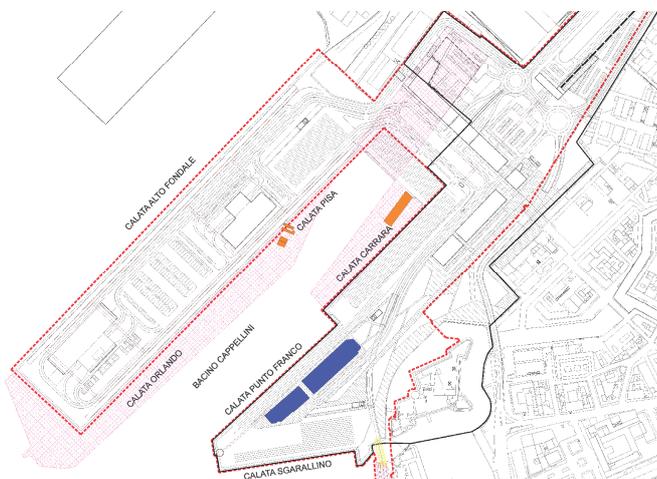




Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Settentrionale



Porti di Livorno, Piombino,
Portoferraio, Rio Marina,
Cavo, Capraia Isola



TIPO: **PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

TITOLO:
**ADEGUAMENTO AL PRP DELLE STRUTTURE PORTUALI
LIMITROFE ALLA STAZIONE MARITTIMA DI LIVORNO
LAVORI DI RESECAZIONE DELLE BANCHINE PORTUALI**

OGGETTO:
RELAZIONE GEOLOGICA

Progettazione

DIREZIONE INFRASTRUTTURE



Andrea Carli

Professionisti esterni incaricati

CRITERIA

Criteria S.r.l.
Città: Ricerche: TFRitortorio: Innovazione: Ambiente
via Cugia, 14 09129 Cagliari (Italy)
tel. +39 070303583 - fax +39 070301180
www.criteri.eu

Responsabile Unico del Procedimento:
Ing. Andrea Carli

Dirigente responsabile:
Ing. Enrico Pribaz

FORMATO/FORMAT	SCALA/SCALE	COD. ELABORATO	DISEGNO No./DRAWING No.	TAV/PLATE. No.		
A4	1 : 1	01-20-P2000-PF-RG-00		RG-00		
0	Giu. 2020	PRIMA EMISSIONE	CRITERIA SRL	CA	EP	
REV.	DATA/DATE	DESCRIZIONE/DESCRIPTION	ESEGUITO/BY	CONTR./CHKD	APPROV.	



*Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Settentrionale*



Porti di Livorno, Piombino,
Portoferraio, Rio Marina,
Cavo, Capraia Isola.

SERVIZIO DI PROGETTAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE DELLE OPERE DI "ADEGUAMENTO AL PRP DELLE STRUTTURE PORTUALI LIMITROFE ALLA STAZIONE MARITTIMA DI LIVORNO – LAVORI DI RESECAZIONE DELLE BANCHINE PORTUALI"

Il RUP e il Direttore della prestazione
Ing. Andrea Carli

C R I T E R I A

Criteria S.r.l.
Città:Ricerche:TERritorio:Innovazione:Ambiente
via Cugia, 14 09129 Cagliari (Italy)
tel. +39 070303583 - fax +39 070301180
www.criteria.eu

Coordinamento e Responsabile dello Studio

Geol. Maurizio Costa
(*Direttore Tecnico*)
Firmato digitalmente

Assistenza tecnica e verifica

Geol. Antonio Pitzalis
Geol. Chiara Porru

RELAZIONE GEOLOGICA E PIANO DI INDAGINE

GIUGNO 2020

Versione: finale

Adeguamento al PRP delle strutture portuali limitrofe alla Stazione Marittima di Livorno
Progetto di Fattibilità Tecnico Economica – Relazione Geologica

Rev.	Cod. Elaborato	Data	Redatto	Verificato	Approvato
			M. Costa		
			A. Pitzalis	A. Pitzalis	
02	A20_12_Rel_Geo_PL_02	24 Giugno 2020	C. Porru	M. Costa	M. Costa

INDICE

1	PREMESSA	3
1.1	Normativa di riferimento	4
2	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI	5
3	VINCOLI E VERIFICA DELLE PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ GEOLOGICA	9
4	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	14
4.1	Assetto geologico	15
4.2	Assetto geomorfologico e idrografico	19
4.3	Assetto idrogeologico	22
5	MODELLO STRATIGRAFICO E CARATTERI GEOTECNICI	23
6	PIANO DI INDAGINE	32
7	CONCLUSIONI	38
8	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	40
9	APPENDICE – DISCIPLINARE TECNICO GENERALE PER LE INDAGINI	44
10	ALLEGATO 1 – PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI PREGRESSE	61
11	ALLEGATO 2 – QUADRO SINOTTICO PARAMETRI INDAGINI PREGRESSE	62
12	ALLEGATO 3 – SEZIONI GEOLOGICHE	63

1 PREMESSA

Il presente studio geologico preliminare è stato sviluppato su mandato dell' Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale di Livorno, nell'ambito del progetto di Fattibilità Tecnico Economica per il riassetto funzionale dell'intera area attorno all'attuale Stazione Marittima del Porto di Livorno, al fine di renderla idonea ad accogliere anche il traffico crocieristico e di potenziare l'attuale traffico traghetti.

Gli interventi in progetto prevedono:

- l'ampliamento dello specchio acqueo del Bacino Cappellini, condizione che consentirà l'approdo contemporaneo in sicurezza di navi su entrambe le sponde, da attuare principalmente mediante la resecazione (ridefinizione geometrica in riduzione) delle attuali banchine sulle Calate Orlando, Pisa e Carrara,
- riduzione del Bacino Firenze tramite il tombamento, così da poter realizzare nuovi piazzali di imbarco.

La seguente relazione ha lo scopo di:

- descrivere i caratteri geologici e geologico-tecnici relativi all'area del Porto di Livorno e dell'ambito di intervento, sulla base di studi e indagini geognostiche pregresse,
- definire il piano di indagine di caratterizzazione geologica e geotecnica necessario ai fini degli interventi proposti.

