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 GEOTECNICA

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
GEOLAB
Geol. Alessandro Canavero e Geol. Sabrina Santini

Savona, Agosto 2013





INDICE

0. SOMMARIO 3
1. OGGETTO DELL'INCARICO 4
2. PREMESSE 4
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 4
4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO 5
5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA 7
6. ANALISI DELLE PROBLEMATICHE 8
7. INDIVIDUAZIONE DELLE PRINCIPALI CATEGORIE DI OPERE GEOTECNICHE. 9
8. APPROFONDIMENTI DI INDAGINE PROPEDEUTICI ALLO SVILUPPO DELLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA 11
9. MONITORAGGI IN CORSO D'OPERA E POST OPERAM. 11

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

0. SOMMARIO

Dall'ottobre - novembre 2010 – aprile 2011 all'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.

Lo studio è stato preceduto da una prima fase di programmazione per la definizione di un piano delle attività, sulla base delle indicazioni normative per l'esecuzione del progetto preliminare/definitivo 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. In tale ambito è stata integrata la campagna di indagine già sviluppata nel giugno 2007 (già in atti) con nuove verticali di carotaggio, prospezioni sismiche e prove penetrometriche; 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/definitiva, per quanto riguarda gli aspetti geologici, sono state eseguite le attività di seguito riportate i cui risultati sono contenuti all'interno delle apposite relazioni geologiche relative al progetto preliminare e definitivo ed alle quali si fa totale riferimento:

- n° 10 sondaggi meccanici, per un totale di circa 199,30 m perforati tutti attrezzati a piezometro;
- n° 66 prelievi di campioni disturbati di sedimenti;
- n° 57 prove di resistenza meccanica S.P.T. di cui n° 3 a punta chiusa;
- n° 2 campioni indisturbati;
- n° 3 prove 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;
- campagna di misure del livello della falda dall'ottobre 2010 al luglio 2013;
- n° 63 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;
- prove geotecniche di laboratorio effettuate presso il D.I.C.A.T. dell'Università di Genova su campioni indisturbati.

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

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 indagine geotecnica integrativa è stata sviluppata in base alle richieste contenute entro le Delibere di Giunta Regionale della Liguria n° 940 del 29.07.2011 e n° 975 del 05.08.2011 richiamate nel documento di ottemperanza alle prescrizioni del 10 ottobre 2012 Prot. IN/2012/21268 relative al progetto di trasformazione urbanistica dei Cantieri Navali Rodriquez in un porto turistico con annesse strutture pubbliche, ricettive, residenziali e produttive e risponde al punto g ii) –compatibilità geotecnica degli scavi- in base alle risultanze del nuovo monitoraggio idrogeologico.

2. PREMESSE

La presente relazione è stata sviluppata per il progetto riportato in epigrafe inerente la realizzazione delle opere edilizie e sistemazioni esterne anche al fine di rispondere alle richieste formulate nelle summenzionate DGR ove erano prescritti approfondimenti geotecnici ed idrogeologici: gli approfondimenti geotecnici sono stati attuati nella precedente fase di lavoro come evidenziato in sommario, mentre gli approfondimenti idrogeologici, che hanno richiesto più tempo per l'esecuzione del monitoraggio delle acque di falda, si sono conclusi con le ultime letture, effettuate a fine luglio 2013.

In base a tali nuovi dati ed alle modifiche progettuali apportate nel progetto definitivo, circa lo sviluppo delle volumetrie interrate, si è provveduto alla revisione del modello idrogeologico e alle conseguenti valutazioni sulla compatibilità degli scavi previsti, oggetto del presente elaborato, facendo riferimento alle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008 e relativa circolare esplicativa n° 617 datata 2 febbraio 2009 del C.S.LL.PP. valutando le potenziali criticità e proponendo le soluzioni tecnologiche ritenute più idonee.

Ai sensi dell'OPCM 3519/06 e della DGR 471/2010 della Regione Liguria, il territorio in esame è riportato nell'elenco regionale dei comuni in Zona Sismica 3.

Alla luce degli elementi emersi nel corso delle indagini si ritiene di poter esporre quanto segue.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- ***Norme Tecniche per le costruzioni 2008*** – Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.
- ***Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*** – Istruzioni per l'applicazione delle "*Norme tecniche per le costruzioni*" di cui al D.M. 14 gennaio 2008 – Circolare n° 617 del 2 febbraio 2009.
- ***Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici*** – Pericolosità sismica e Criteri Generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n° 36 del 27 luglio 2007.

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

- ***Regione Liguria (2008)*** - D.G.R. n. 1308 del 24/10/2008 - O.P.C.M. 3519/2006 Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Liguria.
- ***Regione Liguria (2010)*** - D.G.R. n. 471 del 22/03/2010 "Criteri e linee guida regionali, ai sensi dell'art.1, comma 1 della l.r. 29/83, per l'approfondimento degli studi geologico-tecnici e sismici a corredo della strumentazione urbanistica comunale".
- ***Regione Liguria (2010)*** - D.G.R. n. 1362 del 19/11/2010 "Norme tecniche per le costruzioni. Aggiornamento della classificazione sismica del territorio della Regione Liguria".
- ***Eurocodice 8 (1998)*** – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003).
- ***Eurocodice 7.1 (1997)*** – Progettazione geotecnica – Parte I: regole generali.
- ***Eurocodice 7.2 (2002)*** – Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).
- ***Eurocodice 7.3 (2002)*** – Progettazione geotecnica – Parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002).

