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.

– APPROFONDIMENTI D'INDAGINE –

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
GEO.LAB
Geol. Alessandro Canavero e Geol. Sabrina Santini

Savona, agosto 2013

INDICE

0. SOMMARIO 3
1. OGGETTO DELL'INCARICO 4
2. PREMESSE 5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO 6
4. MODELLO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO DEL SITO 8
5. MONITORAGGIO FREATIMETRICO. 9
5.1 Risultanze monitoraggio freatimetrico. 10
6. MODELLO IDROGEOLOGICO PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI VOLUMI INTERRATI SULL'IDRODINAMICA SOTTERRANEA 11
6.1 Modellazione idrogeologica 11
6.2 Cuneo salino 14
7. CONSIDERAZIONI SULL'IMPATTO GEOLOGICO/IDROGEOLOGICO DELL'INTERVENTO 14
7.1 Valutazione del volume di acqua da emungere dagli scavi. 19

Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420, Tel. 019813843 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it website: www.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.;
- n° 2 prova di permeabilità "Lefranc";
- n° 2 campagne di misure del livello della falda;

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

- 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.

Nel corso del 2013 sono stati sviluppati da altro professionista, per scopi di caratterizzazione ambientale ulteriori 7 piezometri interni i quali, sebbene le stratigrafie non sono ancora disponibili in quanto le risultanze delle summenzionate indagini ambientali sono ancora in elaborazione, hanno permesso di integrare i punti di monitoraggio piezometrico nel maggio, giugno e luglio 2013 e migliorare la calibrazione del modello idrogeologico.

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 contiene gli approfondimenti d'indagine relativi al modello idrogeologico per la valutazione degli effetti dei volumi interrati sulla idrodinamica sotterranea richiesti entro la DGR 940 del 31/08/2011 e pertanto integra quanto già precedentemente presentato sviluppato 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

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

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 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

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

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 luglio 2013, data dell'ultima campagna di rilevamento piezometrico effettuata, si ritiene di poter esporre quanto segue.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

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.

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.

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

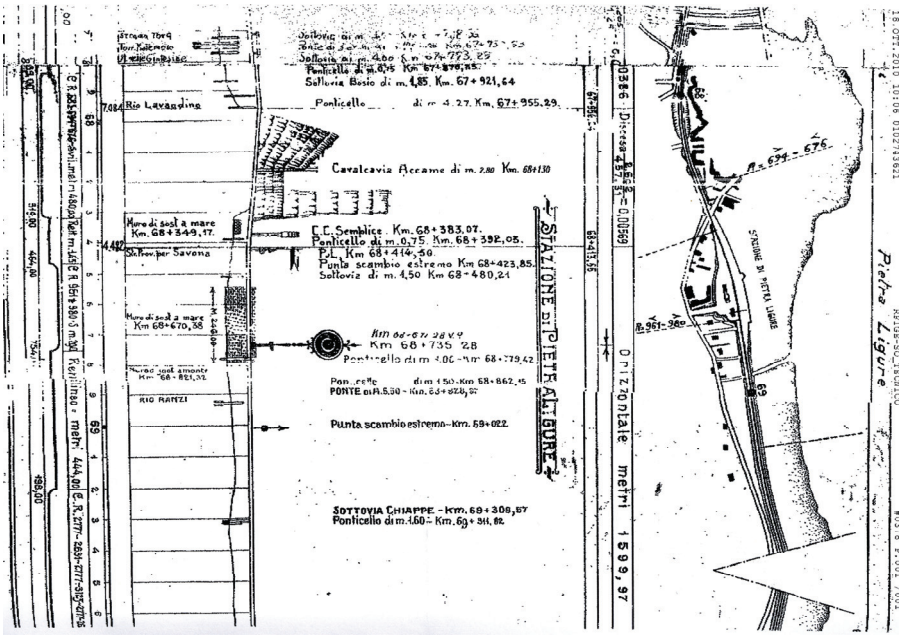


Figura 3.1: Documentazione di progetto della Ferrovia con particolare riferimento agli attraversamenti

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.