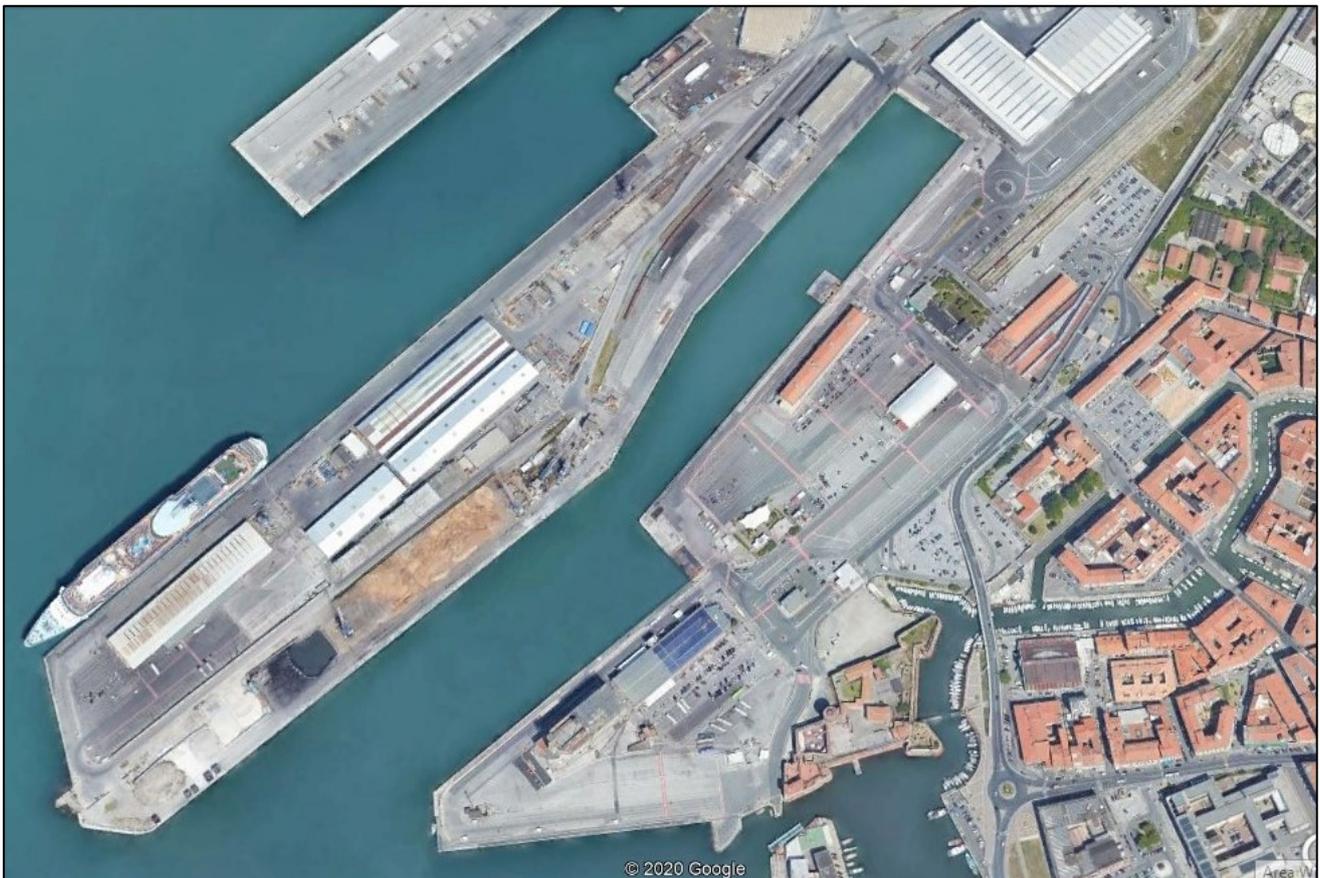


Figura 1 - Area in studio

1.1 Normativa di riferimento

La normativa d'interesse per il presente documento è sintetizzata di seguito:

- Decreto ministeriale (Ministero dei lavori pubblici) 11 marzo 1988, "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Circolare Ministero dei Lavori Pubblici 9 gennaio 1996, n. 218/24/3, "Legge 2 febbraio 1974, n. 64. Decreto del Ministero dei lavori pubblici 11 marzo 1988. Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica";
- D. Lgs. 49/2010, di attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione del rischio alluvioni
- Decreto Ministeriale (infrastrutture) 17 gennaio 2018, "Aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni» (NTC 2018).
- Circolare 21 gennaio 2019, n°7, (GU 11/2/2019 n°35 – suppl. ord. N°5) contenente le Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14 gennaio 2008.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27/07/2007S Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale;
- Eurocodice 8 – 1998 – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura 2003);
- Eurocodice 7.1 – 1997 – Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI;
- Eurocodice 7.2 – 2002 - Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) - UNI;
- Eurocodice 7.3 – 2002 - Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in situ (2002) - UNI;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale (P.G.R.A.), adottato con Delibera n. 231 del 17/12/2015 dal Comitato Istituzionale Integrato ed approvato con Decreto n.294 del 25 ottobre 2016 dal Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare ed entrato in vigore in data 17/02/2017; Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I. - Bacino Toscana Costa aggiornato al novembre del 2004);
- Piano Strutturale e/o Regolamento Urbanistico comunale vigente ed adottato del Comune di Livorno con Del. di Consiglio Comunale n. 160 del 26 Luglio 2018;
- DIRETTIVA 2007/60/CE "Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni";
- DPGR 30 gennaio 2020, n. 5/R Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.
- D.L. 133/2014 "Misure urgenti per l'apertura dei cantieri, la realizzazione delle opere pubbliche, la digitalizzazione del Paese, la semplificazione burocratica, l'emergenza del dissesto idrogeologico e per la ripresa delle attività produttive" (G.U. n. 212 del 12 settembre 2014)
- Legge Regionale n. 41 del 24 luglio 2018 - Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014. Abrogazione della LR 21/2012
- Legge regionale 17 febbraio 2020, n. 7, Disposizioni in materia di rischio di alluvioni. Modifiche alla l.r. 41/018. (Bollettino Ufficiale n. 8, parte prima, del 21.02.2020).

2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

L'intervento in argomento prevede il riassetto funzionale dell'intera area attorno all'attuale Stazione Marittima, così da renderla idonea ad accogliere anche il traffico crocieristico, oltre al potenziamento dell'attuale traffico traghetti.

Le caratteristiche progettuali delle opere prevedono:

- La resecazione della testa del Molo Alto Fondale e delle banchine di Calata Orlando, Calata Pisa e Calata Carrara, così da realizzare un corridoio di accesso l'area del porto mercantile, tra i moli Alto Fondale e Mediceo, adeguato a garantire la manovra delle navi da crociera e a garantire una dimensione interna del Bacino Cappellini che consenta, in sicurezza, il contemporaneo accosto di due navi sulle opposte banchine;
- Il tombamento di buona parte del Bacino Firenze così da garantire, a fronte della riduzione delle superfici lungo banchina, nuovi spazi per la realizzazione di piazzali di attesa dei mezzi destinati all'imbarco.

Le operazioni di demolizione delle banchine attuali, dei primi 2-3 m di materiale di riporto e conferimento dello stesso a riempimento del bacino (o a discarica per gli strati di pavimentazione bituminosa), saranno condotte da terra.