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

La caratterizzazione geotecnica del terreno in cui si effettueranno gli interventi, deriva integralmente dalle risultanze della campagna di indagini svolta e descritta ampiamente nelle relazioni geologica e geotecnica già in atti qui richiamate e dagli approfondimenti desunti dal monitoraggio delle acque di falda fin qui svolto.

La stratigrafia del sito oggetto d'intervento, dal piano campagna fino alla profondità investigata, può essere così sintetizzata: circa 1,00 metro di riporto e/ o terreno vegetale che verranno completamente rimossi durante le prime fasi di intervento, sovrapposti a *sabbie ghiaiose (I)* da - 1.0 a -3.0 m dal p.c.; seguono uno strato di sedimenti grossolani denominati *ghiaie sabbiose* poste alla profondità di -3.0 / -5.0 m dal p.c.; tali sedimenti sono sovraimposti alle *sabbie medio fini/ fini* riscontrabili da -5.0 a -12.0 m dal p.c.. Successivamente si riscontrano *sabbie* da -12.0 a -17.0 m dal p.c., *sabbie ghiaiose II* da -17.0 a -23.0 m dal p.c. e *sabbie ghiaiose/ciottolose* da -23.0 a -30.0 dal p.c.. Il bedrock suddiviso in tre livelli è stato rilevato unicamente mediante prospezione sismica con le seguenti suddivisioni: *bedrock I* da – 30.0 a -41.0 m dal p.c., *bedrock II* da – 41.0 a -51.0 m dal p.c. e *bedrock III* da – 51.0 dal p.c..

Di tali intervalli quelli che verranno interessati dall'esecuzione degli scavi e quindi coinvolti nella scelta delle opere provvisionali e fisse per la realizzazione dei volumi interrati sono quelli contenuti nei primi 8,00 metri di profondità dal piano campagna ovvero costituiti, escluso il riporto ed il terreno vegetale superficiali, dalla seguente successione: sabbie ghiaiose (I) comprese tra - 1.0 e -3.0 m dal p.c.; ghiaie sabbiose, presenti da -3.0 a -5.0 m dal p.c. e sabbie medio fini/ fini comprese tra -5.0 e -12.0 m dal p.c. come evidenziato nella seguente sezione semplificata.