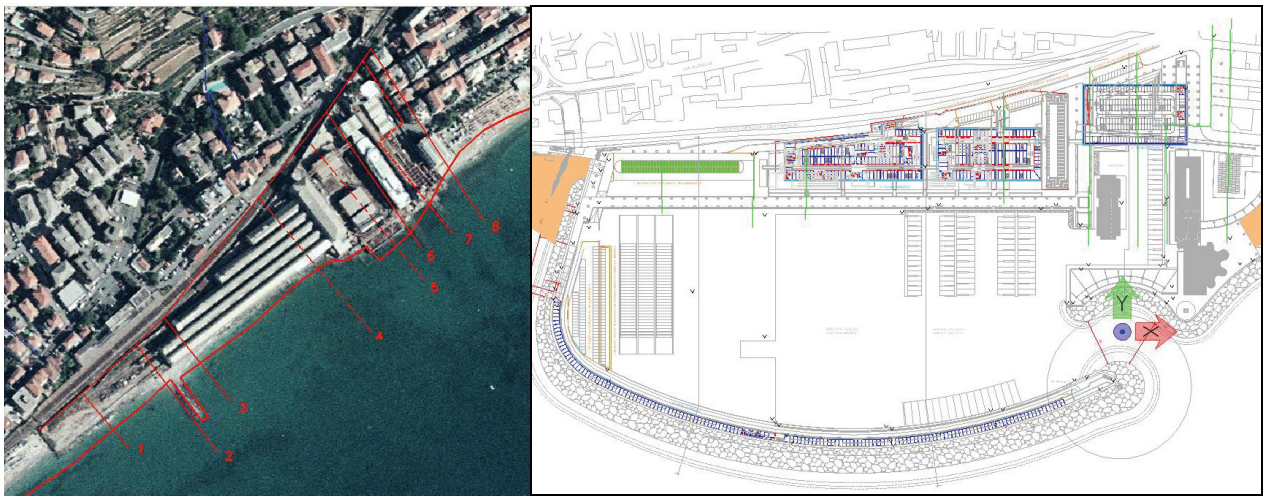


Figura 3.2: Sovrapposizione tra i documenti delle Ferrovie in verde, lo stato attuale e lo stato di progetto

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

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

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 –2,2 m dal piano di campagna e solo in corrispondenza delle stagioni più piovose supera il la quota di 1,1 metri dal livello marino medio, 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: la massima escursione della superficie freatica, riscontrata nel corso della campagna di monitoraggio, tra periodo estivo ed invernale è di circa 50 cm.

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.

4. MODELLO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO 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".

In particolare 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.
- 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.

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

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

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 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 dati freatimetrici e le interferenze tra progetto e regime delle acque sotterranee, vengono di seguito trattati in capitoli specifici.

5. MONITORAGGIO FREATIMETRICO.

Durante lo sviluppo del lavoro relativo al progetto preliminare/definitivo è stato possibile effettuare una campagna di letture freatimetriche che nella prima fase d'indagine, legata alla stesura della progettazione preliminare, è stata accompagnata dal 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[1].

La fase di monitoraggio freatimetrico è stata protratta fino al luglio 2013 mediante la realizzazione letture nei piezometri disponibili presenti entro le aree interne e in quelle esterne limitrofe al sito d'intervento.

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.

Denominazione	X	Y	Z
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
DPSH3	1442427	4888370	2.72
DPSH4	1442384	4888415	2.66
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
Pz1	1442215	4888214	3.02
Pz2	1442381	4888333	2.60
Pz3	1442575	4888460	2.90
Pz4	1442480	4888522	2.86
Pz5	1442409	4888453	2.81
Pz6	1442208	4888196	2.76
Pz7	1442521	4888410	2.80

Tabella 5.1: Ubicazione punti di monitoraggio freatimetrico

[1] Sono state effettuate letture multiparametriche relative alle caratteristiche di temperatura e conducibilità dell'acqua nei piezometri. Le risultanze di tali accertamenti sono contenute nella Relazione Geologica SUA e N.T.C. del Progetto Definitivo già agli atti.

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



Figura 5.1: Ubicazione punti di monitoraggio freatimetrico

5.1 Risultanze monitoraggio freatimetrico.

Piez./data	SA	SB	SC	SD	SE	SF	SG	SH	SI	SL	DPSH1	DPSH3	DPSH4	Pz1	Pz2	Pz3	Pz4	Pz5	Pz6	Pz7
23/11/10	1.22	0.87	0.67								0.93	0.59	0.71							
15/04/11	1.02	0.62	0.43	0.46							0.75	0.44	0.42							
12/11/11		0.91	0.73	0.84							0.96	0.63	0.62							
20/01/12		0.83	0.60	0.75								0.52	0.50							
20/04/12		0.64	0.43	0.56	0.56	1.00	0.64	0.35				0.47	0.47							
18/06/12		0.44	0.23	0.36	0.10	0.84	0.34		0.88	0.90		0.32	0.31							
25/07/12		0.44	0.22	0.35	0.09	0.8	0.33		0.82	0.95		0.30	0.28							
30/08/12		0.43	0.22	0.34	0.07	0.77	0.38		0.85	0.98		0.28	0.26							
04/10/12		0.57	0.31	0.48	0.18	0.73	0.48		0.90	1.00		0.37	0.35							
18/11/12		0.7	0.51	0.67	0.25	0.85	0.61		0.98	0.98		0.56	0.55							
11/12/12		0.67	0.56	0.73	0.31	0.89	0.58		1.01	1.10		0.59	0.60							
18/01/13		0.68	0.57	0.70	0.35	0.95	0.59		1.04	1.18		0.55	0.53							
24/03/13		0.83	0.61	0.73	0.38	0.98	0.72		1.18	1.25		0.73	0.68							
21/05/13		0.73	0.46	0.64	0.45	1.12	0.55		1.26	1.28		0.62	0.56	0.24	0.46	0.55	0.78	0.64	0.13	0.30
15/06/13		0.51	0.25	0.38	0.19	0.88	0.47		0.98	1.16		0.41	0.34	0.09	0.25	0.32	0.45	0.30	0.08	0.18
26/07/13		0.46	0.20	0.22	0.06	0.69	0.30	0.09	0.80	0.86		0.34	0.28	0.05	0.20	0.23	0.32	0.23	0.02	0.22