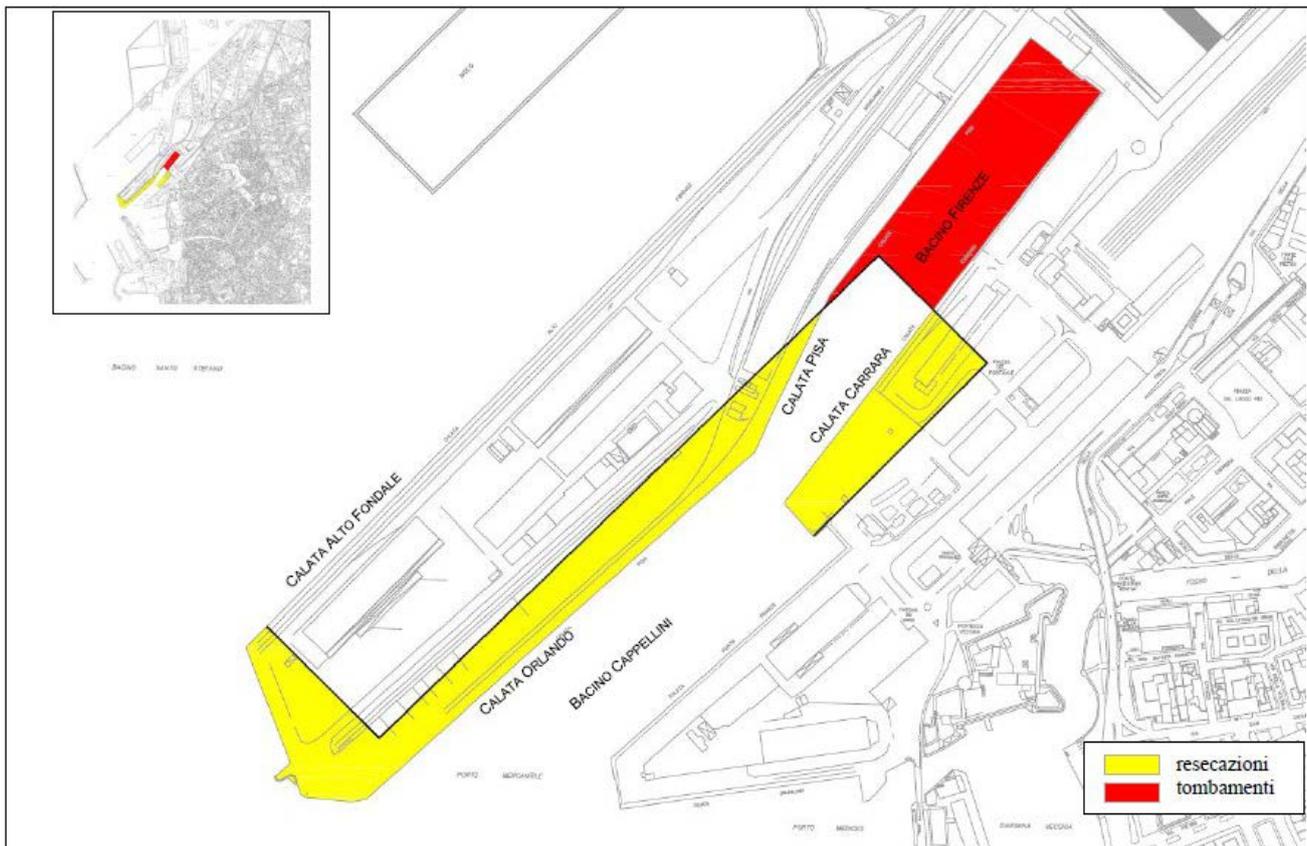


Figura 2. Ipotesi progettuale, planimetria.

Dal punto di vista strutturale, la scelta progettuale si è orientata verso la soluzione che prevede la completa realizzazione degli interventi con utilizzo di **palancolati metallici**, riservandosi di valutare nel dettaglio l'effettiva convenienza e opportunità operativa dell'utilizzo di cassoni per la chiusura del bacino di Firenze nei successivi approfondimenti progettuali.

La costruzione di un muro di sponda in palancole trattenuto in testa mediante tiranti geotecnici a bulbo di ancoraggio, inclinati di circa 30° e lunghi circa 35 m. Tale soluzione consente di operare preventivamente l'infissione del palancolato e la realizzazione dei tiranti profondi direttamente da terra, senza pregiudicare significativamente l'operatività degli attuali accosti, posti ad una distanza variabile tra 35 e 50 m dalla linea d'infissione, procedendo in seconda fase alla demolizione delle banchine. La profondità di scavo della zona di infissione del palancolato è di circa 2 metri.

Per il completamento della banchina a fronte dell'intervento di tombamento del bacino Firenze sarà utilizzata una tipologia simile. La struttura di contenimento della nuova banchina sarà realizzata mediante un doppio palancolato metallico: uno infisso lato mare, a costituire la nuova parete di contenimento e l'altro lato terra, a realizzare il contro-palancolato di ancoraggio. Le due pareti, distanti circa 25 m, saranno quindi vincolate tra loro in testa mediante tiranti in barre di acciaio ad alto limite di snervamento.

Per l'intervento si ipotizzano quindi due diverse modalità costruttive di realizzazione dei nuovi muri di banchina, distinte per le opere di resecazione a terra ed il confinamento del bacino oggetto di riempimento, Figura 25.

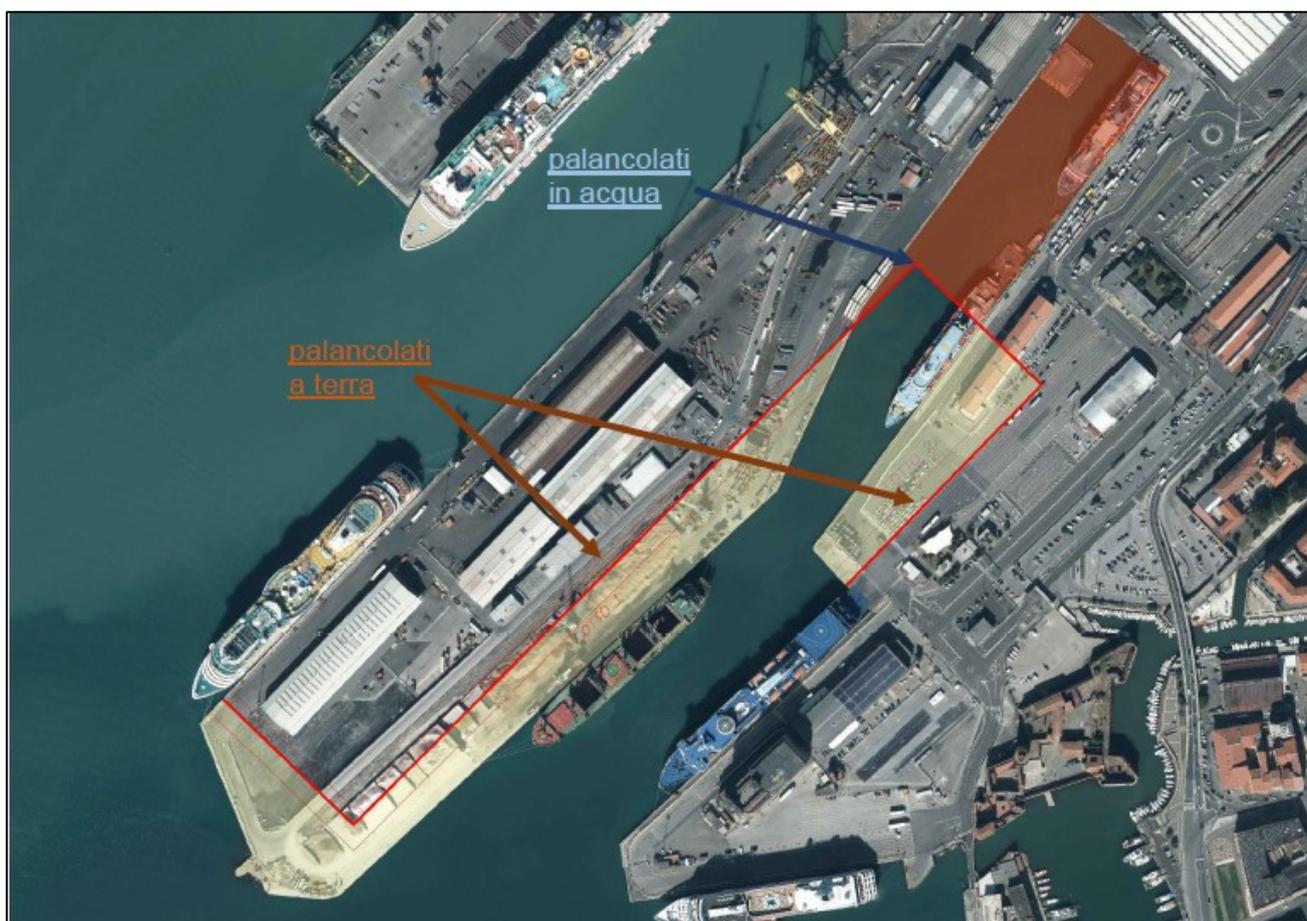


Figura 3. Localizzazione planimetriche delle due diverse tipologie strutturali di opere.

In entrambe le situazioni il paramento lato mare del banchinaggio sarà indifferentemente costruito in palancole metalliche laminare a caldo, **di altezza circa 24 m**, dei quali 10 m emergenti dal fondo del bacino ed i restanti infissi nel substrato sabbioso.