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

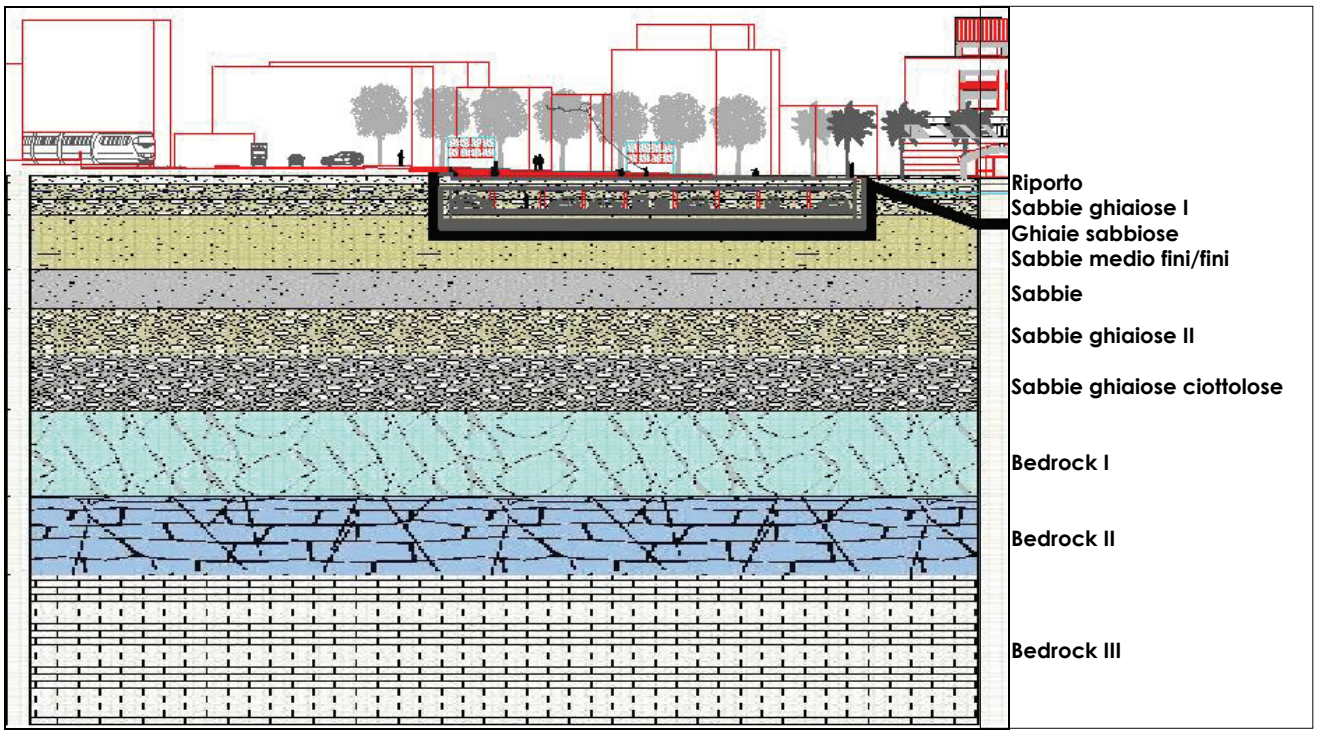


Figura 4.1: Sezione geotecnica semplificata con sovrapposizione dei volumi di scavo.

I parametri medi degli strati interessati dallo scavo dei volumi interrati sono ripresi dalla relazione geotecnica in atti, alla quale si rimanda per eventuali ulteriori dati, e qui integralmente richiamati

Sabbie ghiaiose I tra 1 e 3 metri dal p.c.: costituito da sabbie ghiaiose caratterizzate da:

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.: 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 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it.it website:www.studiogeolab.it

Sabbie medio fini/fini tra 5 e 12 m dal p.c.: sabbie medio fini e fini coi seguenti valori medi:

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

5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

La caratterizzazione idrogeologica è stata eseguita mediante modellazione numerica mediante il software dedicato VisualMODFLOW 2011.1 della Schlumberger Water Service (SWS) che utilizza come base il software MODFLOW messo a punto dall'USGS e 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.

Il modello idrogeologico esteso per il progetto preliminare è stato implementato, in questa fase progettuale, mediante l'integrazione dei dati ottenuti dal monitoraggio idrogeologico svolto, seppur in modo non continuativo, dall'ottobre-novembre 2010 alla fine di luglio 2013 ed introducendo alcune modifiche apportate al progetto preliminare dei volumi sotterranei ed in particolare: la divisione in due parti dell'autorimessa principale con una separazione di circa 12,00 tra i due corpi risultanti e la riduzione ad un unico piano interrato per quanto riguarda l'autorimessa al di sotto della piazza.

Dalle risultanze del modello idrogeologico rimodulato in tale fase progettuale emerge che si può confermare il modello idrogeologico sviluppato per il sottosuolo del sito di seguito descritto: "*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*

[3] 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 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it.it website:www.studiogeolab.it

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".

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.

L'andamento dei volumi interrati in progetto rispetto alla direzione della falda freatica è di tipo pseudo-ortogonale, nel senso della lunghezza delle strutture stesse e pertanto, in assenza di presidi di protezione idrogeologica, ostacolerebbero il normale deflusso delle acque sotterranee: per evitare ciò le opere di contenimento dovranno essere accompagnate da trincee drenanti aventi al funzione di 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..

6. ANALISI DELLE PROBLEMATICHE

Considerando la situazione presentata nei capitoli precedenti, con riferimento sia alla caratterizzazione geotecnica del sito sia alle risultanze del monitoraggio idrogeologico, il criterio fondamentale con il quale sono state previste le strutture di carattere provvisionale e fisso accessorie alla realizzazione degli scavi è quello di non interferire con il regime della falda ne nel breve periodo – esecuzione – ne a lungo termine – fase di esercizio -.

Durante l'esecuzione dello scavo, al fine di non utilizzare sistemi di aggottamento del livello piezometrico sia al fine di evitare fenomeni di sifonamento da fondo scavo è prevista la realizzazione di un confinamento mediante paratia tirantata e realizzazione di "tappo di fondo" mediante jet iniezione come evidenziato nella successiva immagine.

