqua salmastra già prossima al piano campagna e di una linea d'interfase piuttosto netta che individua la presenza del cuneo salino all'interno dei sondaggi A e C, ubicata a 13,00 metri nell'SA metri di profondità e a 10,50 metri di profondità in SC, mentre in B, la linea di transizione è più ampia e non così ben definita. e nel sondaggio D è presente solo acqua dolce.

Nella successiva fase di lavoro, riferibile al progetto definitivo, è stata eseguita un'ulteriore campagna di rilevamento delle acque di falda estesa anche ai nuovi piezometri come evidenziato nel report delle indagini.

Dalle letture effettuate sia prima sia successivamente alle fasi di spurgo dei piezometri, è emerso che la falda freatica ha una capacità di ricarica pressoché totale essendo irrisoria la riduzione del livello di falda in seguito alle fasi di pompaggio in tutti i piezometri.

9.6 Indagini di laboratorio.

Al termine di tutte le fasi di indagine in situ svolte per il progetto preliminare e definitivo, al fine di caratterizzare i sedimenti presenti, sono stati prelevati, oltre ai campioni derivanti dalle prove SPT, campioni di terreno rimaneggiato per l'esecuzione di prove granulometriche di laboratorio, necessarie per l'individuazione precipua delle successioni di strati, per derivare le caratteristiche idrogeologiche principali e definire, nel modo migliore possibile, il comportamento dell'acquifero. Sono state inoltre condotte prove di taglio su due campioni indisturbati condotte dal D.I.C.A.T..

Le prove granulometriche sono state condotte con metodo della setacciatura in quanto nella batteria di setacci è stato inserito il vaglio 0,063 mm che consente la vagliatura anche della componente più fine nella maggior parte dei casi e per via umida su due campioni indisturbati.

Le risultanze delle indagini di laboratorio hanno permesso di determinare la granulometria dei singoli strati di terreno, e, quindi, definire al meglio la stratigrafia, mediante elaborazioni statistiche, la permeabilità degli stessi e la resistenza al taglio la coesione e le caratteristiche di plasticità.

I dati derivanti dalle setacciature sono stati plottati e si sono ottenute le curve granulometriche rappresentate in allegato nel report.

9.7 Procedure di riferimento

Tutte le indagini riportate all'interno di questa relazione sono state eseguite facendo riferimento a Norme Standard di Procedura per rendere possibile l'interpretazione delle prove da parte di tutti gli eventuali operatori. È indubbio, infatti, che l'esecuzione di un'indagine, in sito o in laboratorio, secondo un certo procedimento potrebbe condurre a risultati sostanzialmente diversi

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

se interpretata con un metodo piuttosto che un altro. Di seguito verranno pertanto indicate le procedure cui si è fatto riferimento sia per le prove svolte in sito sia per le indagini di laboratorio.

Indagini in sito.

La procedura di riferimento adottata per l'esecuzione delle prove SPT durante le perforazioni è identificata nelle "Raccomandazioni AGI", che per l'esecuzione di tali indagini prescrivono innanzitutto la pulizia del foro prima di iniziare la prova e l'accertamento dell'altezza dei materiali rifluiti che non può superare i 70 mm rispetto alla profondità raggiunta precedentemente dalla perforazione. Tutti i dispositivi e l'attrezzatura utilizzata per la perforazione presentavano le caratteristiche dimensionali e tecnologiche previste dalla procedura di riferimento "Raccomandazioni AGI". In particolare il maglio utilizzato per l'infissione del campionatore è stato del tipo Donut a sganciamento automatico. L'estrazione dei campioni, ottenuti durante le prove eseguite con scarpa tagliente, è stata eseguita con cura ed i campioni sono stati tutti classificati e ricoverati in contenitori a tenuta d'aria in modo da conservare il più possibile inalterate le caratteristiche del terreno stesso. L'interpretazione dei risultati ottenuti, in seguito alla normalizzazione del dato di prova da N_{SPT} a N_{60SPT} è stata effettuata utilizzando, le tabelle di conversione e gli abachi, nonché secondo la procedura illustrata nei seguenti testi specializzati: F. Cestari "Prove Geotecniche In Sito" 1990; J. E. Bowles "Fondazioni", 1990; R. Lancellotta "Geotecnica" 1997.

Indagini di laboratorio.

Le prove di laboratorio eseguite sui campioni disturbati prelevati direttamente dalle cassette catalogatrici, dai campioni prelevati nel corso delle prove SPT eseguite con campionatore Raymond e da ulteriori campioni prelevati in modo da completare la stratigrafia, hanno consentito di classificare i terreni secondo le loro principali caratteristiche fisiche; in particolare l'esecuzione delle prove granulometriche ha permesso di confrontare tra loro i vari intervalli di terreno e di capire quali potevano, eventualmente, presentare le stesse caratteristiche meccaniche. La Procedura di riferimento, per le prove di laboratorio è la Norma ASTM D421 ampiamente descritte nel testo di P. L. Raviolo "Il Laboratorio Geotecnico", 1993.

9.8 Caratteristiche geotecniche e geomeccaniche di massima dei terreni e delle rocce.

In base alle indagini geognostiche e geofisiche eseguite e del rilievo effettuato nei dintorni del sito, i materiali interessanti il sedime dell'intervento possono essere suddivisi come segue:

9.8.1 Modello del sottosuolo.

In base ai risultati delle prove geotecniche e geofisiche eseguite e del rilievo effettuato nei dintorni del sito, il terreno di sedime può essere caratterizzato come segue, dall'alto verso il basso:

- Terreno vegetale/Riporti antropici da 0.0 a -1.0 m dal p.c
- Sabbie ghiaiose I da - 1.0 a -3.0 m dal p.c.
- Ghiaie sabbiose da -3.0 a -5.0 m dal p.c.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

- Sabbie medio fini/ fini da -5.0 a -12.0 m dal p.c.
- Sabbie da -12.0 a -17.0 m dal p.c.
- Sabbie ghiaiose II da -17.0 a -23.0 m dal p.c.
- Sabbie ghiaiose/ciottolose da -23.0 a -30.0 dal p.c.
- Bedrock I da – 30.0 a -41.0 m dal p.c.
- Bedrock II da – 41.0 a -51.0 m dal p.c.
- Bedrock III da – 51.0 dal p.c.

La caratterizzazione dei terreni in relazione alla stratigrafia è riportata di seguito.

9.8.2 Caratteristiche geotecniche medie dei terreni e geomeccaniche medie delle rocce.

Riporti antropici.

Tale strato avente potenza metrica è caratterizzato da platee di cemento e pavimentazioni e solo localmente, presso il muro di separazione dalla sede ferroviaria, da terreno vegetale. In considerazione delea particolari condizioni di elevata antropizzazione tale "strato" non è stato caratterizzato dal punto di vista geotecnico in quanti verrà asportato in fase esecutiva.

Sabbie ghiaiose I tra 1 e 3 metri dal p.c..

Tale strato è costituito da sabbie ghiaiose per le quali possono essere assunti i seguenti valori geotecnici medi.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m^3	19
Angolo di attrito interno medio	ø	°	30
Angolo di attrito interno medio a volume costante[1]	øcv	°	25
Coesione efficace media	c'	KPa	0
Densità relativa media	Dr	%	75
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.49
Modulo edometrico medio	Ed	MPa	15
Modulo Young medio	Es	MPa	30
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	175

Ghiaie sabbiose tra 3 e 5 m dal p.c..

Tale strato è costituito da ghiaie sabbiose per le quali possono essere assunti i seguenti valori geotecnici.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m^3	19
Angolo di attrito interno medio	ø	°	33
Angolo di attrito interno medio a volume costante[2]	øcv	°	26
Coesione efficace media	c'	KPa	0
Densità relativa media	Dr	%	85
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.49
Modulo edometrico medio	Ed	MPa	30
Modulo Young medio	Es	MPa	45
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	175

[1] ϕ_{cv}=42-17R con R variabile tra 0,5 e 1 (Santamarina and Cho, 2004)
[2] ϕ_{cv}=42-17R con R variabile tra 0,5 e 1 (Santamarina and Cho, 2004)

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Sabbie medio fini/fini tra 5 e 12 m dal p.c..

Tale strato è costituito da sabbie medio fini e fini per le quali possono essere assunti i seguenti valori geotecnici.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m³	19
Densità delle particelle solide media	D	Kg/m³	2475
Contenuto d'acqua		%	22.85
Limite liquido	LL	%	30
Limite plastico	PL	%	Non plastico
Indice plastico		%	Non plastico
Angolo di attrito interno massimo	ø	°	47
Angolo di attrito interno medio	ø	°	30
Angolo di attrito interno medio a volume costante[3]	$ø_{cv}$	°	25
Coesione massima	c	KPa	3.4
Coesione efficace media	c'	KPa	0
Densità relativa media	Dr	%	45
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.49
Modulo edometrico medio	Ed	MPa	14
Modulo Young medio	Es	MPa	28
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	250

Sabbie tra 12 e 17 m dal p.c..

Tale strato è costituito da sabbie per le quali possono essere assunti i seguenti valori geotecnici.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m³	19
Angolo di attrito interno medio	ø	°	31
Angolo di attrito interno medio a volume costante[4]	$ø_{cv}$	°	25
Coesione efficace media	c'	KPa	0
Densità relativa media	Dr	%	60
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.49
Modulo edometrico medio	Ed	MPa	30
Modulo Young medio	Es	MPa	45
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	350

Sabbie ghiaiose II tra 17 e 23 m dal p.c..

Tale strato è costituito da sabbie ghiaiose per le quali possono essere assunti i seguenti valori geotecnici.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m³	19
Angolo di attrito interno medio	ø	°	31
Angolo di attrito interno medio a volume costante[5]	$ø_{cv}$	°	25
Coesione efficace media	c'	KPa	0
Densità relativa media	Dr	%	60
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.45

[3] Φ_{cv}=42-17R con R variabile tra 0,5 e 1 (Santamarina and Cho, 2004)
[4] Φ_{cv}=42-17R con R variabile tra 0,5 e 1 (Santamarina and Cho, 2004)
[5] Φ_{cv}=42-17R con R variabile tra 0,5 e 1 (Santamarina and Cho, 2004)

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Modulo edometrico medio	Ed	MPa	30
Modulo Young medio	Es	MPa	45
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	550

Sabbie ghiaiose ciottolose tra 23 e 30 m dal p.c..

Tale strato è costituito da sabbie ghiaiose per le quali possono essere assunti i seguenti valori geotecnici.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m^3	21
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.40
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	650

Il substrato roccioso, individuato per mezzo della geofisica, è suddivisibile in tre orizzonti distinti e come di seguito descritti.

Bedrock I.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m^3	22
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.35
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	850

Bedrock II.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m^3	23
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.30
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	1200

Bedrock III.

Parametri	Simbolo	Unità	Valori medi
Peso di volume naturale medio	γ	KN/m^3	24
Coefficiente di Poisson medio	μ	---	0.25
Velocità delle onde S media	Vs	m/sec	2200

10. MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

In base alle indagini eseguite, ai rilievi esperiti nei dintorni del sito, alle osservazioni effettuate nell'area e alle indicazioni della cartografia tecnica si può confermare il seguente modello geologico per il sottosuolo del sito:

"substrato costituito da successioni sedimentarie di tipo sabbioso, sabbioso-ghiaiose con locali interstrati di sedimenti fini e, puntualmente, finissimi, per spessori sempre superiori a 20,00 metri. Il materasso alluvionale presenta caratteristiche di spiccata omogeneità laterale sebbene siano presenti localizzate lenti più fini".

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

11. MODELLO IDROGEOLOGICO DEL SITO

In base alle ricerche che fin qui è stato possibile condurre, ai rilievi esperiti relativamente all'area d'intervento, alle osservazioni effettuate si può confermare il seguente modello idrogeologico per il sottosuolo del sito:

"substrato costituito da successioni di strati con capacità di drenaggio prevalentemente povera e solo localmente buona, con locali interstrati di sedimenti fini e, puntualmente, finissimi, che riducono notevolmente la permeabilità locale. Considerando la spiccata omogeneità laterale del materasso alluvionale presente, nel complesso la permeabilità dell'acquifero risulta da media a povera; l'acquifero è, inoltre, interessato dalla presenza, confermata anche in questa fase di indagine integrativa, dell'interfase acqua dolce/salata a circa 10 – 13 metri dal piano campagna nella porzione N della zona di intervento, qui rilevata con bassissima pendenza e tipica della zona di piede del cuneo salino".

I nuovi dati freatimetrici e le interferenze con le canalizzazioni delle Ferrovie saranno esposti in un apposito elaborato al termine della campagna di letture idrogeologiche al termine del periodo considerato di monitoraggio idrogeologico.

11.1 Modellazione idrogeologica

Le summenzionate considerazioni derivano dallo studio idrogeologico specialistico eseguito per l'area in oggetto[6], nel quale è stata eseguita una modellazione idrogeologica con l'ausilio del software VisualMODFLOW 2010.1 della Schlumberger Water Service (SWS) che utilizza come base il software MODFLOW messo a punto dall'USGS negli anni '70: la modellazione viene effettuata alle differenze finite, simulando il flusso di acque sotterranee nelle tre dimensioni spaziali (X,Y,Z); tale modello incorpora i modelli bi e tridimensionali descritti da Trescott (1975), Trescott e Larson (1976), Trescott, Pinder and Larson (1976) e ampiamente utilizzati dall' USGS.