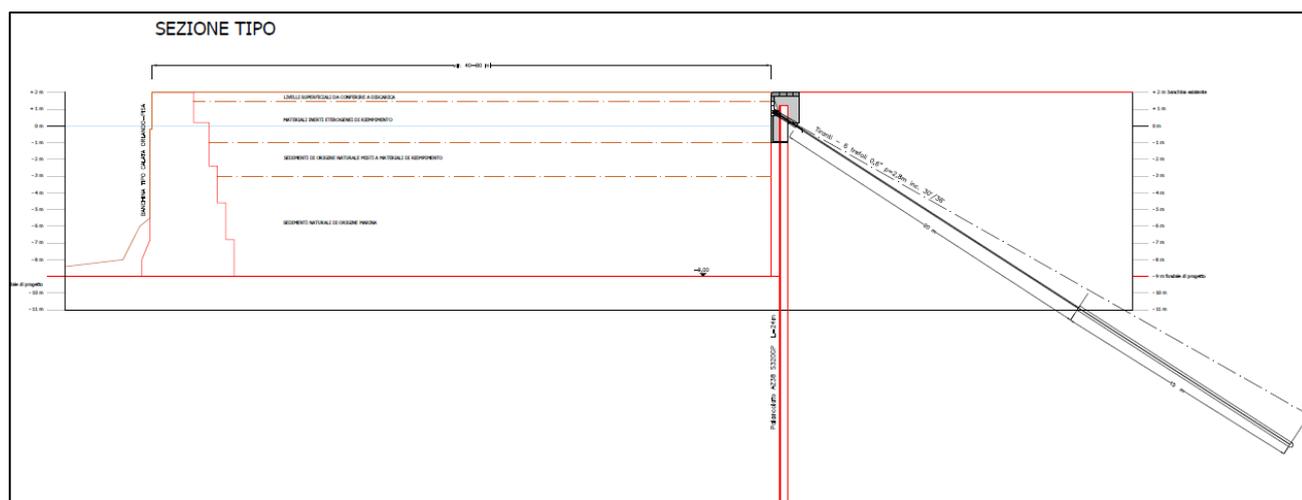


Figura 4. Sezione tipologica di resecazione delle banchine.

Dalla risagomatura degli accosti di Calata Orlando, Pisa e Alto Fondale, escludendo i volumi di riporto più superficiale, si valuta di dover movimentare circa 320.000 metri cubi di materie di varia natura, da destinare per la maggior parte al riempimento del Bacino Firenze. Per tale operazione si stimano tuttavia necessari circa 235.000 mc di materiale, i restanti quantitativi, selezionabili tra le porzioni di sedimenti marini presenti più in profondità, potranno trovare collocazione quale materiale di riempimento in vasca di colmata portuale. Nelle operazioni di riempimento si prevede di attuare un miglioramento del materiale dei riempimenti a mare, eseguiti con materiale proveniente dagli scavi di resecazione (costituiti prevalentemente da inerti lapidei misti a sabbie, sabbie limose e calcestruzzi in blocchi o frammenti derivanti dalla demolizione delle banchine attuali). Tali riempimenti necessitano di un trattamento di compattazione profonda per conseguire omogeneità, resistenze e rigidzze adeguate alla destinazione d'uso, che verrà eseguito mediante vibroflottazione. Dalle operazioni di resecazione della Calata Carrara si produrranno, inoltre, ulteriori 8.000mc di materiale inerte superficiale dei piazzali, per il quale è previsto il conferimento a discarica, 10.000mc di materiale inerte da riciclare derivante dalla demolizione della Stazione Marittima, 12.000mc di blocchi artificiali per i quali è possibile ipotizzare il riutilizzo nell'ambito di altre opere portuali, 53.000mc di materiali inerti di riporto misti a sedimenti, da poter riutilizzare in ambito delle colmate portuali previste negli interventi di PRP, e circa 70.000mc di sedimenti di origine marina dei quali è possibile ipotizzare il riutilizzo litoraneo e il conferimento a colmata.

Le attività necessarie all'esecuzione degli interventi descritti possono essere così sinteticamente riassumibili:

1. realizzazione da terra delle paratie di contenimento che costituiranno le nuove banchine, posizionate in posizione arretrata rispetto all'attuale filo di sponda;
2. realizzazione del palancoato di confinamento della porzione di bacino Firenze oggetto di tombamento;
3. rimozione e smaltimento via terra degli strati superficiali della pavimentazione bituminosa e del relativo sottofondo in materiale cementato o bitumato;
4. scavo e conferimento al sito di riutilizzo (riempimento bacino Firenze) dei materiali eterogenei, lapideo-terrosi, costituenti i primi due-tre metri di riempimento delle attuali banchine. Operazioni che possono essere portate a compimento totalmente per via terrestre;
5. demolizione dell'attuale struttura di banchina e contestuale avvio delle operazioni di scavo del materiale sotto falda e suo conferimento a riempimento del limitrofo bacino portuale e, nella quota parte dei volumi di sedimenti eccedenti le necessità, alla vasca di colmata portuale. Operazioni da effettuare per la maggior parte da mare.



Figura 5. Previsione Piano regolatore Portuale vigente.

La quota del fondale prospiciente la banchina rimarrà invariata rispetto a quella attuale e pari a 9 metri. Le palancole metalliche saranno infisse a distanza variabile dal filo banchina attuale, sempre internamente allo stesso in modo da mantenere l'allineamento previsto dal nuovo assetto funzionale del molo.

Le nuove strutture raggiungeranno in altezza la quota degli attuali piazzali, circa +2m s.l.m., ed avranno complessivamente uno sviluppo di 1300m.

Gli interventi pubblici descritti, sviluppati all'interno del Piano Attuativo, non presentano particolari criticità, trattandosi di trasformazioni finalizzate al riordino dell'insediamento, alla razionalizzazione delle infrastrutture che, in un contesto come quello portuale, è certamente favorevole. Unica ed indispensabile valutazione necessaria e propedeutica alle trasformazioni è quella relativa alla gestione dei materiali provenienti dagli scavi.

3 VINCOLI E VERIFICA DELLE PERICOLOSITÀ E FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Sulle aree portuali in argomento, oltre al vincolo dei 300 m dalla linea di costa (art. 142, c.1, lettera a del d.lgs. n. 42/2004), non gravano ulteriori vincoli paesaggistici.