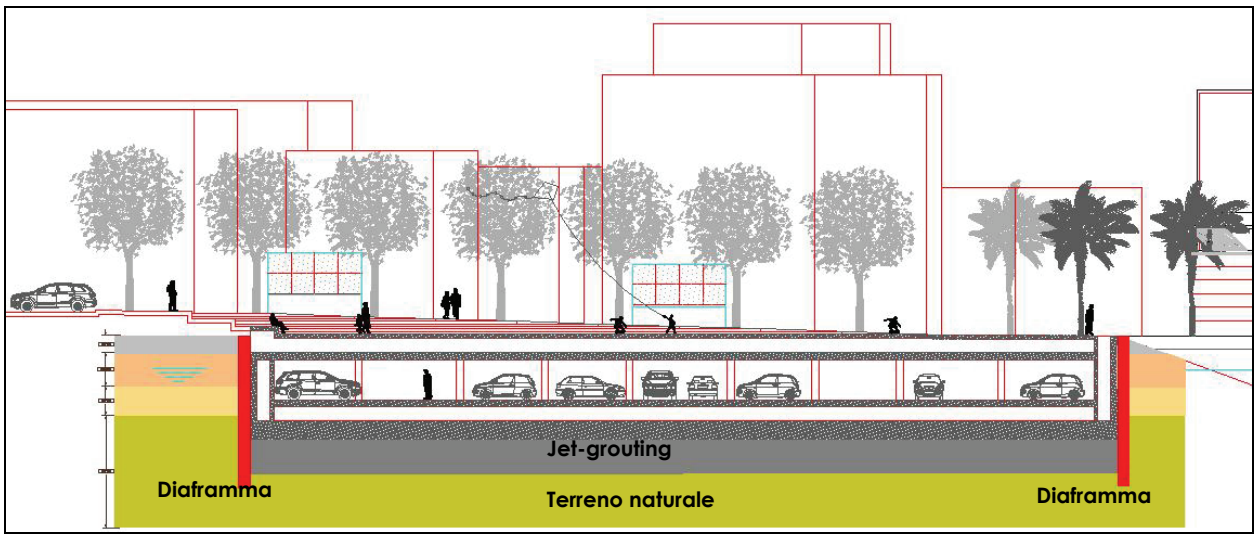


Figura 5.1: sezione tipo

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

La soluzione con tiranti potrebbe essere evitata qualora si utilizzasse la tecnica dei diaframmi puntone che risulterebbe sicuramente meno invasiva rispetto all'adiacente infrastruttura ferroviaria.

Le soluzioni tecniche adottate, a lungo termine, si configurano pertanto come una barriera impermeabile posta all'interno dell'ampio e vasto acquifero freatico, caratterizzato da una direzione di deflusso ortogonale alla linea di costa così come i manufatti; va evidenziato qui che, come anticipato in esordio, la struttura principale è stata suddivisa in due corpi e in corrispondenza dei manufatti delle Ferrovie le paratie, nella zona di monte, dovranno essere dotate di trincea drenante atta a impedire l'innalzamento della superficie freatimetrica al di sotto della superficie ferroviaria nonchè a ridurre il carico idraulico sulle strutture stesse durante le fasi di scavo, e mitigare l'azione della spinta idraulica durante le fasi di esercizio. È inoltre da evidenziare che la porzione di acquifero interessata dall'intervento, ancorché lo stesso sia di dimensioni rilevanti, interessa unicamente la sua porzione più superficiale.

In via teorica la presenza dei manufatti previsti a progetto limitando i moti di filtrazione all'interno dell'acquifero potrebbero indurre i seguenti effetti:

- innalzamento del livello freatico a monte ed in particolare al carico del piano del ferro;
- riduzione dell'apporto di acqua dolce verso linea di costa e favorire la risalita del cuneo salino.

Tali aspetti, palesati dai Funzionari della Regione Liguria, hanno condotto, già durante la fase di progettazione preliminare, alla predisposizione del modello idrogeologico già descritto precedentemente che ha evidenziato, sia nella fase di studio preliminare, sia in questa di progettazione definitiva, che l'intervento come proposto non interferisce in modo significativo con l'acquifero purché siano adottate le tipologie di opere geotecniche a suo tempo previste e qui di seguito richiamate integralmente.

7. INDIVIDUAZIONE DELLE PRINCIPALI CATEGORIE DI OPERE GEOTECNICHE[4].

Le principali categorie di opere da effettuarsi per lo sviluppo dell'intervento in oggetto saranno essenzialmente le seguenti:

- **Trincee drenanti:** tutte le opere di contenimento prossime all'abitato od alla rete ferroviaria dovranno essere dotate di trincee drenanti aventi lo scopo di regolare l'escursione massima dell'altezza di falda arrecando il minor disturbo possibile al regime idrogeologico del sito: verranno costruiti 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, il cui dimensionamento definitivo nonché la funzionalità saranno verificati entro apposita relazione idrogeologica contenente i dati del monitoraggio di lungo termine, ancora in corso, e che saranno utilizzati entro la modellazione idrogeologica specificatamente condotta con software dedicato.

[4] Dovranno essere tutte correttamente dimensionate e verificate in fase esecutiva, ai sensi del NTC, utilizzando i parametri geotecnici caratteristiche e di progetto che dovranno essere individuati dal progettista geotecnico incaricato dello sviluppo della relazione geotecnica esecutiva.