Il modello offre la possibilità di simulare:

- le diverse caratteristiche del sistema idrogeologico oggetto di studio quali ad esempio: flusso da fiumi, flusso da corpi idrici superficiali a livello costante (mari, laghi ecc.), ecc.
- flussi associati con agenti artificiali e naturali esterni quali pozzi, ricarica areale, evapotraspirazione, drenaggi.
- differenti tipi di acquifero: libero, confinato, semiconfinato.
- anisotropia nelle caratteristiche idrauliche dell'acquifero.

Implementazione generale ed input

L'implementazione di un modello consiste nel:

[6] Il contenuto del paragrafo contiene i dati fino al Progetto Preliminare, non essendo disponibili, per il momento, ulteriori sufficienti dati per l'elaborazione. Quest'ultima, con le risultanze della campagna di monitoraggio del Progetto Definitivo, sarà prodotta al termine del monitoraggio stesso.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

- definire i limiti del sistema in studio (condizioni al contorno);
- discretizzare lo spazio di modellazione;
- definire tutte le variabili interne al sistema idrogeologico: proprietà idrauliche di ciascuna cella, caratteristiche di fiumi, laghi o corpi idrici in generale presenti all'interno dell'area da modellizzare;
- definire gli stress esterni al sistema: emungimenti , drenaggi, ricariche ecc.;
- definire gli strumenti (metodi matematici, parametri di calcolo, procedure informatiche) da impiegarsi per calcolare le simulazioni.

Proprietà delle celle

Ogni cella del modello non già definita come cella inattiva o cella a carico costante è stata caratterizzata da un set di proprietà idrauliche:

- ***Conduttività (Kx,Ky,Kz):*** i valori delle conduttività (cm/sec) sono sempre stati considerati uguali nelle direzioni X,Y mentre è stata assegnata una anisotropia per la direzione Z;
- ***Coefficiente di immagazzinamento specifico per acquiferi confinati (Ss):*** per un acquifero saturato è definito come il volume di acqua che l'unità di volume di acquifero rilascia per una variazione unitaria del gradiente idraulico;
- ***Coefficiente di immagazzinamento specifico per acquiferi non confinati (Sy) :*** volume di acqua che un acquifero non confinato rilascia dall'immagazzinato per unità di superficie per unità di gradiente idraulico;
- ***Porosità (Por):*** è il parametro che controlla, nelle simulazioni, le velocità medie calcolate delle acque sotterranee.

Proprietà	Kx=Ky (cm/sec)	Kz (cm/sec)	Ss (m^{-1})	Sy (-)	Por. (-)	Por. eff. (-)
1	1	1	1E-9	0.99	0.99	0.99
2	1.9E-2	1.9E-3	5E-7	0.28	0.32	0.28
3	5E-3	5E-4	3.2E-5	0.28	0.37	0.28
4	1.9E-3	1.9E-4	5E-6	0.31	0.35	0.31
5	2.2E-3	2.2E-4	0.5	0.1	0.5	0.1
6	5E-6	5E-7	3.2E-5	0.23	0.29	0.23
7	9E-3	9E-4	0.5	0.15	0.5	0.15
8	9E-3	9E-4	0.5	0.15	0.5	0.15
9	9E-3	9E-4	0.5	0.15	0.5	0.15
10	9E-3	9E-4	0.5	0.15	0.5	0.15

Valori delle proprietà assegnate

I valori assegnati alle differenti proprietà derivano da prove in sito nonchè dall'analisi delle numerose granulometrie effettuate per la caratterizzazione dei materiali costituenti l'acquifero[7].

La proprietà 1 attribuita alle celle che rappresentano il mare, celle a carico idraulico costante, è stata ''costruita'' per simulare (compatibilmente con le limitazioni degli input imposte da VisualModflow) la capacità di ricezione e cessione idrica illimitate. Le proprietà da 2 a 10 sono state ricostruite dalle prove di permeabilità e dall'analisi granulometrica, per classi di litotipi ragionevolmente omogenei sulla base delle stratigrafie disponibili (2 - sabbie ghiaiose e sabbie; 3 -

[7] La conducibità idraulica è stata ricavata dall'analisi statistica sui diversi campioni come da tabulati allegati.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

sabbie medio fini; 4 - sabbie da grossolane a medio fini; 5 – ghiaie sabbiose e sabbie; 6 – argille sabbiose; 7-10 – sabbie argillose).

Ricarica ed evapotraspirazione.

Sebbene MODFLOW possa modellizzare una ricarica areale dovuta alle precipitazioni, che percola attraverso gli strati fino alle acque sotterranee, i dati disponibili ad effettuare tale procedura non sono risultati sufficienti a causa delle particolari caratteristiche geologiche del versante ubicato immediatamente a monte dei Cantieri Rodriquez che, risultando pseudo carsico, non permette di modellizzare un corretto apporto delle acque superficiali alla falda in quanto, le stesse, si muovono attraverso un reticolo di fratture che possono anche deviarle a notevole distanza dalla zona di infiltrazione. Al fine di permettere una corretta modellizzazione della ricarica è stato pertanto imposta una linea a carico costante coincidente con la massima escursione raggiunta dalla falda nella zona a monte dei cantieri navali.

Per quanto concerne l'evapotraspirazione, invece, in considerazione del fatto che la quasi totalità dell'area è impermeabilizzata, è stata considerata pari a zero

Pozzi per la calibrazione

VMODFLOW è dotato di un modulo specifico per consentire la calibrazione del modello implementato. La funzione calibrazione memorizza, per ogni periodo di modellizzazione, i valori di carico idraulico (Hc) calcolati per la cella ove sono ubicati i filtri di ciascun ''pozzo di osservazione'' (nel nostro caso piezometri). Ciò ha permesso di paragonare i valori di carico idraulico calcolati con quelli osservati (Ho) e valutare statisticamente la rispondenza del modello alla realtà. Per la modellizzazione in oggetto sono stati inseriti quei piezometri misurati durante le diverse campagne piezometriche ed in particolare i dati della campagna piezometrica di novembre sono stati utilizzati per la calibrazione. Di seguito sono riportati i dati rilevati nel corso della campagna dell'aprile 2011 che si discostano di poco da quanto precedentemente rilevato: tali variazioni sono riconducibili ad un diverso regime pluviometrico.

Piezometro	X	Y	Z	Misura m slm	Misura m dal p.c.
SA	1442425	4888477	3.00	1.02	-1.98
SB	1442347	4888370	2.64	0.62	-2.02
SC	1442376	4888331	2.66	0.43	-2.23
SD	1442279	4888271	2.66	0.46	-2.20
DPSH1	1442457	4888501	3.10	0.75	-2.35
DPSH3	1442384	4888415	2.66	0.44	-2.22
DPSH4	1442427	4888370	2.72	0.42	-2.30

Risultati campagna piezometrica del aprile 2011

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Il grafico più rappresentativo ottenuto con il programma, impiegato per calibrare il modello, è quello che confronta i valori delle altezze piezometriche misurate e calcolate dal modello nei 5 piezometri del novembre 2010 ed è di seguito riportato.

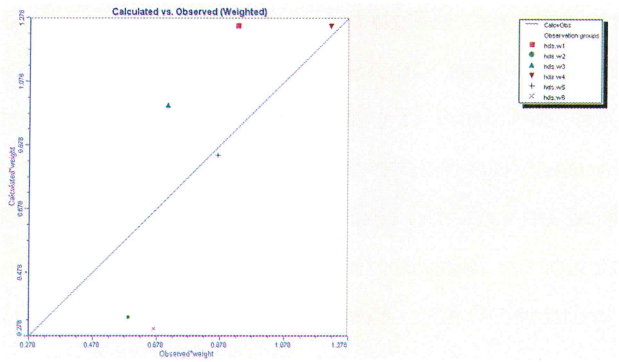


Figura 11.1.: diagramma di calibrazione del modello utilizzato.

Per avere una perfetta corrispondenza dei valori tutti i punti rappresentati dovrebbero giacere sulla retta a 45 gradi. Nel caso in esame ciò non avviene perfettamente e pertanto si è cercato di migliorare la calibrazione variando i parametri di conducibilità idraulica, ma i risultati ottenuti hanno confermato valori dello stesso ordine di grandezza di quelli assegnati come input al modello. Una delle cause di scostamento dei valori misurati da quelli calcolati può essere individuata nelle approssimazioni che sono state effettuate per modellizzare l'acquifero.

11.2 Cuneo salino

I piezometri SA, SB, SC e SD sono stati sottoposti ad una campagna di monitoraggio con l'ausilio di una sonda multiparametrica tale da permettere la rilevazione delle variazioni di salinità[8], tali operazioni hanno evidenziato che due piezometri su tre, ed in particolare i piezometri SA ed SB, sono interessati dall'interfase acqua dolce s.l.[9]/ acqua salata mentre il piezometro SB è interessato quasi interamente da acqua salmastra e il piezometro SD è interessato quasi completamente da acqua dolce/salmastra.

In particolare è evidente come in parte della zona d'intervento la netta interfase acqua dolce l.s./acqua salata sia ubicata ad una profondità variabile tra -10 e -13 metri dal piano di campagna con limitate zone di mescolamento (interfaccia rispondente alle formulazioni di Ghyben-Herzberg) e che risulti caratterizzata da un basso angolo, inferiore ai 5° (fatto che permette di valutare la reale ampiezza della zona di mescolamento sebbene i piezometri siano obliqui rispetto all'interfaccia).

L'interfaccia è sostituita da una spessa zona di acqua salmastra che si estende sotto e sopra alla linea teorica di Ghyben-Herzberg. Per quanto riguarda il piezometro SD posto a distanza dal

[8] Tale operazione è stata condotta dopo circa 15 giorni dalle attività di perforazione e spurgo dei piezometri al fine di permettere un corretto "riposo" dei piezometri e stratificazione delle acque in base alla diversa densità. Al termine delle operazioni di monitoraggio i piezometri sono stati nuovamente spurgati allo scopo di prepararli a nuove ulteriori rilevazioni.
[9] Viene chiamata acqua dolce in senso lato in quanto già dall'interfaccia con il non saturo presenta caratteristiche di salinità tali da poterla considerare salmastra.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

massiccio carsico, è più probabile la presenza di un paleo alveo essendo rilevabile a pochi metri di distanza, la presenza di un canale interrato che risulterebbe essere un rio canalizzato a suo tempo addirittura delle Ferrovie dello Stato durante l'esecuzione della linea ferrata.

Le summenzionate peculiarità riscontrate nel corso dell'indagine non permettono una corretta modellizzazione delle concentrazioni presenti in sito per mezzo di un modello matematico tipo SEAWAT 4 in quanto gli effettivi apporti di acqua dolce dalle formazioni litologiche ubicate immediatamente a monte del sito non sono correttamente quantificabili.

Le risultanze della campagna di monitoraggio, eseguita nel mese di aprile 2011 sono di riportate nel report delle indagini.

12. MODELLAZIONE SISMICA ED EFFETTI DI SITO

L'areale sotteso dalla ricerca fin qui effettuata trova limitati riscontri circa la sismicità locale[10]: addirittura il Comune di Borgio Verezzi non risulta neppure censito nei data base. Pertanto è stata qui analizzata, oltre alla situazione microsismica storica di Pietra Ligure, anche quella delle limitrofe Finale Ligure e Loano.

Pietra Ligure:

- Evento del 1887 (intensità al sito I_S = 7, magnitudo momento Mw = 6.29)
- Evento del 1972 (intensità al sito I_S = 6-7, magnitudo momento Mw = 4.76)
- Evento del 1972 (intensità al sito I_S = 4, magnitudo momento Mw = 4.95).