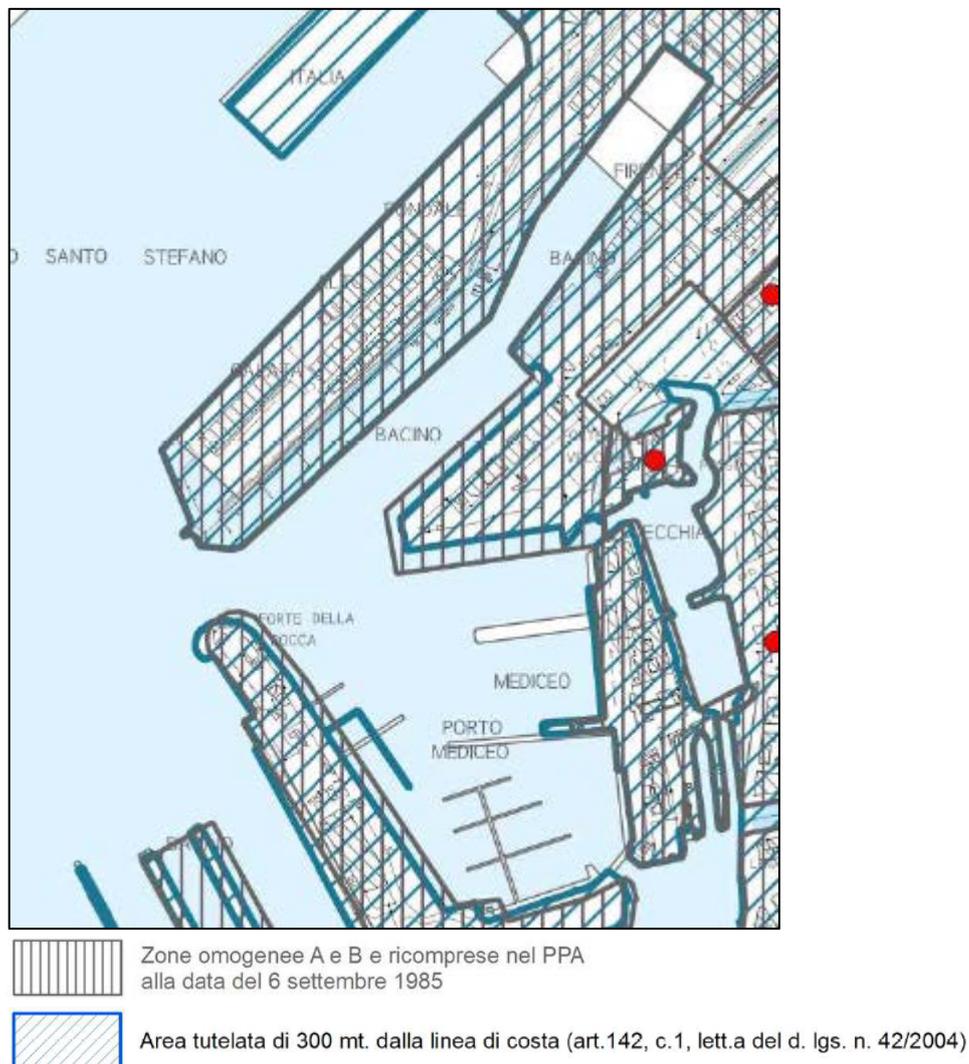


Figura 6. Stralcio Carta "Aree tutelate per legge o per decreto", Piano Strutturale Comune di Livorno, tavola QC 11, 1:10.000.

L'area in studio non risulta sottoposta a tutela del Vincolo Idrogeologico (R.D. n.3267/1923).

Dal punto di vista ambientale, in base al D.M. 468/2001 ed al successivo D.M. del 24/02/2003, buona parte delle aree oggetto di intervento (Calata Alto Fondale, Calata Orlando, Calata Pisa e Bacini Cappellini e Firenze) risultavano interne alla perimetrazione del SIN di Livorno (Sito di Interesse Nazionale), ossia in aree da sottoporre ad interventi di messa in sicurezza d'emergenza, monitoraggio, bonifica e ripristino ambientale. Con successivo D.M. n.147 del 22/05/2014, il perimetro del SIN di Livorno è stato ridefinito e limitato, per cui allo stato attuale le aree d'interesse risultano solo in parte inserite all'interno di suddetta perimetrazione. La titolarità dei procedimenti, di cui all'art. 242 del D.Lgs 152/2006, per tutte le aree a terra inserite nell'ex SIN di Livorno è passata, come SIR (Sito di Interesse Regionale), alla competenza alla Regione Toscana.

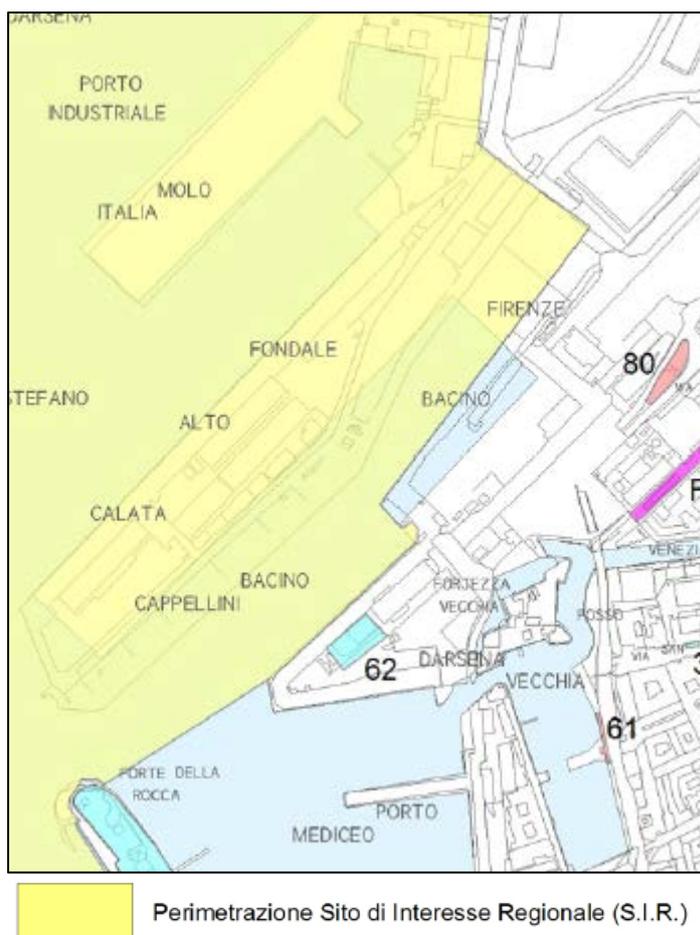


Figura 7. Stralcio Carta "Aree sottoposte a procedura di bonifica", Piano Strutturale Comune di Livorno, tavola QC 08, 1:15.000.

Per le aree demaniali interne al SIR, trattandosi di siti inquinati per i quali non sono ancora state attivate le operazioni di messa in sicurezza e bonifica e tuttavia interessati dalla realizzazione di infrastrutture lineari di pubblico interesse, si procederà ai sensi dell'art. 34, comma 7, del D.L. 133/2014. Ciò potendo attuare i lavori con modalità e tecniche che non pregiudicheranno né interferiranno con il completamento e l'esecuzione di una eventuale futura bonifica dei terreni e della falda, né determineranno rischi per la salute dei lavoratori e degli altri fruitori dell'area.

Facendo riferimento al Piano Strutturale approvato dal Consiglio Comunale di Livorno con Delibera n.75 del 7 aprile 2019, di seguito verranno espone le classi di pericolosità idraulica, geologica e sismica in cui l'area in studio è collocata. Si premette che, così come indicato nel Piano Strutturale, i criteri definitivi di fattibilità e le condizioni alle trasformazioni saranno compiutamente disciplinati nel futuro Piano Operativo, che sostituisce, ai sensi della LR 65/2014 il Regolamento Urbanistico così come definito dal DPGRT 53/R/2011. In tal senso, il Piano Strutturale ai fini delle condizioni di fattibilità si è riferito a quanto elencato dal DPGRT 53/R/2011¹, assumendo in questa fase valenza di condizionamento preliminare e di massima. Una sintesi di tali indicazioni per l'area in studio è stata fornita nella scheda 11 di descrizione U.T.O.E.. Gli obiettivi degli interventi in progetto fanno parte degli obiettivi del Piano strutturale descritti nella scheda U.T.O.E. n. 11 ovvero: "sviluppo e potenziamento

¹ Allo stato attuale la DPGRT 53/R/2011 è abrogata dal DPGRT 5/R del 30 gennaio 2020, nuovo Regolamento contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.

dei traffici marittimi commerciali e crocieristici e delle attività logistiche” e “migliorare l'accessibilità marittima al sistema”. In ogni caso per maggiori dettagli si rimanda alla scheda U.T.O.E. indicata.