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

- **Paratia di sostegno con diaframma semplice in calcestruzzo armato:** dovranno essere sviluppate per l'edificazione delle autorimesse interrate: lo scavo in trincea verrà eseguito impiegando del fango bentonitico che, avendo densità superiore a quella dell'acqua, non penetrerà nelle pareti del foro, ma vi verrà compresso nel momento di inserimento dell'utensile di scavo, depositando sulle pareti del foro uno strato di Montmorillonite. Una volta ultimato lo scavo verrà eseguito il getto di calcestruzzo che essendo più pesante del fango andrà ad assestarsi sul fondo mentre la bentonite risalirà fuoriuscendo dal foro per essere filtrata e nuovamente riutilizzata. Alla sommità del diaframma potrà essere realizzato un cordolo armato con lo scopo di solidarizzare tutti i setti verticali. In particolare l'approfondimento dovrà essere progettato, con l'ausilio di parametri geotecnici caratteristici e di progetto da determinare nel corso della relazione geotecnica esecutiva, in modo tale da permettere un perfetto immorsamento dell'opera in profondità senza dar luogo ad alcun fenomeno di instabilità.
- **Paratia di sostegno con diaframma ancorato in calcestruzzo armato:** hanno lo stesso scopo e la medesima modalità esecutiva delle summenzionate paratie di sostegno con diaframma semplice in calcestruzzo armato, solo che al fine di permettere il raggiungimento di più elevate condizioni di esercizio potranno essere dotate, nella parte alta, di fori per introdurvi dei tiranti. Tale metodologia potrà essere sviluppata presso il fronte sito in prossimità della linea ferroviaria ed i tiranti potranno svilupparsi al di sotto della stessa (previ accordi con le FF.SS.), ma con caratteristiche tali da garantirne un uso prettamente provvisionale. In alternativa alle tirantature possono essere utilizzati dei **diaframmi puntone** quali contrasti alle paratie.
- **Tamponi di fondo**: potranno essere sviluppati per mezzo di jet grouting, come elemento di tenuta idraulica finalizzata all'impermeabilizzazione degli scavi sotto falda con interassi esecutivi ridotti al fine di rendere ininfluenti sulla tenuta gli errori esecutivi (quali non perfetto controllo delle aste di perforazione ecc..) che inevitabilmente affliggeranno tale lavorazione. Il dimensionamento esecutivo dovrà essere tale da far si che il tampone sia in grado di resistere alla sottospinta dell'acqua che può essere contrastata con il semplice peso del tampone o con il contributo di tiranti. Qualora le modalità esecutive siano tali da avere un tratto superiore non trattato, la parte inferiore trattata dovrà essere dimensionata in modo tale da permettere "l'eliminazione" dell'acqua dalla parte superiore, tramite pozzi o well point, e resistendo alla sottospinta dell'acqua.
- **Consolidamenti tramite Jet grouting**: qualora dall'esame degli elaborati progettuali originari degli edifici che dovranno essere preservati all'interno del sito si rilevasse la necessità di effettuare consolidamenti per permettere lo sviluppo degli sbancamenti necessari alla formazione degli spacchi d'acqua interni al porto turistico, tali opere potranno essere effettuate tramite la costruzione di diaframmi o porzioni di terreno consolidato tramite colonne su doppia o tripla fila.
- **Scavi di sbancamento**: sebbene in base alle risultanze della relazione geologica allegata al progetto e all'attenta osservazione delle caratteristiche morfologiche e litostratigrafiche, 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 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 più 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

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

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.

- **Colmate e riempimenti:** 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 omogeni, 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 o 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.
- **Fondazioni su pali**: in considerazione dell'agevole accessibilità dei luoghi, anche con mezzi d'opera di grosse dimensioni, si ritiene che le fondazioni dell'insediamento industriale di neoedificazione da ubicarsi sulla parte di colmata, nonché del nuovo albergo ed ovunque risulti necessario raggiungere un adeguato substrato di fondazione possano essere sviluppate tramite pali trivellati di grosso diametro da effettuarsi con rivestimento delle pareti di scavo tramite tubazione metallica di grosso diametro. Tali opere di fondazione indirette dovranno essere approfondite fino al raggiungimento dei sedimenti con caratteristiche geotecniche idonee all'intervento e dovranno essere verificate, anche in corso d'opera come da dettato delle NTC.

8. APPROFONDIMENTI DI INDAGINE PROPEDEUTICI ALLO SVILUPPO DELLA PROGETTAZIONE ESECUTIVA.

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° 1 campagna di indagini a carotaggio lato monte/ferrovia da attrezzare a piezometro per la verifica del livello della falda in corso di esecuzione degli interventi e successivamente per monitoraggio.
- N° 1 campagna di indagini a carotaggio continuo con estrazione di campione e prelievo di campioni indisturbati da sottoporre ad indagini di laboratorio geotecnico, per il raffittimento dei dati ad oggi disponibili e la verifica dell'attuale modello geologico e geotecnico definitivo.
- N° 1 campagna di indagini CPT, lato ferrovia, da condursi per mezzo di idoneo penetrometro statico.

9. MONITORAGGI IN CORSO D'OPERA E POST OPERAM.

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 ritengono necessari i seguenti monitoraggi che potranno essere integrati ed eventualmente modificati dal progettista "esecutivo" delle opere geotecniche.

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

Lo studio geologico dell'area e la determinazione delle condizioni al contorno del sito d'intervento in concomitanza con l'analisi del progetto in generale e delle opere di contenimento degli scavi in particolare, hanno permesso di definire le seguenti principali grandezze da monitorare che sono propedeutiche alle scelte delle tecniche, della metodologia e delle strumentazioni utili per impostare, programmare ed eseguire il monitoraggio.