Analogamente, anche se con alcuni eventi segnalati in più, la limitrofa Finale Ligure:

- Evento del 1828 (intensità al sito I_S = F, magnitudo momento Mw = 5.67)
- Evento del 1887 (intensità al sito I_S = 8, magnitudo momento Mw = 6.29)
- Evento del 1896 (intensità al sito I_S = 4, magnitudo momento Mw = 4.90)
- Evento del 1972 (intensità al sito I_S = 4, magnitudo momento Mw = 4.95)
- Evento del 1984 (intensità al sito I_S = NF, magnitudo momento Mw = 5.68)
- Evento del 1989 (intensità al sito I_S = 3, magnitudo momento Mw = 4.63)

Anche Loano presenta solo alcuni eventi:

- Evento del 1612 (intensità al sito Is = 6/7, magnitudo monemto Mw = 5.26)
- Evento del 1886 (intensità al sito I_S = 3, magnitudo momento Mw = 5.27)
- Evento del 1887 (intensità al sito I_S = 7, magnitudo momento Mw = 6.29)
- Evento del 1906 (intensità al sito I_S = 4, magnitudo momento Mw = 4.56)
- Evento del 1989 (intensità al sito I_S = 3-4, magnitudo momento Mw = 4.63)

[10] Fonte INGV – DBMI04

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

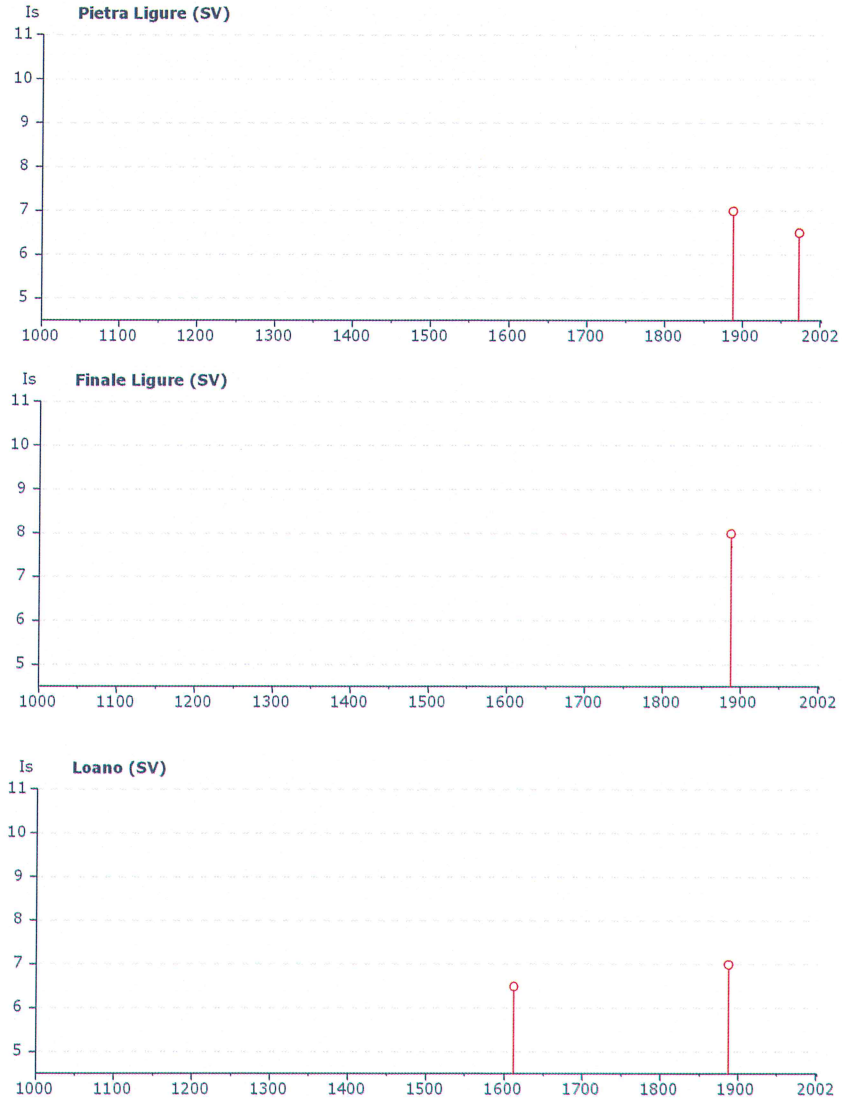


Figura 9.1: sismicità storica di Pietra Ligure, Finale Ligure e Loano

Il principale terremoto storico verificatosi in quest'area di ponente ligure è pertanto rappresentato dall'evento del 23 Febbraio 1887 (M_w=6.4, catalogo parametrico NT4.1) la cui ubicazione epicentrale è ubicata nella Liguria Occidentale. Altri eventi di notevole importanza risultano essere il terremoto della Valle dello Staffora del 1828 (M_w=5.67), e quello con epicentro in Gubbio/Valfabbrica con con M_w=5.68 e quello con epicentro nel Mar Ligure del 1989 con M_w=4.83 e quello del Passo della Cisa con Mw = 4.95.

La pericolosità sismica del territorio in esame, si evince dall'esame di quella nazionale riportata nella seguente mappa:

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

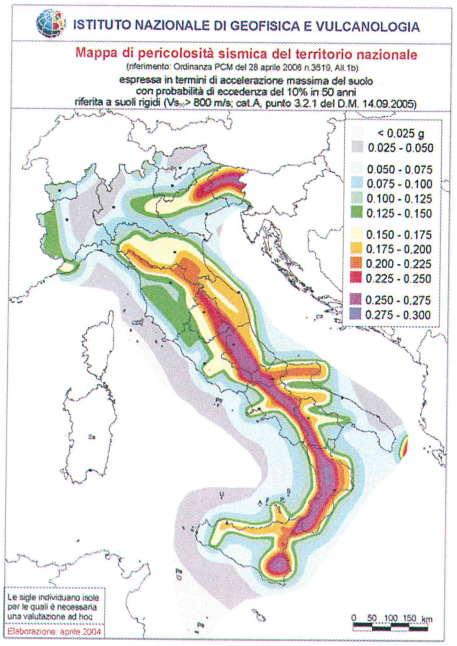


Figura 9.2: Mappa di pericolosità sismica MPS04

Inoltre, il sito in esame ricade all'interno di un comune con classificazione di Zona sismica 3 nella zonizzazione proposta dalla Regione Liguria come di seguito rappresentato.

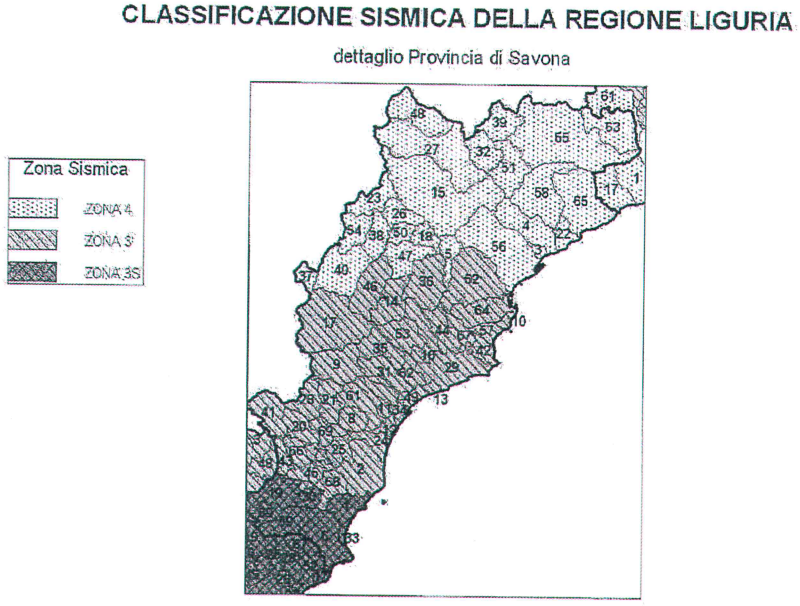


Figura 9.3: Cartografia Regionale della Liguria

Il basso grado di sismicità attesa nella zona di Pietra Ligure è dato dalla sostanziale assenza di strutture sismogenetiche attive come è visibile nella seguente rappresentazione.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

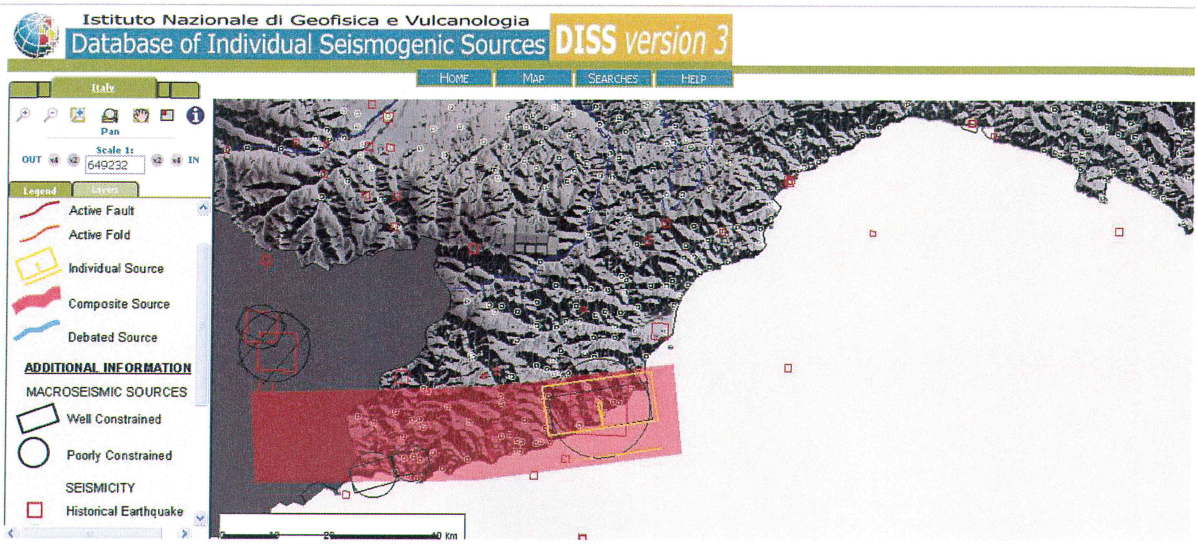


Figura 9.4: Schermata del Database DISS dell'INGV.

Il presente lavoro è altresì finalizzato alla caratterizzazione del modello sismico del sito in relazione al progetto, alle tipologie di intervento ed alle peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale di riferimento ed ai parametri sismici specifici.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione secondo quanto riportato nelle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008 e relativa circolare esplicativa del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti "Circolare 2 febbraio 2009 n° 617".

Azione sismica

Con l'entrata in vigore delle summenzionate NTC la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio legato al sito di costruzione e le azioni simiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, "periodo di riferimento", espresso in anni e denominato $\mathbf{V_R}$, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento del periodo di riferimento" è denominata $\mathbf{P_{VR}}$.

La pericolosità sismica è definita in termini di:

- $\mathbf{a_g}$ accelerazione orizzontale massima al sito;
- $\mathbf{F_0}$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- $\mathbf{T^*c}$ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale.

Nelle NTC la stima della pericolosità sismica si basa su una griglia di 10.751 punti ove vien fornita la terna di valori a_g, F_0 e T^*c per nove distinti periodi e tale calcolo viene determinato via software conosciute le coordinate geografiche in gradi decimali.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

VITA NOMINALE DELL'OPERA STRUTTURALE.

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è stata destinata e per le diverse opere è riporta nella seguente Tabella 2.4.I tratta dalle NTC.

Tabella 2.4.I – *Vita nominale V_N per diverse tipologie di struttura nei riguardi della durabilità*

TIPOLOGIA DI STRUTTURA	Vita Nominale V_N (in anni)
Strutture provvisorie – Strutture in fase costruttiva	10
Strutture di opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
Strutture di grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Sulla base dei dati di progetto la V_N del nostro caso è definibile come ≥ 50 anni

CLASSI D'USO.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono definite in classi d'uso come di seguito definite.

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Sulla base dei contenuti sopra richiamati il progetto in parola ricade in una tipologia di Classe d'uso III.

PERIODO DI RIFERIMENTO.

Le azioni simiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di osservazione V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U:

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

$V_R = V_N * C_U$

dove il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe, come mostrato nella seguente Tabella 2.4.II delle NTC.

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso C_U*

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

In particolare i valori attribuiti a VR al variare di VN e CU sono riportati nella seguente tabella C.8.1.

Tabella C8.1 Periodo di riferimento dell'azione sismica $V_R = V_N C_U$ (anni)

	Classe d'uso →	I	II	III	IV
	Coeff. C_U →	0,70	1,00	1,50	2,00
TIPI DI COSTRUZIONE	V_N	V_R			
Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	10	35	35	35	35
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	50	35	50	75	100
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	100	70	100	150	200

Nel caso in esame l'interpolazione dei dati consente di definire V_R= 75 anni

CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO.

Al fine di pervenire ad una corretta modellazione simica è necessario tenere conto sia delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera sia delle condizioni topografiche poiché entrambi i fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale: tali modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza sono il risultato della risposta sismica locale.

In particolare si definiscono:

- **effetti stratigrafici** – quelli legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra il substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;
- **effetti topografici** – quelli legati alla configurazione topografica del piano di campagna.

Gli effetti della risposta sismica locale vengono valutati con metodi semplificati e viene attribuito al sito la pertinente categoria di sottosuolo come definita nella seguenti Tabelle 3.2.II e 3.2.III e ad una delle categorie topografiche tratte dalla seguente Tabella 3.2.VI entrambe riportate nelle NTC. Dove le categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

prevalentemente bidimensionali quali creste e dorsali allungate e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore a 30 metri.

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – *Categorie aggiuntive di sottosuolo.*

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

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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

In particolare per il caso in esame il substrato geologico locale è caratterizzato da sedimenti alluvionali con tessitura variabile e con granulometria non necessariamente crescente con la profondità per uno spessore ipotetico superiore a 30 metri con substrato roccioso profondo.

Sulla base di tali dati si può inserire il sottosuolo di fondazione nella **categoria C** " *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati e a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 metri*, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m /s, (ovvero 15<$Nspt_{30}$<50 nei terreni a grana grossolana e cu_{30} nei terreni a grana fine)".

Sulla base dei dati morfologici del sito si può inserire la superficie topografica nella **categoria T1** *"Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i≤15°"*.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI.

La categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta; specificatamente l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente $S=S_S*S_T$ dove:

S_S = coefficiente di amplificazione stratigrafica (vedi Tabella 3.2.V – NTC)

S_T = coefficiente amplificazione topografica (vedi Tabella 3.2.VI NCT)

Per le varie categorie di sottosuolo i coefficienti S_S e C_C possono essere calcolati in funzione dei valori F_0 e T*c relativi al sottosuolo di categoria B, mediante le espressioni fornite nella Tabella 3.2.V, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi. Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati in tabella 3.2.VI in funzione delle categorie topografiche precedente mente definite in relazione all'ubicazione dell'intervento.

Tabella 3.2.V – *Espressioni di S_S e di C_C*

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1.00	1.00
B	$1.00 \le 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.20$	$1.10 \cdot (T_C^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \le 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.50$	$1.05 \cdot (T_C^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \le 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.80 \cdot$	$1.25 \cdot (T_C^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \le 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1.60$	$1.15 \cdot (T_C^*)^{-0.40}$

Tabella 3.2.VI – *Valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1.0
T2	In corrispondenza del bordo superiore	1.0÷1.2
T3	In prossimità della cresta	1.0÷1.2
T4	In prossimità della cresta	1.2÷1.4

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI.

Il calcolo dei parametri sismici si basa sui dati generali di cui ai precedenti paragrafi e utilizza il software di calcolo gratuito ed online messo a disposizione dalla società GEOSTRU. Di seguito si riportano i tabulati finali di calcolo, nei quali sono contenuti i valori caratteristici **a_g**, **F_0** e **T*c** nonché i valori dei coefficienti **K_h**, **K_v**, **A_{max}** e **Beta** per l'area di sedime.

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii/ fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 44,147052 [°] - Le coordinate geografiche espresse sono in ED50
longitudine: 8,280777 [°] - Le coordinate geografiche espresse sono in ED50
Classe d'uso: III. : Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Vita nominale: 50 [anni]

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	17796	44,169330	8,261319	2923,3
Sito 2	17797	44,172390	8,330857	4888,5
Sito 3	18019	44,122490	8,335099	5123,8
Sito 4	18018	44,119430	8,265644	3300,3

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75 anni
Coefficiente cu: 1,5

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	a_g [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	45	0,028	2,528	0,187
Danno (SLD)	63	75	0,037	2,544	0,215
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,113	2,486	0,296
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,154	2,500	0,309

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	a_{max} [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,830	1,000	0,008	0,004	0,411	0,200
SLD	1,500	1,740	1,000	0,011	0,006	0,546	0,200
SLV	1,500	1,570	1,000	0,041	0,020	1,667	0,240
SLC	1,470	1,550	1,000	0,054	0,027	2,217	0,240

Tipo di elaborazione: opere di sostegno.

Sito in esame.
latitudine: 44,147052 [°] - Le coordinate geografiche espresse sono in ED50
longitudine: 8,280777 [°] - Le coordinate geografiche espresse sono in ED50
Classe d'uso: III. : Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Vita nominale: 50 [anni]

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	17796	44,169330	8,261319	2923,3
Sito 2	17797	44,172390	8,330857	4888,5
Sito 3	18019	44,122490	8,335099	5123,8
Sito 4	18018	44,119430	8,265644	3300,3

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75 anni
Coefficiente cu: 1,5

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	a_g [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	45	0,028	2,528	0,187
Danno (SLD)	63	75	0,037	2,544	0,215
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,113	2,486	0,296
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,154	2,500	0,309

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	a_{max} [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,830	1,000	0,008	0,004	0,411	0,180
SLD	1,500	1,740	1,000	0,010	0,005	0,546	0,180
SLV	1,500	1,570	1,000	0,041	0,020	1,667	0,240
SLC	1,470	1,550	1,000	0,054	0,027	2,217	0,240

Tipo di elaborazione: opere di sostegno – muro rigido.

Sito in esame.
latitudine: 44,147052 [°] - Le coordinate geografiche espresse sono in ED50
longitudine: 8,280777 [°] - Le coordinate geografiche espresse sono in ED50
Classe d'uso: III. : Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Vita nominale: 50 [anni]

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	17796	44,169330	8,261319	2923,3
Sito 2	17797	44,172390	8,330857	4888,5
Sito 3	18019	44,122490	8,335099	5123,8
Sito 4	18018	44,119430	8,265644	3300,3

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75 anni
Coefficiente cu: 1,5

	Prob. Superamento [%]	Tr [anni]	a_g [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	45	0,028	2,528	0,187
Danno (SLD)	63	75	0,037	2,544	0,215
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,113	2,486	0,296
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,154	2,500	0,309

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	a_{max} [m/s²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,830	1,000	0,042	0,021	0,411	1,000
SLD	1,500	1,740	1,000	0,056	0,028	0,546	1,000
SLV	1,500	1,570	1,000	0,170	0,085	1,667	1,000
SLC	1,470	1,550	1,000	0,226	0,113	2,217	1,000

13 SINTESI DEI DATI PER L'INQUADRAMENTO DEI PROBLEMI GEOTECNICI

Si elenca di seguito tutto quanto può essere un utile riferimento decisionale per il progettista:

- **Rischio idrogeologico:**
  - Rischio frana attuale: assente
  - Rischio frana potenziale: assente
  - Rischio di esondazione: assente
  - Rischio di erosione concentrata o accelerata attuale: non presente
  - Rischio di erosione concentrata o accelerata potenziale: improbabile
  - Rischio di crollo massi: assente
  - Rischio di crollo massi potenziale: assente
- **Rischio sismico: medio, con un sisma "storico" con Mw = 6.29.**
- **Rischio cavità: assente**

Il substrato è qui costituito di una successione sedimentaria che si estende a profondità maggiore della possibilità di prospezione fin qui utilizzata, e con un valore di $V_{s30} \approx 330$m/sec. Dall'indagine geofisica emerge alla profondità di circa 45 m una velocità $V_{s30} \geq 800$m/sec che, tuttavia, è difficile attribuire ad un substrato roccioso. La morfologia è prevalentemente pianeggiante. Il materiale di risulta si può prestare alla realizzazione degli interventi di riempimento a mare, ma questi dovranno essere eseguite ad arte.

14. ANALISI DEI VINCOLI

Il terreno oggetto d'intervento non risulta gravato dal vincolo per scopi idrogeologici ex. L.R. n° 4/99 e s.m.i. o da altri vincoli ambientali quali Zone Z.P.S., aree S.I.C. e Aree Carsiche.

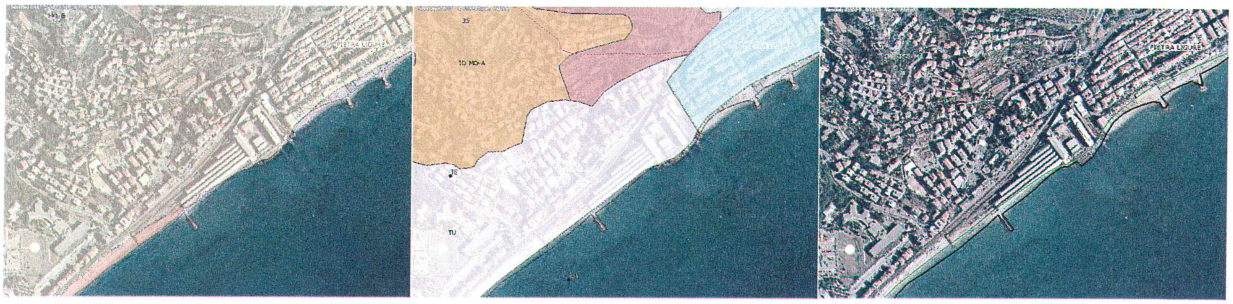


Figura 11.1: Rappresentazione del limite del Vincolo Idrogeologico – Fonte GeoPortale Provincia di Savona

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Relativamente ai contenuti dei principali elementi di pianificazione territoriale invece:

- **Piano Territoriale di Coordinamento Paesistico**: l'intervento in esame ricade nelle seguenti perimetrazioni:
  1. Assetto Geomorfologico: MO-B Modificabilità di Tipo B
  2. Assetto Insediativo: Tessuto Urbano
  3. Assetto Vegetazionale: COL-ISS-MA Colture agricole – impianti sparsi in serre – regime normativo di mantenimento.



MO-B **TU** **COL-ISS-MA**

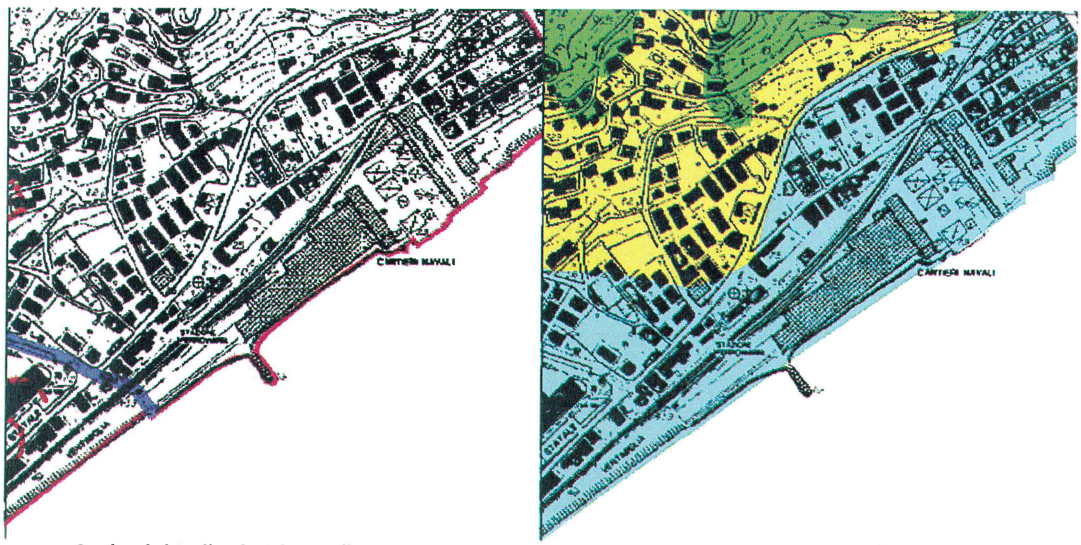
Figura 11.2: Estratti PTCP - Fonte sportello cartografico Regione Liguria

- **Piano di Bacino per la Tutela dal Rischio Idrogeologico del Torrente Nimbalto.**

La zona d'indagine risulta soggetta alle Norme di Attuazione relative al Piano di Bacino stralcio per la Tutela dal Rischio Idrogeologico del Torrente Nimbalto redatto dalla Provincia di Savona. Nell'ambito di quest'ultimo strumento di pianificazione l'intervento ricade nelle seguenti perimetrazioni:

- per la Carta del Reticolo Idrografico al di fuori della fascia di pertinenza di corsi d'acqua;
- per la Carta di Suscettività al Dissesto entro le aree a "suscettività al dissesto molto bassa";
- per la Carta delle Fasce di Inondabilità al di fuori di qualsiasi perimetrazione;
- per la Carta degli Interventi al di fuori qualsiasi zona soggetta a previsione di intervento;

di seguito rappresentate.



Carta del Reticolo Idrografico **Carta della Suscettività al Dissesto**

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it



Carta delle fasce Inondabili

Carta degli Interventi

Figura 11.2: Estratti PDB Torrente Nimbalto - Fonte sito Web Provincia di Savona

Pertanto l'intervento non risulta soggetto ad alcuna normativa ostativa del Piano di Bacino e non interferisce con il Piano degli Interventi della Provincia di Savona. Relativamente alle possibili interferenze con le emergenze ambientali presenti, l'unica prescrizione riguarda il Rio Ranzi e la distanza di inedificabilità assoluta di 3,00 metri dal limite demaniale dello stesso corso d'acqua per ogni genere di opera escluse le strade pubbliche a raso ex. Art. 8 della Normativa di Piano: tale prescrizione viene rispettata in quanto non sono presenti opere edilizie in prossimità o in corrispondenza del Rio Ranzi.

- **Piano Regolatore Generale del Comune di Pietra Ligure**

Il Piano Regolatore Generale del Comune (attualmente oggetto di studio da parte di tecnico incaricato dal Comune per la sua revisione generale), nella formulazione della Variante Generale conforme al Voto n. 605 del 17/11/1994 del Comitato Tecnico Urbanistico della Regione Liguria, individua l'area dell'attuale Cantiere Navale come zona rf – zona di rinnovo fronti urbane -, ambito di interesse regionale ai sensi della L.R. 29/1985, sottoponendola a Strumento Urbanistico Attuativo di approvazione regionale.

- **Piano Regionale della Costa**

Il Piano Regionale della Costa, come anticipato nel capitolo 4, indica per la zona di intervento, inclusa nell'Ambito di Progetto "A.P. 13 – Loano – Pietra Ligure – Borgio Verezzi", una segnalazione di localizzazione per un area di trasformazione, suggerendo ipotesi di rinnovo pienamente omogenee ai contenuti del presente Progetto, pur senza prefigurare previsioni concrete di realizzazione: " *... La seconda area che il Piano segnala è quella dei Cantieri Rodriquez a Pietra Ligure, ormai inglobata nel contesto urbano di Pietra e, a quanto risulta, solo*

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

parzialmente utilizzata. L'intera zona e la adiacente linea ferroviaria di futura dismissione dovrebbero essere oggetto di uno studio che valuti la parziale riconversione dei cantieri volta a un loro più armonico inserimento nella struttura urbana di Pietra Ligure, con la possibilità di prevedere la realizzazione di un bacino funzionale all'attività produttiva e alle nuove destinazioni" (Piano della Costa, A.P.13, pag.48).