Di seguito si riportano gli stralci cartografici e descrittivi di inquadramento dell'area di interesse rispetto alle classi di pericolosità idraulica, geologica e sismica.

- **Classe di Pericolosità Idraulica media “P.I.2”** definita ai sensi del DPGRT 53/R/2011: aree interessate da allagamenti per eventi compresi tra $200 < TR < 500$ anni. Fuori dalle UTOE potenzialmente interessate da previsioni insediative e infrastrutturali, in presenza di aree non riconducibili agli ambiti di applicazione degli atti di pianificazione di bacino e in assenza di studi idrologici e idraulici rientrano in classe di pericolosità media le aree di fondovalle per le quali ricorrano le seguenti condizioni: 1) non vi sono notizie storiche di inondazioni; 2) sono in situazione di alto morfologico rispetto alla piana alluvionale adiacente, di norma a quote altimetriche superiori a metri 2 rispetto al piede esterno dell'argine o, in mancanza, al ciglio di sponda.

Secondo il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, adottato con Delibera n. 231 del 17/12/2015 dal Comitato Istituzionale Integrato (ex art. 4 comma 3 del D.lgs 219/2010) ed approvato con Decreto n.294 del 25 Ottobre 2016 dal Ministero dell'Ambiente e Tutela del Territorio e del Mare (entrato in vigore in data 17/02/2017) e finalizzato alla gestione del rischio di alluvioni nel territorio delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa ed Ombrone, l'area di studio ricade in aree a “Pericolosità da alluvione bassa – P1 (alluvioni rare e di estrema intensità)”.

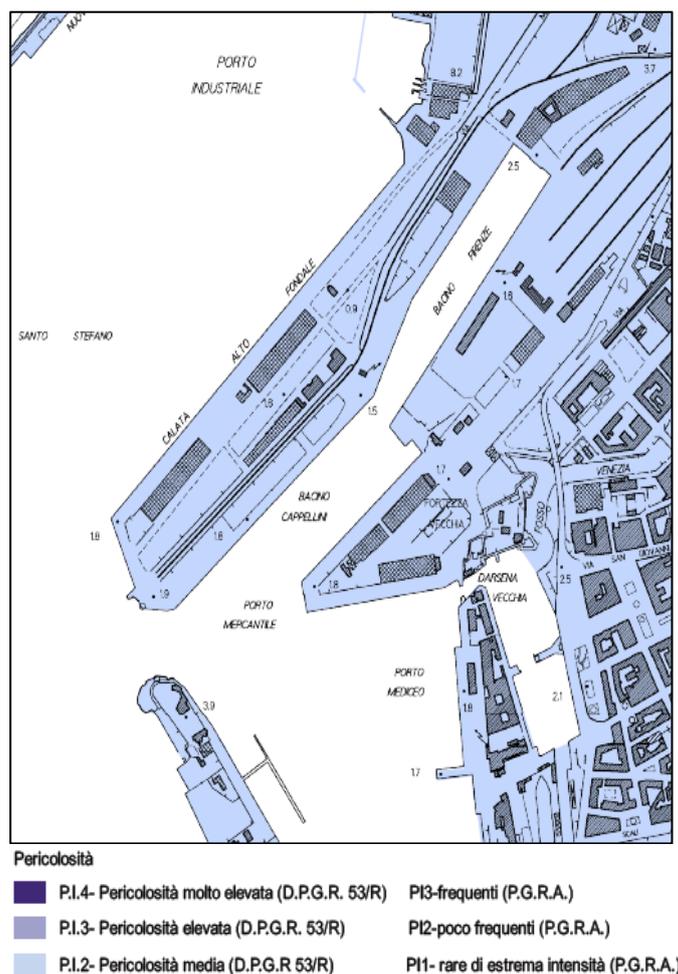
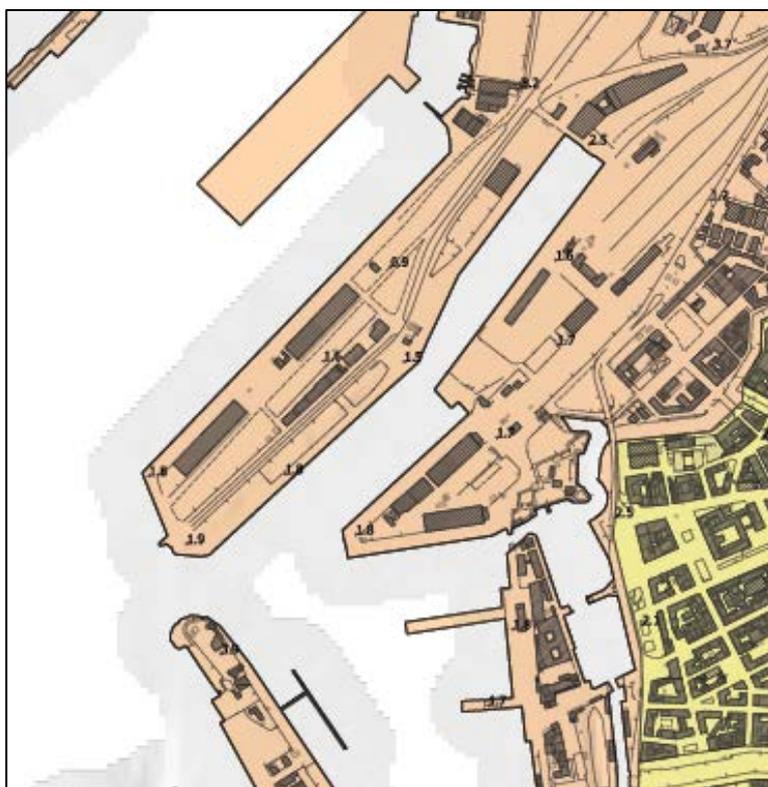


Figura 8. Stralci carta della pericolosità idraulica, Piano strutturale Comune di Livorno, Tavola IDR T6, 1:10.000.

- **Classe di Pericolosità Geomorfologica media "G.3"** definita ai sensi del DPGRT 53/R/2011 in quanto risulta essere un'area in cui il substrato argilloso Pliocenico è in gran parte sostituito da argille e sabbie del Pleistocene (sabbie e argille ad *Artica*) in genere di medio-basso addensamento o consolidazione nella parte alta. Inoltre risultano dislocati lungo la colonna stratigrafica depositi argillosi recenti (es. *Argille ad Arctica Islandica*), lo stato di addensamento e/o consolidazione è spesso particolarmente scadente e può dar luogo a significativi fenomeni di cedimento in presenza di interventi non adeguati. Oltre a ciò ci sono numerosi settori totalmente antropizzati ove, pur in presenza di coperture rigide e banchinamenti, non è comunque nota la metodologia di messa a dimora dei riporti pregressi eseguiti. Nonostante sia classificata come G3 non rientra in un'area PFE. In tale classe di pericolosità, dal Piano strutturale risulta che possono essere realizzati quegli interventi per i quali venga dimostrato che non determinano condizioni di instabilità e che non modificano negativamente i processi geomorfologici presenti nell'area; della sussistenza di tali condizioni deve essere dato atto nel titolo abilitativo all'attività edilizia.



CLASSI DI PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA AI SENSI DPGRT 53/R/2011

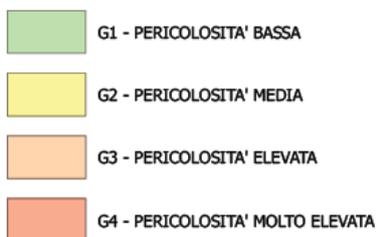


Figura 9. Stralcio carta pericolosità geomorfologica, Piano strutturale Comune di Livorno, Tavola G8 N, 1:10.000.