- Grandezze da monitorare durante la realizzazione dei diaframmi e dello scavo per raggiungere la quota delle fondazioni:
    1. Deformazione della superficie topografica
    2. Deformazioni degli strati di terreno profondi
    3. Rotazioni, distorsioni e cedimenti o innalzamento delle strutture interferenti
    4. Deformazione dei servizi e sottoservizi
    5. Deformazione della struttura di contenimento degli scavi
    6. Variazione del livello idrico e della superficie della falda.

    per la cui definizione sono stati individuati metodi topografici (punti 1), 3), 4) ed 5)) e geotecnici (punti 2), 4), 5) ed 6)).
- Grandezze da monitorare a scavo eseguito e durante la realizzazione delle fondazioni:
    7. monitoraggio del fondo scavo finalizzato a verificare eventuali innalzamento dello stesso
    8. monitoraggio delle temperature dei getti massivi dei solettoni costituenti le platee di fondazione
    9. monitoraggio dei movimenti dei solettoni di fondazione post realizzazione.

In particolare la misura delle grandezze di cui al punto elenco 1 sono di tipo topografico monodimensionale e possono essere effettuate attraverso la misura cadenzata nel tempo di sezioni trasversali alla paratia opportunamente materializzate, mentre le misure delle grandezze di cui al punto elenco 2 sono di tipo geotecnico e possono essere realizzate mediante l'uso di assestimetri ed inclinometri.

Le misure delle grandezze di cui al punto elenco 3 sono di tipo topografico tridimensionale: la rotazione e l'inclinazione degli edifici può essere definita attraverso l'utilizzo di inclinometri biassiali, da GPS opportunamente ingegnerizzati, mire fisse e capisaldi di livellazione su ogni edificio/struttura monitorata.

Le misure delle grandezze di cui al punto elenco 4 sono di tipo topografico tridimensionale e geotecnico, direttamente correlate e dipendenti dalle risultanze delle deformazioni di cui al punto 1 e 2.

Le misure delle grandezze di cui al punto elenco 5 sono di tipo topografico tridimensionale e geotecnica monodimensionale e bidimensioanle; quelle topografiche possono essere ottenute con mire fisse poste sul cordolo di testa e lungo la faccia della paratia di contenimento dello scavo, quelle geotecniche possono essere ottenute con:

- inclinometri posti direttamente nei diaframmi e immediatamente a tergo degli stessi;

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

- barrette estensimetriche per verificare le tensioni/deformazioni in corrispondenza delle massime sollecitazioni delle armature dei diaframmi;
- celle di carico predisposte sulle teste di ancoraggio degli eventuali tiranti per la verifica dello sforzo assiale.

Le misure delle grandezze di cui al punto elenco 6 sono di tipo geotecnico monodimensionale per valutare gli effetti degli scavi a breve e lungo termine sul regime della falda attraverso l'utilizzo di freatimetro.

Le misure delle grandezze di cui al punto elenco 7 sono di tipo geotecniche e topografiche monodimensionale.

Le misure delle grandezze di cui al punto elenco 8 sono di tipo geotecnico.

Le misure delle grandezze di cui al punto elenco 9 sono di tipo topografico monodimensionale.

In aggiunta, sulla base di quanto rilevabile nelle immediate vicinanze al sito d'intervento, si può valutare la necessità di introdurre il controllo dell'evoluzione dei quadri fessurativi di lesioni preesistenti negli edifici e nelle strutture interferenti e/o nella struttura di contenimento degli scavi, con lo svilupparsi dell'avanzamento dei lavori.

Individuate le grandezze da monitorare occorre definire la tipologia del monitoraggio, se manuale e/o automatica, che è direttamente correlata e dipendente dalla tempistica di fruizione dei risultati derivati dalle singole misurazioni.

In particolare si ritiene idoneo il *monitoraggio manuale* per la definizione delle grandezze di cui ai punti elenco 1, 2, 3, 5, 6, 7, e 9 e il *monitoraggio automatico* per la definizione delle grandezze di cui ai punti elenco 3, 5 ed 9.

PIANO DI MONITORAGGIO

Il piano di monitoraggio dovrà comprendere:

- Rete d'inquadramento topografico estesa a tutta l'area all'intorno della zona soggetta a progetto di riqualificazione;
- Reticolo di controllo topografico esteso alle aree prospicienti gli edifici e le strutture potenzialmente interferenti e collegato con il monitoraggio topografico dei fabbricati e delle strutture stesse;
- Sezioni strumentate per il controllo geotecnico comprendenti:
  - esternamente al perimetro della paratia: inclinometri ed assestimetri multibase;
  - internamente al diaframma: inclinometri, barrette estensimetriche sulle armature e celle di carico sugli eventuali tiranti.
- Verticali di misura del livello di falda tramite celle di Casagrande con misura elettrica della pressione o altra strumentazione con funzioni analoghe.

PERIODICITÁ DELLE MISURE

L'installazione della strumentazione in foro, prevista all'esterno del perimetro di scavo (inclinometri, assestimetri e piezometri), dovrà essere eseguita prima dell'inizio dell'esecuzione

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

dei diaframmi afferenti, ogni sezione con anticipo di almeno 15 giorni al fine di permettere la maturazione della malta di ancoraggio e la lettura di zero.

Le mire topografiche sugli edifici e sul piano campagna, in particolare quelle di monitoraggio del piano del ferro, dovranno essere collocate almeno una settimana prima dell'inizio dello scavo dei diaframmi.