In una nota, il Piano della Costa precisa inoltre: *"Il Piano, per quel che riguarda qui in particolare le aree dei Cantieri Rodriquez e nell'ambito successivo, le aree Piaggio, pur riconoscendo che la destinazione industriale su aree a filo di costa non costituisce un uso ottimale delle scarse risorse costiere disponibili, considera altresì il significato economico e sociale delle attività presenti; pertanto non intende proporre aprioristicamente scenari alternativi di tipo turistico e balneare bensì approfondire le possibilità d'intervento, anche parziale, sulle aree stesse, volte al miglior svolgimento delle attività presenti ovvero considerare costi e benefici di possibili diversificazioni d'uso. La destinazione produttiva, infatti, non esclude che possano essere insieme perseguite ipotesi progettuali volte alla soluzione dei problemi di ricomposizione del litorale e del tessuto urbanistico adiacente, al rafforzamento dei servizi e alla riorganizzazione della viabilità locale"*.

Anche per il Piano della Costa dunque, va riconosciuta la conformità di quanto proposto con le indicazioni generali degli obiettivi di pianificazione indicati.

- Ulteriori normative

Il presente Progetto Preliminare è individuabile come Strumento Urbanistico Attuativo di approvazione regionale ai sensi della L.R. 24/97.

L'iniziativa è stata precisata secondo le linee guida indicate dal Decreto Presidente della Repubblica 2 dicembre 1997, n. 509 e successivo Decr. Min. Trasporti e Navigazione del 14.04.1998, riportante i requisiti della progettazione preliminare e definitiva per l'ottenimento della concessione di terreni e specchi acquei appartenenti al demanio marittimo .

Il Progetto del Porto Turistico è stato redatto in conformità alle indicazioni contenute nelle "Raccomandazioni Tecniche per la Progettazione dei Porti Turistici", AIPCN-PIANC, Associazione Internazionale di Navigazione.

15. NOTE ILLUSTRATIVE AGLI ELABORATI CARTOGRAFICI

CARTA DI ANALISI

La tavola individua il contesto geologico generale in cui si inseriranno i manufatti evidenziando sia l'aspetto geografico sia i principali elementi di carattere geologico, nonché geomorfologico ed idrogeologico e le indagini fin qui svolte. Pertanto nell'elaborato, oltre ai dati direttamente derivanti dalle operazioni di rilevamento e dalla bibliografia di carattere geologico, sono rappresentati i principali tipi litologici.

Da tale elaborato di analisi si evince che l'area d'intervento è totalmente inserita nei depositi di spiaggia e alluvionali del Rio Ranzi sovrastati da riporto antropico.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

In tale allegato è altresì evidenziata l'idrologia superficiale, caratterizzata dalla presenza di corsi d'acqua laterali all'area d'intervento ancorché non demaniali e a rilevante distanza dalla stessa; la ricerca non ha individuato elementi idrogeologici di rilievo quali pozzi o sorgenti. Relativamente agli elementi idrologici canalizzati dalle Ferrovie, l'indagine ha evidenziato la presenza di alcuni attraversamenti, canalizzati al di sotto del cantiere navale di cui tuttavia non si conosce bene lo sviluppo.

Dallo studio di tutte le informazioni sopra descritte si evince come tale carta di analisi consenta di individuare le principali caratteristiche tecniche, geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche del sito e la loro variabilità laterale, che dovrà essere accertata in fase di progettazione esecutiva, mediante l'esecuzione di altre indagini in situ.

CARTA DI SINTESI

Tale elaborato evidenzia come l'area sulla quale insisteranno i manufatti e le relative fondazioni rientri in una zona pianeggiante dove predominano i depositi di spiaggia interdigitati con le alluvioni del Rio Ranzi; da ciò si evince che l'omogeneità laterale del substrato di fondazione è notevole. Al fine pertanto di approfondire la conoscenza della stratigrafia del sito, in fase esecutiva si prevede la realizzazione di ulteriori indagini in sito ed in particolare: l'esecuzione di una nuova campagna sismica e geognostica relativamente alle opere marittime.

16. CONSIDERAZIONI SULL'IMPATTO GEOLOGICO/IDROGEOLOGICO DELL'INTERVENTO

Il presente approfondimento d'indagine conferma che l'esecuzione delle opere in progetto risulta pienamente compatibile con l'attuale assetto del territorio: gli scavi necessari allo sviluppo delle volumetrie interrate nonché l'edificazione delle relative opere di contenimento saranno effettuati con tecnologie tali da arrecare il minor disturbo possibile al regime idrogeologico del sito e verranno dotati di appositi sistemi drenanti di basso impatto (trincee drenanti le acque raccolte verso mare aventi base di sviluppo rispettivamente da 0.70 metri sul livello del mare per l'autorimessa lato Loano e 1.20 metri sul livello del mare per l'autorimessa lato Pietra Ligure) aventi lo scopo di garantire il mantenimento dell'attuale livello della falda freatica senza creare innalzamenti del livello piezometrico al di sotto della sede ferroviaria e dell'abitato circostante.

Relativamente alle zone in cui sono presenti linee di deflusso attualmente tombinate, sarà necessario prevedere una di continuità delle opere interrate al fine di mantenere ed, eventualmente, adeguare le canalizzazioni che conferiscono le acque in mare.

Nelle immagini seguenti, riportanti le freatimetrie di progetto rispetto a quelle rilevate nel corso della campagna di monitoraggio del novembre 2010 e dell'aprile 2011, è evidente come le opere in progetto non aumentino il livello freatico a ridosso dei volumi interrati per mezzo delle opere di drenaggio previste.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it



Figura 8.1: Freatimetria stato attuale

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

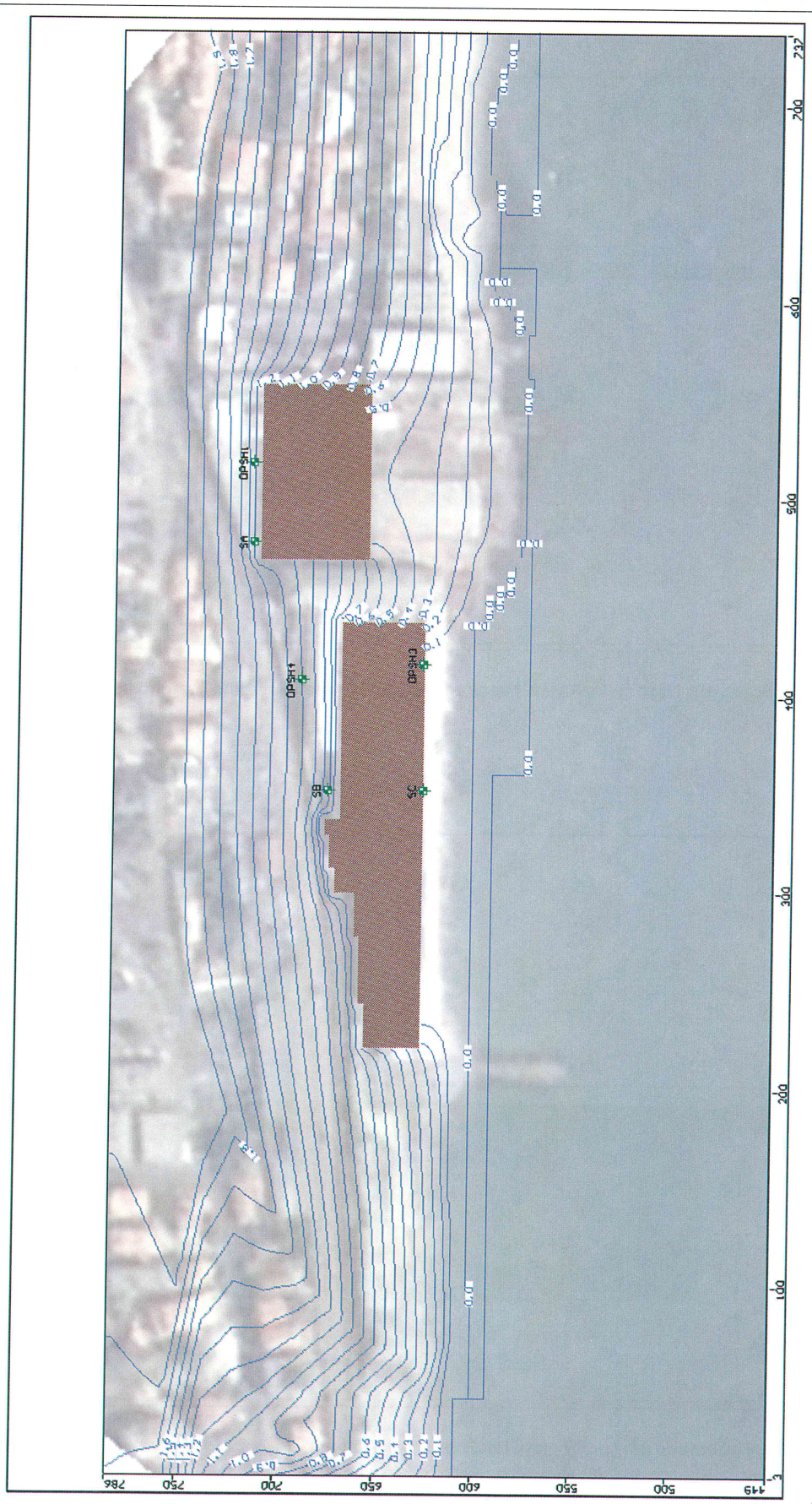


Figura 8.2: Freatimetria stato di progetto ottenuta con l'ausilio del software VMODFLOW

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

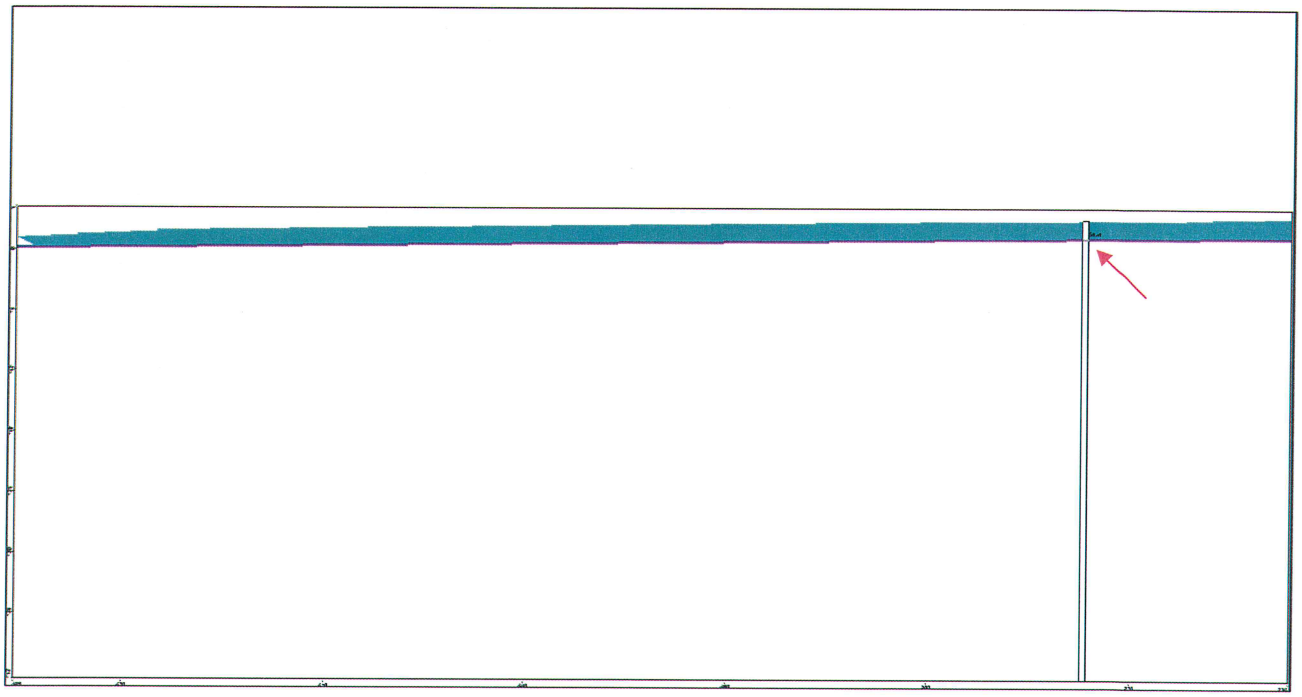


Figura 8.3: Piezometro SA - particolare freatimetria pre intervento (azzurro insaturo, bianco saturo)