- Classe di Pericolosità Sismica locale elevata "S.3"

Ai fini della fattibilità degli interventi in classe di pericolosità sismica locale S.3, nel Piano strutturale è indicato che nel caso di terreni di fondazione particolarmente scadenti, devono essere realizzate adeguate indagini geognostiche e geotecniche finalizzate alle verifiche dei cedimenti ed estese almeno al volume significativo del terreno di fondazione.



CLASSI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE AI SENSI DPGRT 53/R/2011

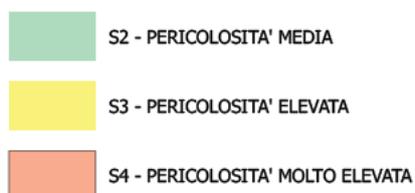


Figura 10. Stralcio carta pericolosità sismica locale, Piano strutturale Comune di Livorno, Tavola G9 N, 1:10.000.

- Dinamica costiera e relative problematiche

L'area in studio non risulta soggetta a particolari problematiche rispetto la dinamica costiera. Secondo quanto indicato nel Piano strutturale, la disciplina delle aree di demanio marittimo deve comunque tenere conto della necessità di:

- verificare preventivamente gli effetti di interventi effettuati lungo la linea di separazione fra il mare e la terra (portualità, sistemazione delle foci fluviali, difesa costiera intesa a correggere localmente fatti erosivi);
- evitare interferenze con eventuali sistemi dunali e con la loro evoluzione;
- definire le condizioni di utilizzazione delle coste rocciose.

4 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il comune di Livorno si estende su di una superficie di 104,79 km². Il terreno è pianeggiante nel settore centrale-costiero e verso Nord, con la presenza, a sud e ad est, delle Colline Livornesi (quota massima Poggio Lecceta, 462 metri s.l.m.). Una sezione perpendicolare alla linea di costa vede una morfologia planare fino alla periferia del centro abitato ed un progressivo rialzamento dalla periferia verso l'entroterra fino a quote non superiori ai 500 metri sul livello del mare.

L'area oggetto del presente studio ricade all'interno dell'area portuale e comprende Calata Alto Fondale, Calata Orlando, Calata Pisa, Cala Carrara, e i Bacini di Firenze e Cappellini. Il porto sorge all'estremità meridionale di un arco di costa sabbiosa di circa 60 Km di estensione, confinata fra la foce del Magra a Nord e un promontorio roccioso poco prominente e di modesta altezza, estrema propaggine dei cosiddetti "monti livornesi", a Sud.

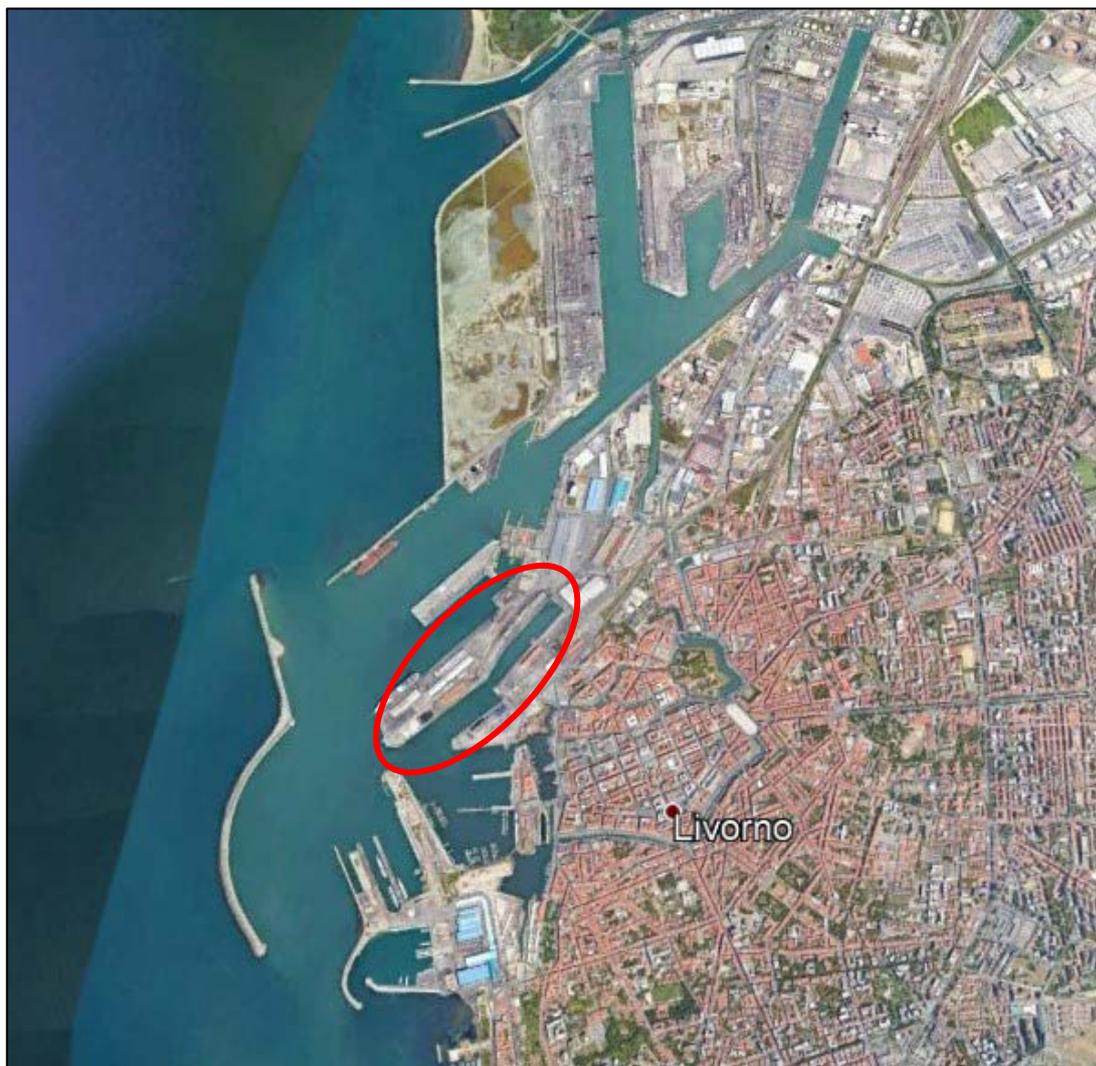


Figura 11. Ubicazione area in studio, Google Earth.

Dal punto di vista cartografico l'area in studio ricade nel:

- Foglio N. 283, Sez. I in scala 1:25.000, (Livorno) della Carta Topografica d'Italia dell'IGM;
- Foglio N. 111 (Livorno) della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000).

L'area in questione è un'estensione a mare del territorio portuale e risulta pertanto creata antropicamente. Già nel 1905 venne creato un primo braccio, dotato di banchine solo sul lato est

ove si riscontrano la Calata Pisa e la Calata Orlando. Calata Alto fondale venne invece realizzata nel 1955. Quest'ultima costituisce la sponda nord del molo che, totalmente artificiale, si protende per 800/900 m verso mare, con una larghezza massima di circa 200 m. Esso ha un allineamento da nord-est a sud-ovest, e separa il Bacino S. Stefano (a nord) dal Bacino Cappellini e Bacino Firenze (a sud), sui quali si affacciano le Calata Orlando e la Calata Pisa, di fronte alla quale si trova Calata Carrara. I piazzali del molo sono livellati a quote che variano da un massimo di 1.9 m ad un minimo di 0.9 m s.l.m.



Figura 12. Area in studio, Google Earth.