Tabella 5.1.1: Risultanze monitoraggio freatimetrico, livelli misurati s.l.m.

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

6. MODELLO IDROGEOLOGICO PER LA VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DEI VOLUMI INTERRATI SULL'IDRODINAMICA SOTTERRANEA

6.1 Modellazione idrogeologica

Le summenzionate considerazioni derivano dallo studio idrogeologico specialistico eseguito per l'area in oggetto, nel quale è stata eseguita una modellazione idrogeologica con l'ausilio del software VisualMODFLOW 2011.1 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:

- 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;

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

- ***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	0.27	0.31	0.28
3	9.2E-3	9.2E-4	1.6E-5	0.31	0.35	0.31
4	2E-3	2E-4	1.6E-5	0.31	0.35	0.31
5	2.2E-3	2.2E-4	0.05	0.1	0.5	0.1
6	5E-6	5E-7	3.2E-5	0.22	0.28	0.27
7	9E-3	9E-4	0.05	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[2].

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 - 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

[2] La conducibità idraulica è stata ricavata dall'analisi statistica sui diversi campioni nonché a seguito della calibrazione effettuata sul modello matematico per mezzo dei dati rilevati nel corso della campagna di monitoraggio freatimetrico.

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

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 maggio 2013 sono stati utilizzati per la calibrazione. Di seguito sono riportati i dati utilizzati.

Piezometro	X	Y	Z	Misura m slm	Misura m dal p.c.
DPSH3	1442384	4888415	2.66	0.62	-2.04
DPSH4	1442427	4888370	2.72	0.56	-2.16
SB	1442347	4888370	2.64	0.73	-1.91
SC	1442376	4888331	2.66	0.46	-2.23
SD	1442279	4888271	2.66	0.64	-2.02
SE	1442529	4888485	3	0.45	-2.55
SF	1442425	4888477	3	1.12	-1.88
SG	1442365	4888352	2.66	0.55	-2.11
SI	1442380	4888524	3.5	1.26	-2.24
SL	1442279	4888339	5.5	1.28	-4.22
Pz1	1442215	4888214	3.02	0.24	-2.78
Pz2	1442381	4888333	2.6	0.46	-2.14
Pz3	1442575	4888460	2.9	0.55	-2.35
Pz4	1442480	4888522	2.86	0.78	-2.08
Pz5	1442409	4888453	2.81	0.64	-2.17
Pz6	1442208	4888196	2.76	0.13	-2.63
Pz7	1442521	4888410	2.8	0.3	-2.5

Risultati campagna piezometrica del maggio 2013

rilevati nel corso della campagna dell'maggio 2013 che si discostano di poco da quanto precedentemente rilevato: tali variazioni sono riconducibili ad un diverso regime pluviometrico

A seguito della calibrazione si è poi ricondotto il modello nelle condizioni riscontrate nel novembre 2011, data nella quale, presso i piezometri interessati dalle operazioni di monitoraggio si sono riscontrati i valori freatimetrici massimi.

Piezometro	X	Y	Z	Misura m slm	Misura m dal p.c.
DPSH1	1442457	4888501	3.10	0.96	-2.14
DPSH3	1442384	4888415	2.66	0.63	-2.03

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

DPSH4	1442427	4888370	2.72	0.62	-2.10
SB	1442347	4888370	2.64	0.91	-1.71
SC	1442376	4888331	2.66	0.73	-1.93
SD	1442279	4888271	2.66	0.84	-1.82

Risultati campagna piezometrica del novembre 2011

6.2 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, 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.[3]/ 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 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.

7. 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, con quota di imposta a tergo della diverse autorimesse di 1.00 metri sul livello del mare e quota di restituzione delle acque a valle a 0.2 metri s.l.m.

In particolare saranno edificate tre autorimesse per mezzo di diaframmi scavati con bentonite: tali opere di contenimento si estenderanno dalla quota di 9 metri dal piano campagna (corrispondenti a -6÷-7 metri s.l.m.) fino in superficie e saranno dotate lato monte di trincee drenanti dimensionate in modo tale da funzionare quali "troppo pieno di falda" non permettendo alal stessa di superare il livello di 1 metro dal s.l.m.