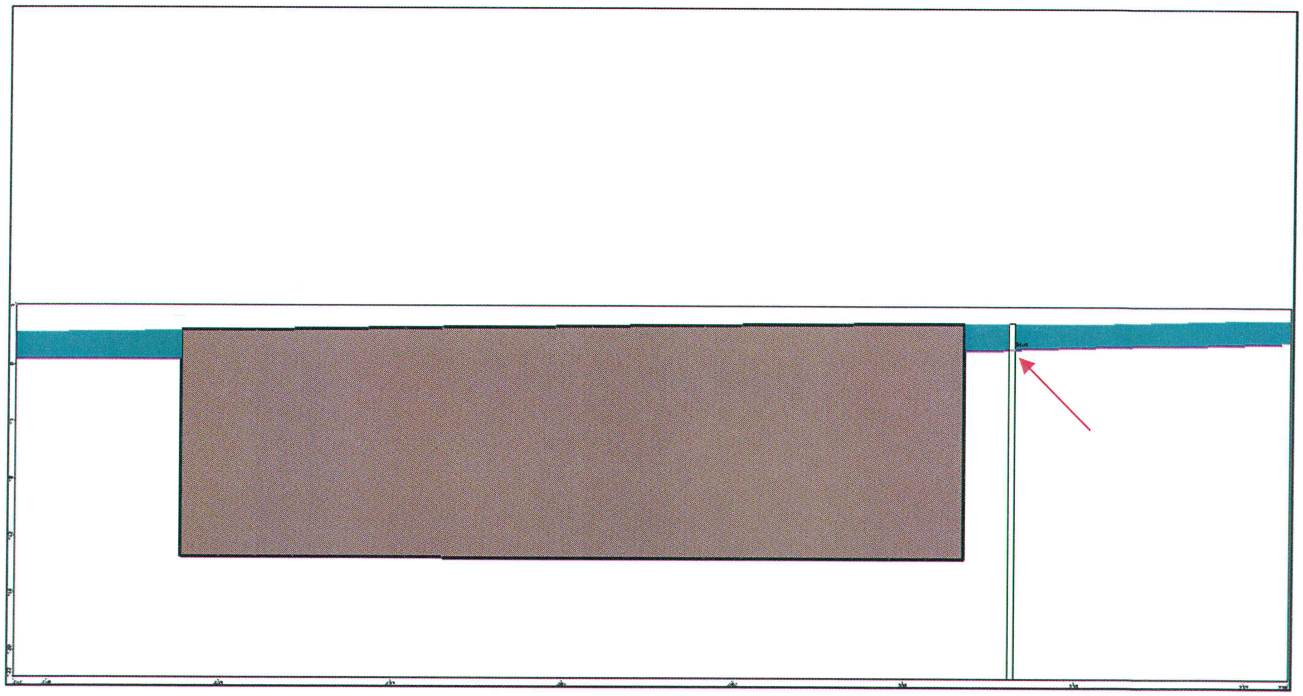


Figura 8.4: Piezometro SA - particolare freatimetria post intervento – da VMODFLOW: è evidente il mantenimento del livello misurato nel novembre 2010 (azzurro insaturo, bianco saturo)

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

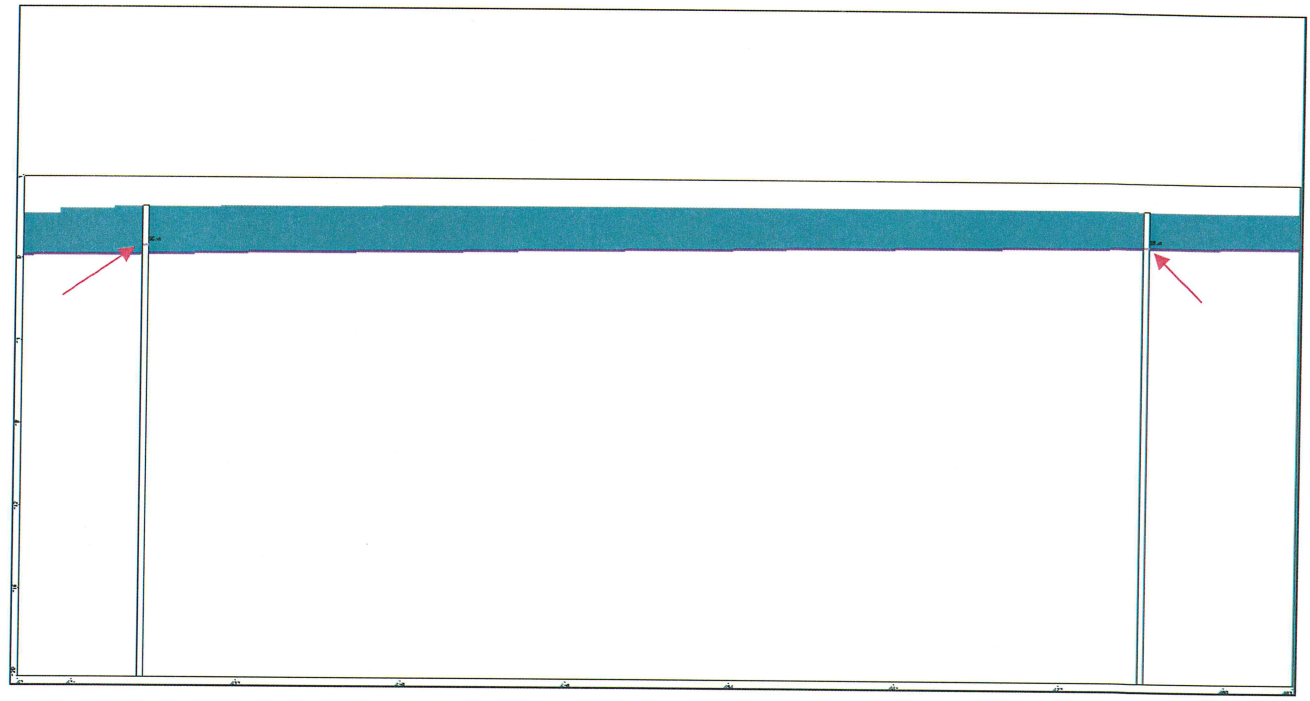


Figura 8.5: Piezometri SB e SC - particolare freatimetria pre intervento (azzurro insaturo, bianco saturo)

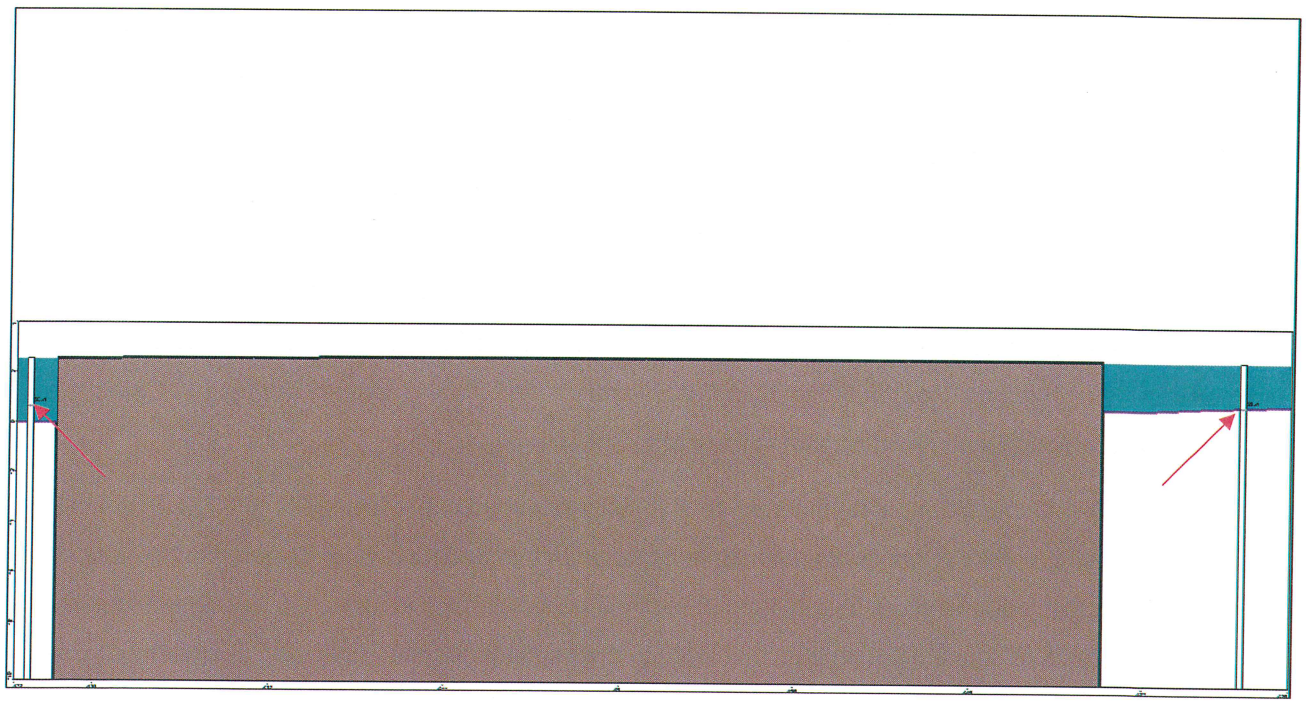


Figura 8.6: Piezometri SB e SC - particolare freatimetria post intervento - da VMODFLOW: è evidente il mantenimento del livello misurato nel novembre 2010 sul piezometro SB (azzurro insaturo, bianco saturo)

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

L'edificazione delle opere in sotterraneo, benché sottragga un volume, seppur modesto alla falda freatica, non danneggia in alcun modo le risorse idropotabili in quanto l'acquifero intercettato non è in alcun modo utilizzabile, neppure ai fini irrigui a causa dell'elevato tenore salino delle acque che lo interessano.

Al fine di garantire un corretto deflusso delle acque sub superficiali i reinterri a mare saranno effettuati con materiale grossolano e drenante con conducibilità idraulica pari a quanto riscontrabile in sito o maggiore (almeno $2*10^{-2}$ cm/sec, corrispondente alla tessitura della ghiaia): i materiali di scavo potranno pertanto essere direttamente riutilizzati, qualora ambientalmente compatibili, per i reinterri previsti a progetto.

Relativamente alle problematiche dovute all'eventuale interferenza con il cuneo salino occorre rilevare che l'area di intervento è ad oggi quasi completamente pavimentata e pertanto da essa non è possibile l'alimentazione dell'acquifero freatico attraverso infiltrazione delle acque meteoriche: l'intervento in progetto non aggraverà in alcun modo tale situazione e garantirà, a mezzo delle trincee drenanti previste, un livello stabile della falda (senza innalzamenti) alla stessa profondità di quanto ad oggi rilevabile. Inoltre il limitato sviluppo verticale dei volumi interrati, corrispondente al massimo in –10,00 metri dal piano campagna per l'autorimessa lato Loano e –12,00 metri dal piano campagna per quella lato Pietra Ligure, non interesserà lungo il lato monte l'interfase acqua dolce/salata (ubicata più in profondità) mentre lato valle si comporterà da barriera impermeabile limitando l'intrusione salina.

17. CONSIDERAZIONI RELATIVE ALLE INTERFERENZE DELL'INTERVENTO SUL RETICOLO IDROGRAFICO SIGNIFICATIVO, SULLE SPIAGGE E SULLE EMERGENZE AMBIENTALI.

L'intervento in oggetto non presenta alcun tipo d'interferenza sul reticolo idrografico significativo in quanto non va a modificare in alcun modo il regime torrentizio dell'unico corso d'acqua presente in sito e rappresentato dal Rio Ranzi, il quale già ad oggi sfocia in mare occupando nei momenti di morbida la spiaggia antistante la tombinatura che lo caratterizza.

L'interferenza delle opere in progetto sulle spiagge limitrofe è da considerarsi trascurabile in quanto il trasporto generale di sedimenti è ad oggi limitato dal vicino porto di Loano: le opere di difesa costriera, accessorie all'intervento in progetto risultano pertanto una mitigazione/miglioramento dell'attuale stato erosivo.

Al fine di verificare l'ininfluenza di tali opere sul regime torrentizio del Rio Ranzi, nonché sul litorale limitrofo alla zona di intervento si consiglia di effettuare con frequenza almeno annuale il monitoraggio della linea di riva al fine di verificare la possibile esigenza e tarare al meglio eventuali azioni correttive quali quella già prevista a progetto e consistente nel ripascimento stagionale dell'adiacente spiaggia lato Loano.

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

Le interferenze con tutte le altre emergenze ambientali sono state diffusamente trattate all'interno dello studio di impatto ambientale e ad esso si rimanda integralmente.

Stanti le soprascritte condizioni riscontrate in sito, l'intervento di urbanizzazione oggetto della presente risulta fattibile da un punto di vista geologico-tecnico, comportando pertanto la possibilità di sviluppare tutte le scelte progettuali allo stato attuale prese in esame, essendo nel contempo del tutto compatibile con il mantenimento del buon assetto sia statico sia idrogeologico dell'area; peraltro con riferimento a quanto fin qui esposto, si ritiene che al fine di permettere un corretto dimensionamento delle strutture di fondazione, in fase immediatamente precedente alla progettazione esecutiva delle opere si debbano osservare le seguenti indicazioni operative: sviluppare un adeguato approfondimento delle attuali conoscenze tecniche, al fine di individuare la più corretta soluzione tra fondazioni dirette e indirette.

18. NORME GEOLOGICHE DI ATTUAZIONE

In fase prodromica alla progettazione esecutiva delle opere si ritiene necessario il seguente set integrativo, minimo d'indagine e che potranno essere integrate ed eventualmente modificate dal progettista "esecutivo" delle opere geotecniche.