Le letture successive saranno eseguite ad ogni fase sensibile allo scopo di seguire costantemente l'effettiva risposta dell'opera privilegiando le fasi di approfondimento dello scavo che seguiranno la tesatura dei diversi livelli di tiranti (eventuali). Altre misure potranno essere necessarie secondo la necessità.

In ogni caso si indica la seguente tempistica di misurazione:

- nel corso dell'esecuzione dei diaframmi;
- nel corso dello scavo fino al primo (eventuale) livello di tiranti;
- nel corso dell'esecuzione dei tiranti (eventuali) del 1° livello ;
- nel corso dello scavo fino al secondo (eventuale) livello di tiranti;
- nel corso dell'esecuzione dei tiranti (eventuali) del 2° livello;
- nel corso dell'esecuzione del solettone di fondo.

In tutte queste attività si individuerà per ciascun lato del perimetro due fasi di misura corrispondenti rispettivamente all'esecuzione del 50% e del 100% dell'attività specifica.

Nella fase di realizzazione del solettone di fondo scavo le misure si eseguiranno con cadenza quindicinale fino a completamento della maturazione. Successivamente dovranno essere eseguiti controlli con cadenza bimestrale fino al completamento delle strutture interrate.

Savona, agosto 2013

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

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

INDICE ALLEGATI

UBICAZIONE INDAGINI 15
INDIVIDUAZIONE PRINCIPALI OPERE GEOTECNICHE 16
Diaframmi semplici 16
UBICAZIONE NUOVE INDAGINI/MONITORAGGI 17
Indagini geognostiche di raffittimento 17

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

ALLEGATO 1

UBICAZIONE INDAGINI

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);

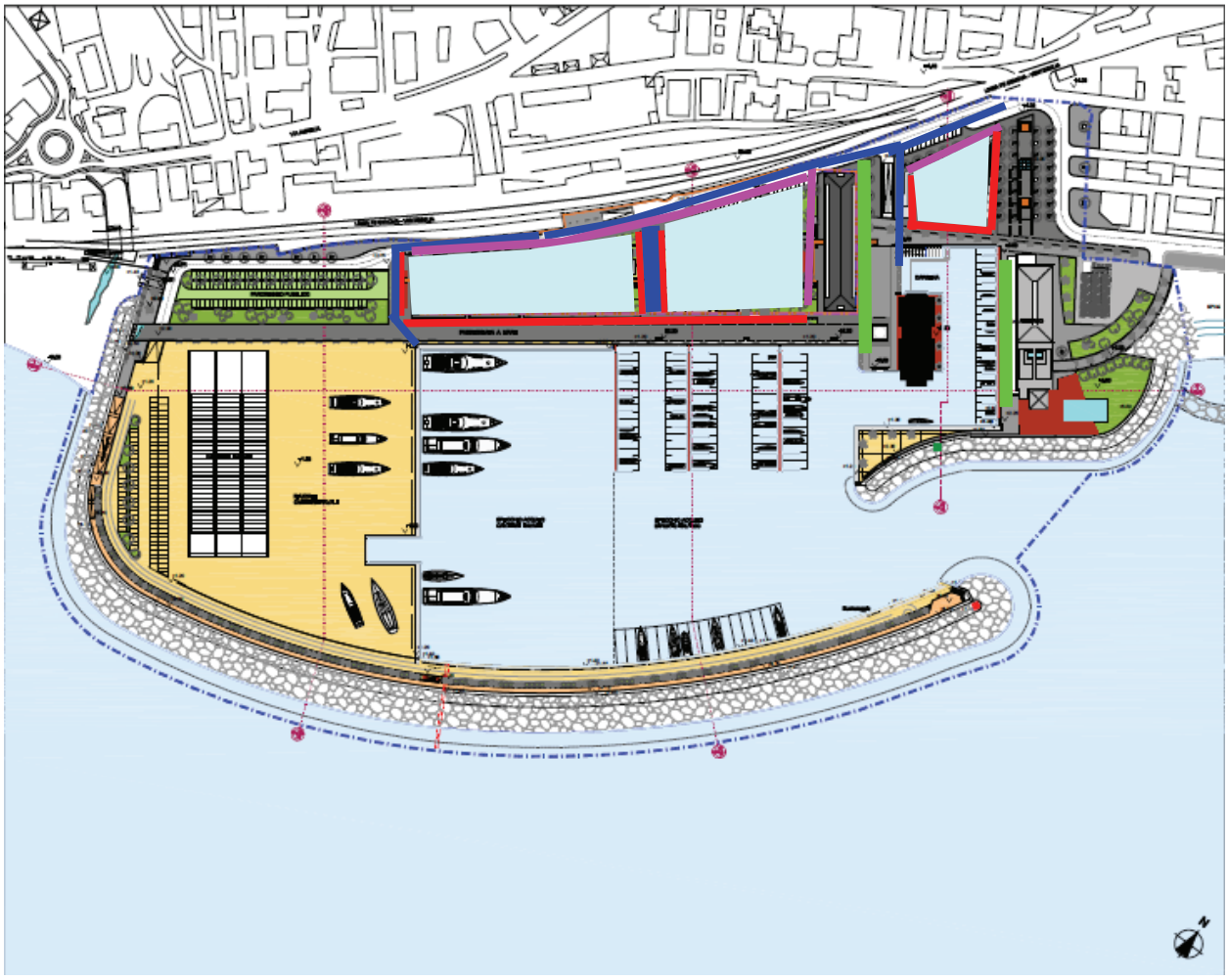


Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it.it website:www.studiogeolab.it