[3] 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 website: www.studiogeolab.it

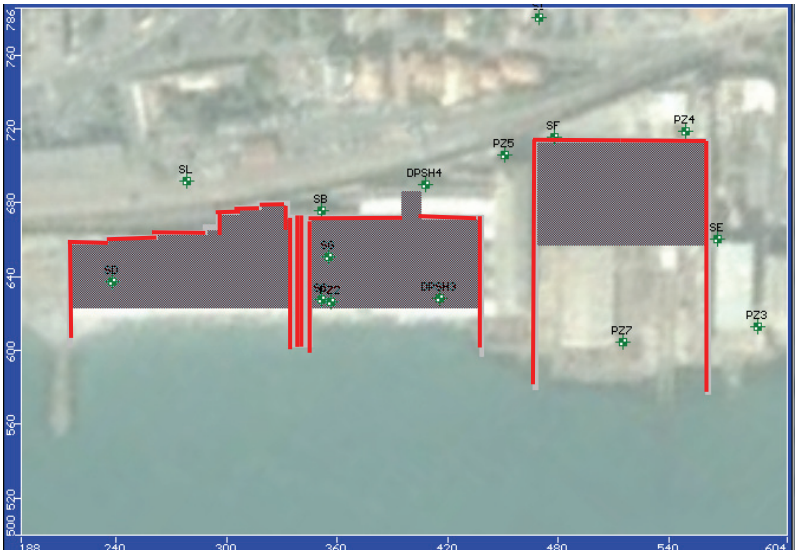


Figura 7.1: Posizionamento trincee drenanti

Tali trincee drenanti saranno in numero di due per ogni volume interrato e dipartendosi dal centro di ogni autorimessa la circonderanno verso destra e sinistra dirigendosi poi verso il mare allo scopo di garantire il mantenimento dell'attuale livello della falda freatica senza creare innalzamenti o depressioni del livello piezometrico al di sotto della sede ferroviaria e dell'abitato circostante. Tra le due autorimesse lato Loano sarà presente una "manica" larga almeno 10-12 che dovrà anch'essa avere le funzioni di "corridoio drenante" per garantire la stabilità della *freatimetria di progetto che, lato monte delle autorimesse, per evitare danneggiamenti all'adicente linea ferroviaria e alle retrostanti abitazioni non dovrà mai superare la quota di 1.00 ÷ 1.10 metri s.l.m..*

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

Nelle immagini seguenti sono riportate le freatimetrie di progetto rispetto a quelle rilevate nel corso della campagna di monitoraggio del maggio 2013 (utilizzata per la calibrazione del modello) e dell'novembre 2011 (freatimetrie massime rilevate nel corso della campagna di monitoraggio utilizzate per la simulazione dello stato di progetto), come è evidente le opere in progetto (diaframmi dotati lato monte di trincee drenanti) non aumentano il livello freatico a ridosso dei volumi interrati.

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



Figura 7.2: Freatimetria maggio 2013 – utilizzata per la calibrazione del modello

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



Figura 7.3: Freatimetria novembre 2011 – utilizzata come base per la simulazione di progetto

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



Figura 7.4: 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 website: www.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 o della sabbia ghiaiosa): i materiali di scavo potranno pertanto essere riutilizzati ed eventualmente miscelati con altro materiale arido per raggiungere la summenzionata permeabilità, 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 –9,00 metri dal piano campagna per entrambe le autorimesse, 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.

7.1 Valutazione del volume di acqua da emungere dagli scavi.

L'edificazione delle volumetrie interrate sarà effettuata tramite il completo confinamento idraulico dell'area ottenuto, lateralmente, con paratia dotata di giunti a tenuta idraulica e, sul fondo, per mezzo di tappo di fondo/tampone in jet grouting, durante lo scavo, non saranno pertanto utilizzati sistemi di aggottamento che possano generare abbassamenti localizzati della falda nell'intorno, ma sarà comunque necessario, per eseguire gli sbancamenti all'asciutto, raccogliere ed aggottare l'acqua, naturalmente presente nel terreno saturo da scavare, per mezzo pozzi di raccolta a fondo foro all'interno dei quali verranno ubicate delle pompe di emungimento oppure per mezzo di impianti tipo well point.

Per quanto riguarda il volume complessivo di acqua da emungere, considerando l'impronta dell'area di scavo di circa 13500 m^2, uno spessore di terreno saturo da scavare di circa 5 m (al netto del tampone in jet grouting ed un indice dei vuoti del 30% circa si può stimare un volume massimo di acqua da emungere di 20500 m^3.

Savona, li agosto 2013

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

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

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