- N° 5 set di indagini geognostiche a mare, la cui ubicazione determinata indicativamente in allegato dovrà essere affinata per mezzo la campagna dindagini sismiche svolte, costituite, da carotaggi a rotazione con recupero di campione ed esecuzione di prove geotecniche in sito da effettuarsi tramite di uso di pontone/chiatta opportunamente ancorata. Questo al fine di verificare gli spessori dei diversi sedimenti e determinare le principali caratteristiche geotecniche dei materiali al fine di pervenire ad una corretta progettazione geotecnica esecutiva.
- Al fine di permettere un corretto monitoraggio dello stato dei luoghi in corso d'opera e dell'efficienza delle strutture geotecniche in fase di esercizio si propone un monitoraggio delle strutture di sostegno ed un monitoraggio piezometrico relativo all'andamento della falda "lato monte" avente lo scopo di verificare in corso d'opera e post operam l'efficacia del sistema drenante di regolazione del livello freatico. Sarà inoltre necessario prevedere un monitoraggio della linea di riva delle due porzioni di spiaggia sia lato Loano sia lato Pietra Ligure al fine di evidenziare 'eventuale necessità di interventi correttivi di rinascimento.

Per quanto concerne le modalità esecutive delle opere occorrerà, inoltre:

- predisporre un monitoraggio topografico di precisione del piano del ferro relativo al sedime delle FF.SS. avente lo scopo di verificare la stabilità e l'ininfluenza delle opere progettate.
- predisporre un monitoraggio topografico di precisione sui manufatti pubblici e privati limitrofi alle zone di esecuzione dei jet-grouting;
- sebbene il sito oggetto di intervento è da ritenersi stabile, così come al momento è strutturato, nei confronti di dissesti gravitativi, in fase esecutiva dovrà essere evitato qualsiasi fenomeno di instabilità dei fronti di scavo per mezzo del rispetto delle seguenti norme di sicurezza riconducibili al D. Lgs. 81/2008 ed in particolare ai seguenti articoli. Art. 118: Nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, è vietato il sistema

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno. Nello scavo di pozzi e di trincee profondi piu' di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, alla applicazione delle necessarie armature di sostegno. Art. 120: E' vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature. Al sensi del DM 14 01 08 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo;

- il sito di riempimento e/o colmata dovrà essere adeguatamente preparato tramite dragaggio e "circondato" da opere di contenimento quali cassoni in c.a. o scogliere in massi adeguatamente dimensionate. Le granulometrie dovranno essere adeguatamente selezionate e miscelate in modo tale da evitare il raggiungimento di un fuso granulometrico suscettibile a fenomeni di liquefazione. L'abbancamento dovrà essere effettuato per gradi secondo stati omogenei, eventualmente inframmezzati a fogli di geotessuto, in modo tale da permettere un corretto costipamento dei materiali curando di sottoporre le parti di neoformazione a precarica finale in modo tale da ridurre al minimo i cedimenti in corso di esercizio. Al fine di garantire un corretto deflusso delle acque sub superficiali i reinterri a mare saranno effettuati con materiale grossolano e drenante con conducibilità idraulica pari a quanto riscontrabile in sito o maggiore (almeno $2*10^{-2}$ cm/sec, corrispondente alla tessitura della ghiaia): i materiali di scavo potranno pertanto essere direttamente riutilizzati, qualora ambientalmente compatibili, per i reinterri previsti a progetto.

Savona, li giugno 2012

Dott. Geologo Alessandro Canavero (O.R.G.L. n° 268)

Dott.ssa Geologo Sabrina Santini (O.R.G.L. n° 338)

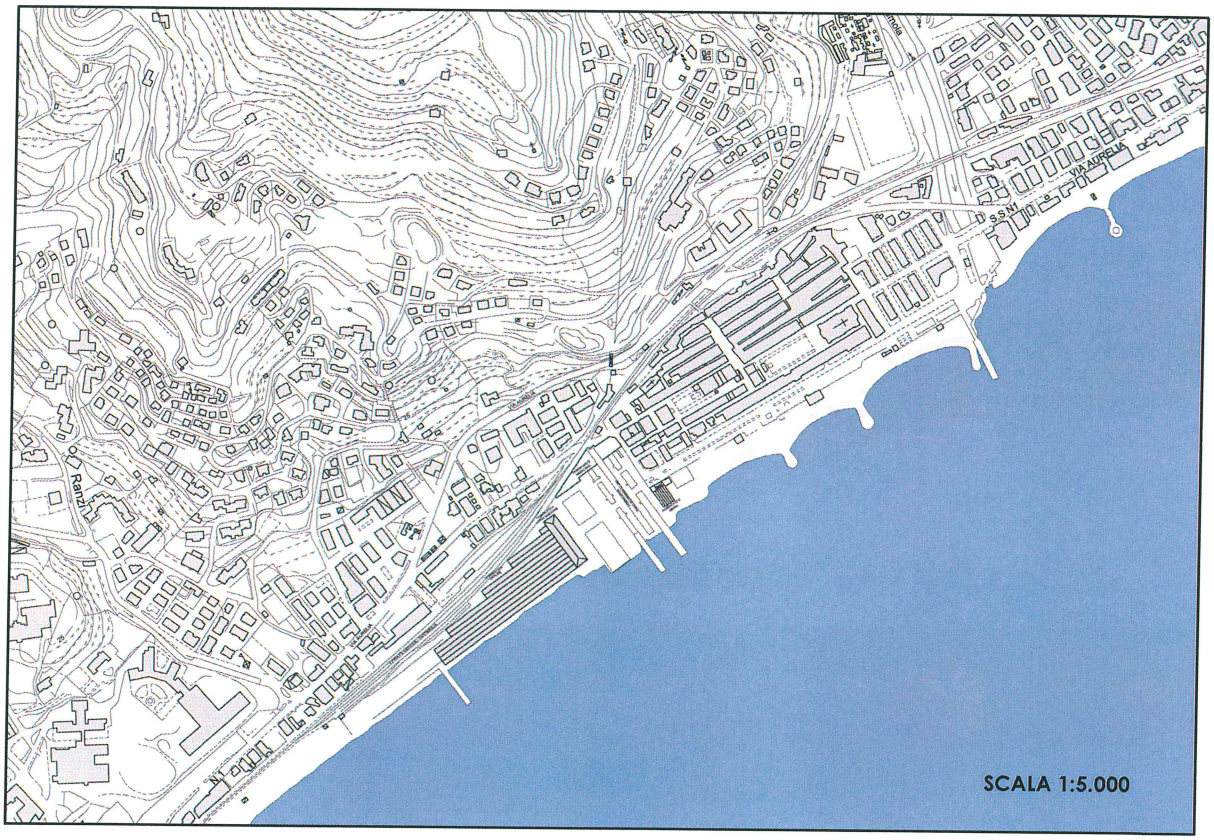
INDICE ALLEGATI

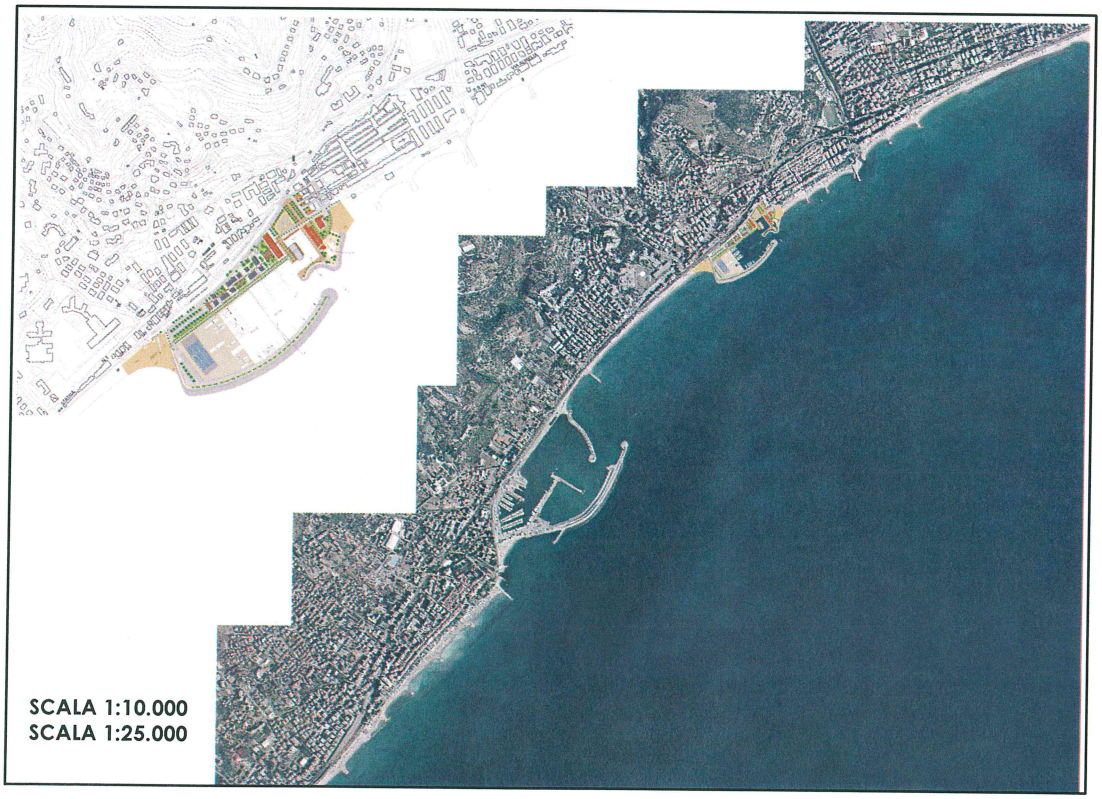
PLANIMETRIA GENERALE: STATO ATTUALE E PROGETTO 56
SEZIONI TERRITORIALI, SCALA 1:2.000 57
CARTA DI ANALISI, SCALA 1:2.000 58
CARTA DI SINTESI, SCALA 1:2.000 59
SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA, SCALA 1:2.000 60