ALLEGATO 2

INDIVIDUAZIONE PRINCIPALI OPERE GEOTECNICHE

	Diaframmi semplici
	Diaframmi tirantati
	Tamponi di fondo in jet grouting
	Consolidamenti in jet grouting
	Trincee drenanti

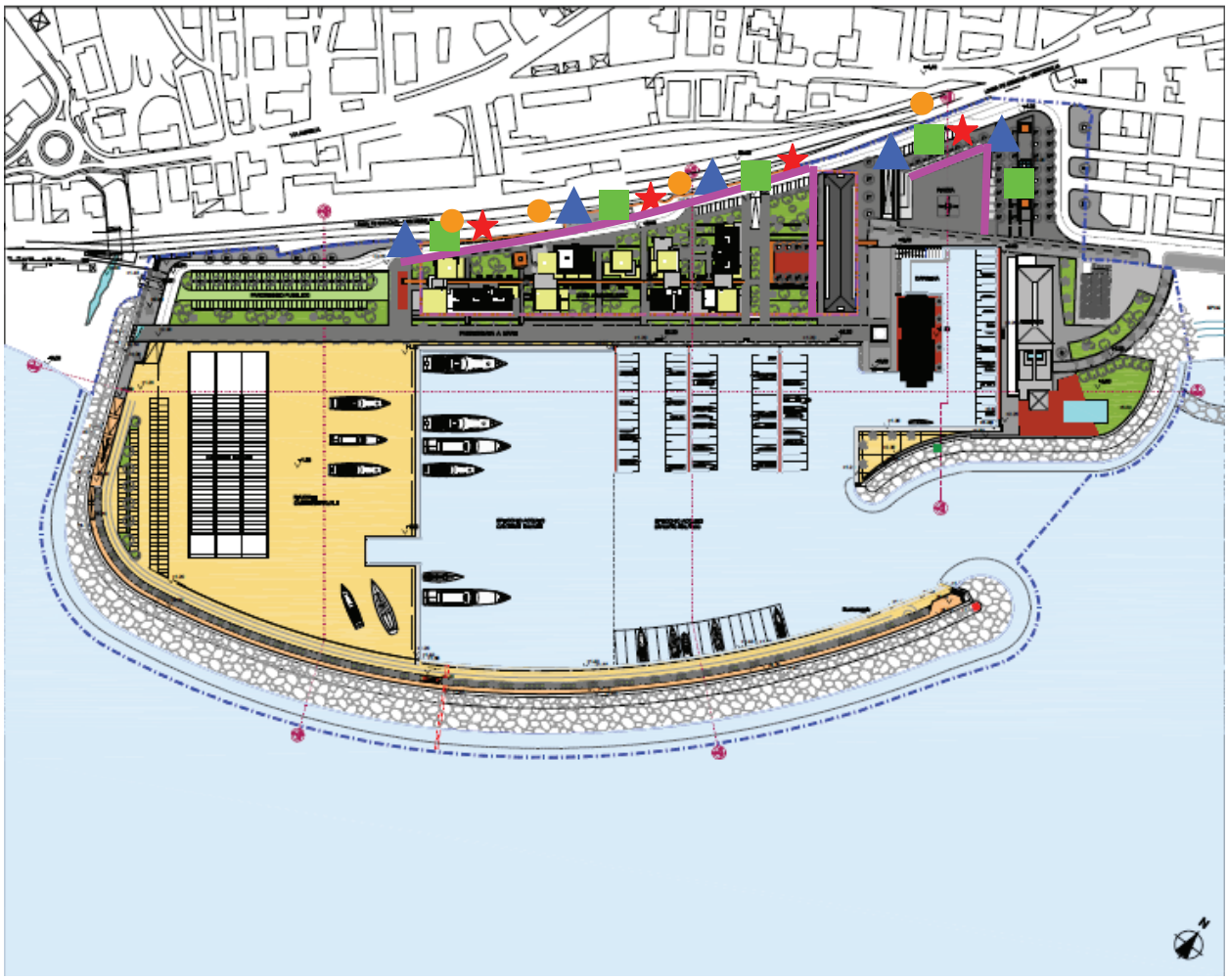


Piazza Diaz 11/5 - 17100 Savona – Tel./Fax. 0192051420 – P. IVA: 01148260092 – e_mail: geolab@studiogeolab.it.it website:www.studiogeolab.it

ALLEGATO 4

UBICAZIONE NUOVE INDAGINI/MONITORAGGI[5]

★	**Indagini geognostiche di raffittimento**
■	**Indagini CPT**
▬	**Paratie da strumentare**
▲	**Punti di monitoraggio della falda**
●	**Inclinometri esterni**



[5] In quantità e posizione indicativa

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