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

ALLEGATO 1

PLANIMETRIA GENERALE: STATO ATTUALE E PROGETTO

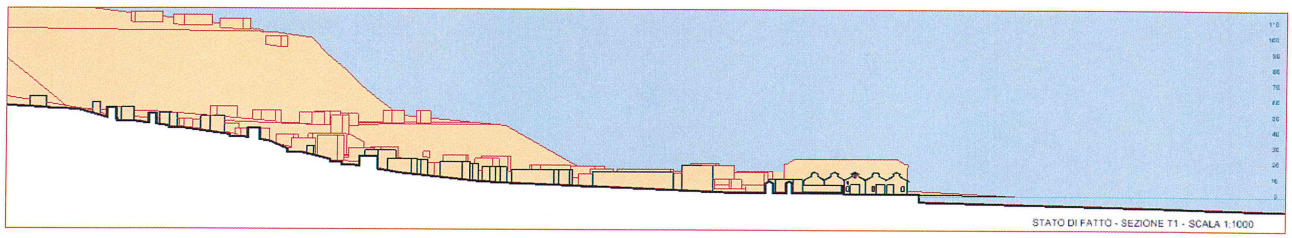


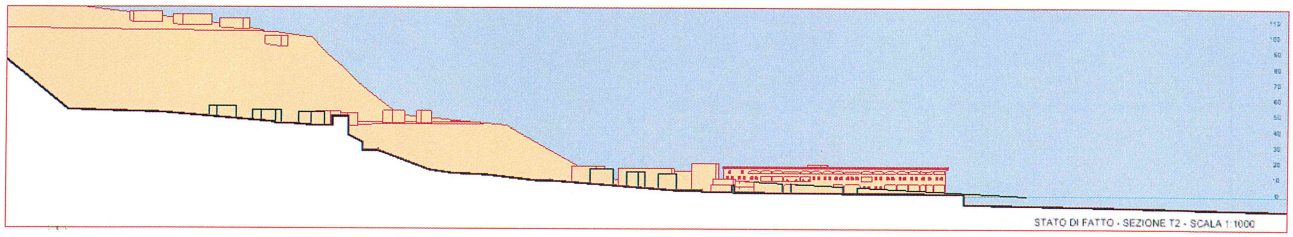


Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

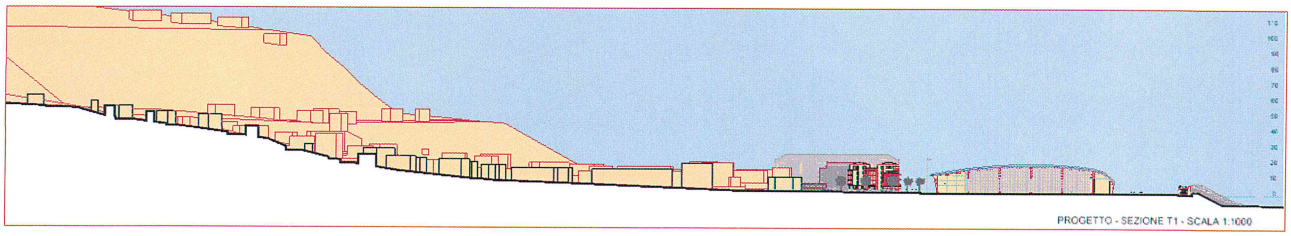
ALLEGATO 2

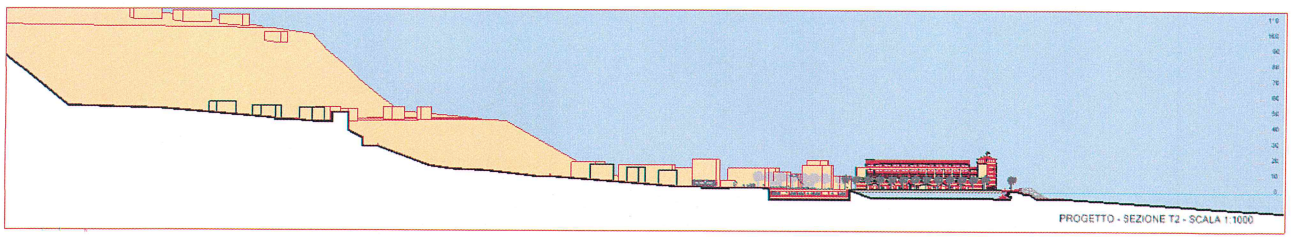
SEZIONI TERRITORIALI, SCALA 1:2.000





SEZIONI STATO ATTUALE





SEZIONI DI PROGETTO

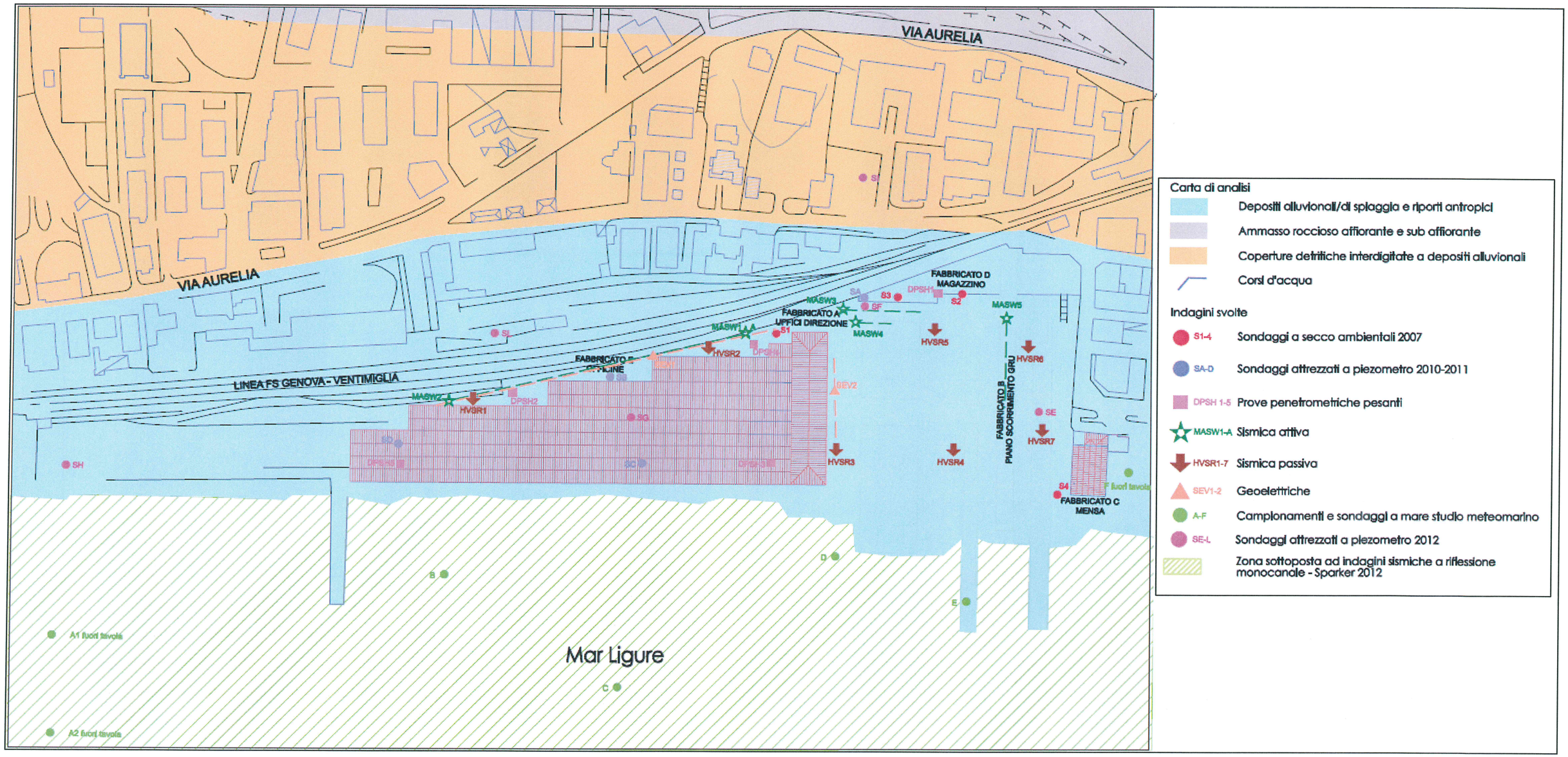


PIANTA CHIAVE STATO DI FATTO E DI PROGETTO

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

ALLEGATO 3

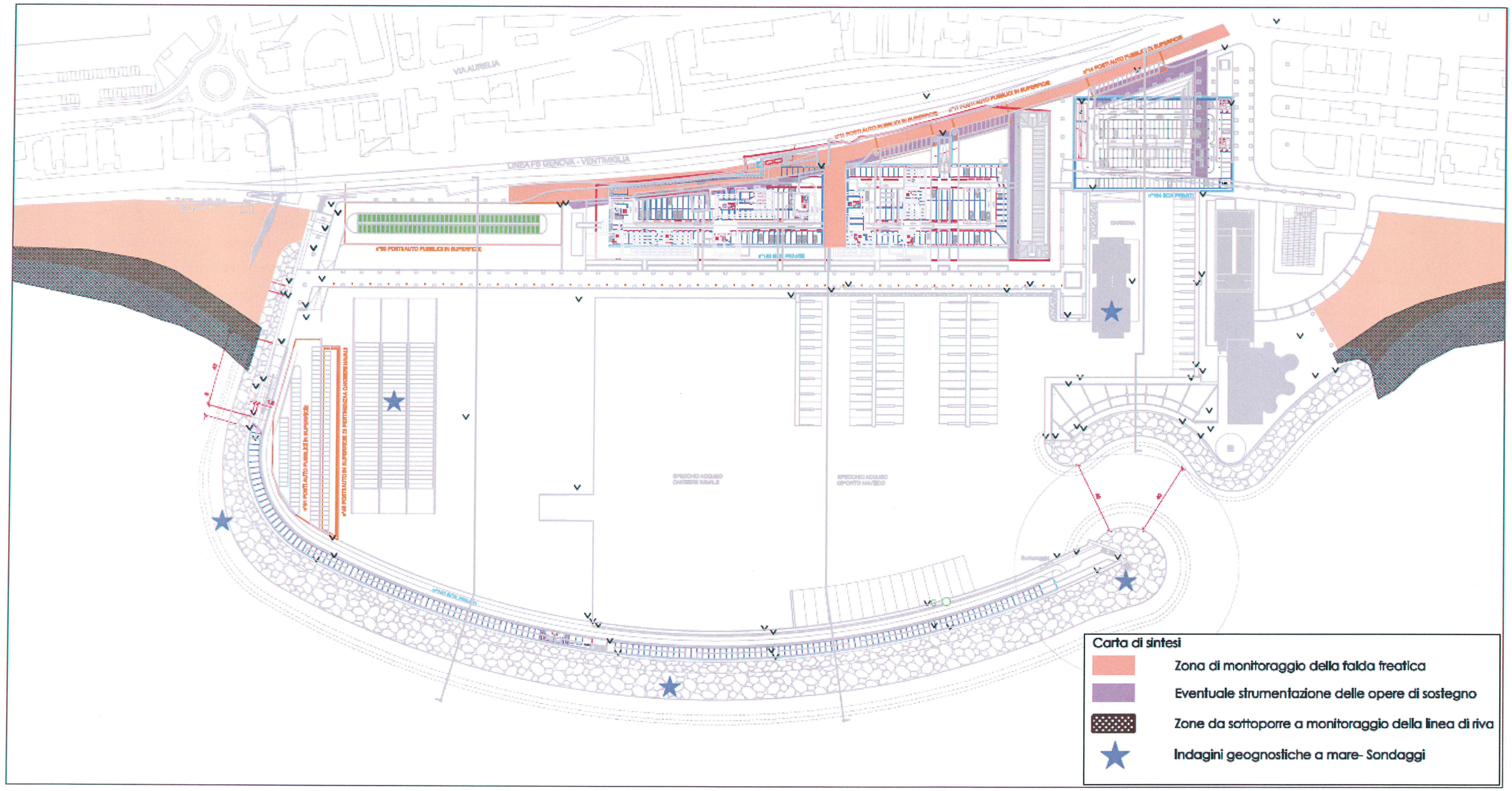
CARTA DI ANALISI, SCALA 1:2.000



Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

ALLEGATO 4

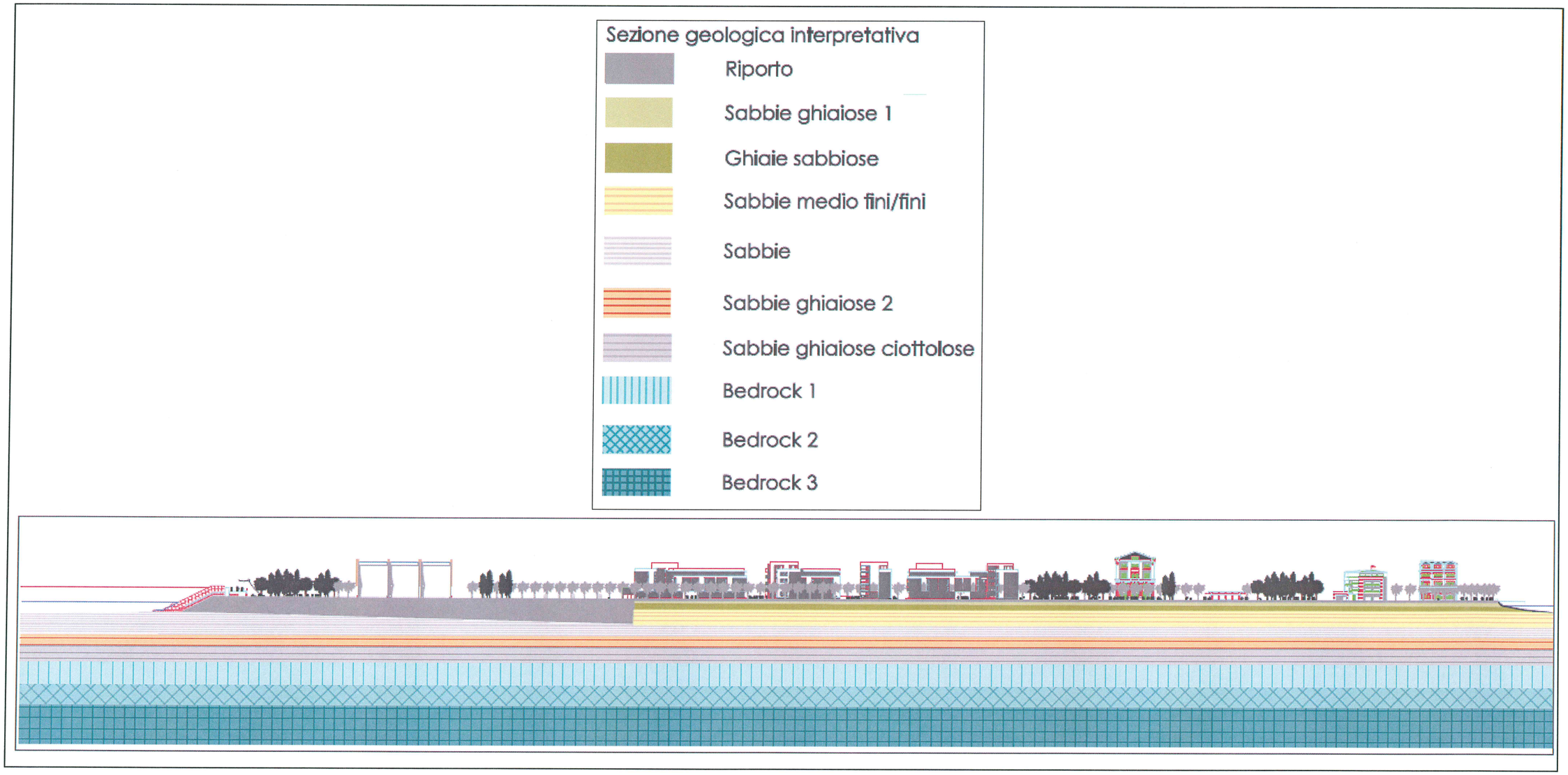
CARTA DI SINTESI, SCALA 1:2.000



Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it

ALLEGATO 5

SEZIONE GEOLOGICA INTERPRETATIVA, SCALA 1:2.000



Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it