4.1 Assetto geologico

Il territorio della provincia di Livorno è stato suddiviso in tre grandi Raggruppamenti Territoriali derivati dalla morfologia del territorio e dell'aggregazione di formazioni geologiche su basi cronologico stratigrafiche: pianura, collina e arcipelago.

Nel territorio comunale di Livorno affiorano sia le rocce che formano il substrato antico della Toscana marittima, sia i sedimenti marini e fluvio-lacustri del ciclo neogenico (dal Miocene Superiore al Quaternario): le rocce più antiche costituiscono l'ossatura della dorsale dei Monti Livornesi mentre i sedimenti neogenici colmano le depressioni tettoniche e formano le zone collinari terrazzate e le piane. L'area di interesse si colloca nell'ambito del sistema territoriale della pianura settentrionale livornese, pianura alluvionale con prevalenza di depositi alluvionali e sedimenti palustri alluvionali e/o di colmata risalenti al Pleistocene-Quaternario. Dal punto di vista geologico, il raggruppamento comprende prevalentemente depositi continentali di ambiente fluviale talvolta reinciati e terrazzati. Lungo la linea di costa fra Livorno e Torre del Sale sono, inoltre, presenti depositi lineari di ambiente litoraneo e continentale eolico (panchina, depositi di spiaggia attuali, depositi di duna). In tale

ambito, la deposizione di tutti i sedimenti posteriori al Pleistocene inferiore è stata fortemente influenzata dalle importanti variazioni climatiche degli ultimi 0,7 Ma.

Dal punto di vista geomorfologico la piana di Livorno, dal mare fino all'orlo occidentale dei Monti e delle Colline Livornesi è costituita da vari ordini di terrazzi pleistocenici (Figura 9) ed è separata a nord, della zona depressa di Ponte Ugione, da una scarpata morfologica rilevabile tra S. Stefano ai Lupi e la Fattoria Suese. Il terrazzo più recente, su cui poggia gran parte dell'urbanizzato della città, conosciuto come "Terrazzo di Livorno", che raggiunge quote massime di circa 20 m s.l.m.m., è considerato un terrazzo marino policiclico sviluppatosi durante l'interglaciale Riss-Wurm; il terrazzo più antico, noto come "Terrazzo della Fattoria Pianacce", compreso tra le quote di 60 e 120 m s.l.m.m., è fortemente sollevato ed è attribuito ad una fase di stazionamento alto del mare durante il Pleistocene Medio.

La stratigrafia del primo sottosuolo (depositi quaternari) è infatti condizionata da fenomeni deposizionali di tipo marino (trasgressivo – regressivo), depositi alluvionali e deltizio-fluviali, depositi continentali eolico-dunari. I sedimenti delle varie unità stratigrafiche si sono via via addossati a quelle precedenti. Per questa complessità di sedimentazione si hanno continue variazioni verticali e rapidi passaggi laterali nel pacco dei terreni più superficiali.

In sintesi, a partire dall'alto verso il basso, in ordine di età crescente, la colonna stratigrafica elementare dell'areale Livornese mostra la seguente successione conosciuta:

- **Depositi alluvionali recenti** sviluppati nel settore Nord di Ponte Ugione e nella fascia costiera a sud della foce dello Scolmatore dell'Arno. A tali depositi l'uomo ha aggiunto cospicue coltri di riporto in direzione Ovest a supporto dell'ampliamento dei settori portuali recenti.
- Un **complesso quaternario** che caratterizza la Piana di Livorno, costituito dai sedimenti marini della fascia costiera (sabbie e argille ad *Arctica*) e da depositi continentali (terrazzamenti pleistocenici) con presenza di tre ordini di intercalazioni di "panchina" calcarenitica.
- Un **complesso neogenico**, rappresentato da sedimenti lacustri e marini del Miocene Superiore e dai depositi marini del Pliocene (argille azzurre).
- Un **complesso lapideo antico (bedrock)** che caratterizza la parte collinare di Livorno, con netta prevalenza di formazioni argillitico-marnose delle Successioni Liguri, comprendenti anche strati calcarei e silicei e grandi ammassi di ofioliti, oltre alla formazione arenacea della Serie Toscana presso Calafuria

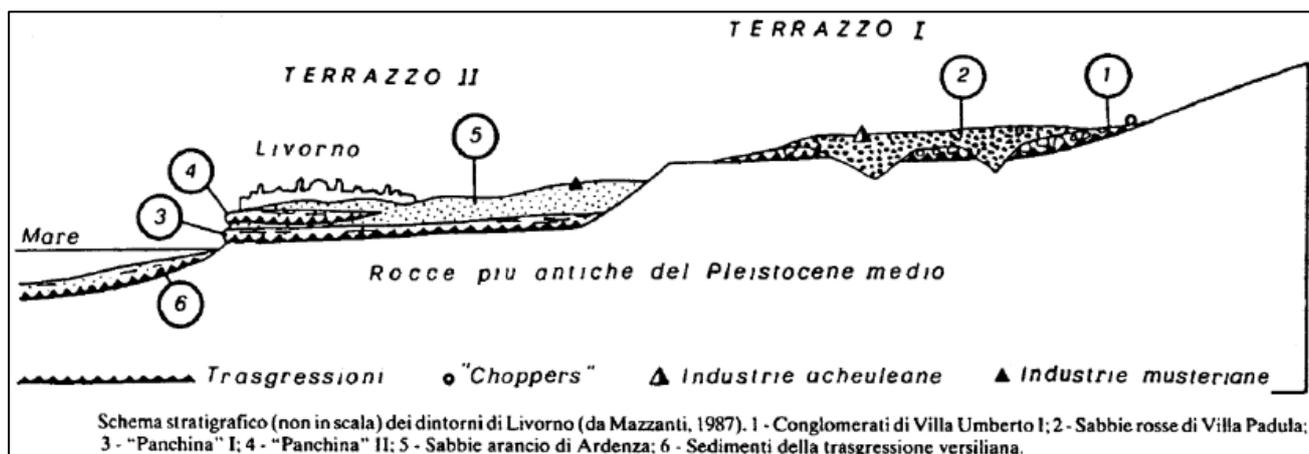


Figura 13 – Schema morfo-lito-stratigrafico dell'ambito territoriale di Livorno (da Mazzanti, 1987)

I depositi quaternari, costituenti il substrato superficiale sono a loro volta così caratterizzati:

- **Depositi alluvionali**, costituiti dai prodotti dell'attività di sedimentazione recente ed attuale dei corsi d'acqua e costituiti da sabbie e ghiaie generalmente poco addensati, la potenza è variabile da luogo a luogo, ma sempre modesta.
- **Depositi palustri alluvionali e di colmata**, le cui frazioni spesso non sono riconoscibili direttamente dalla litologia; si tratta di terreni saturi in acqua limoso – argillosi e limo – sabbiosi. Tali materiali presentano un contenuto variabile di sostanza organica, verificata per uno spessore dei primi 20-30 m di sedimento, relazionabile al contenuto algale o di marcite di ambiente lagunare. Entro i primi 10-15 m di profondità e secondo allineamenti pseudo paralleli alla linea di costa, sono state rilevate tracce di cordoni sepolti (paleo tomboli) che vanno a costituire isole di terreno per diversi metri di spessore.

Nello specifico risulta che l'area portuale di Livorno è impostata su depositi sabbiosi attuali di litorale, con intercalazioni di sabbie e limi argillosi fluvio-lacustri e argille lacustri con livelli torbosi, le quali con spessori di modesta entità poggiano direttamente su depositi pleistocenici costituiti da argille e sabbie, localmente ghiaiose, con intercalazioni più o meno ghiaiose, di origine sia marina che fluvio-lacustre.

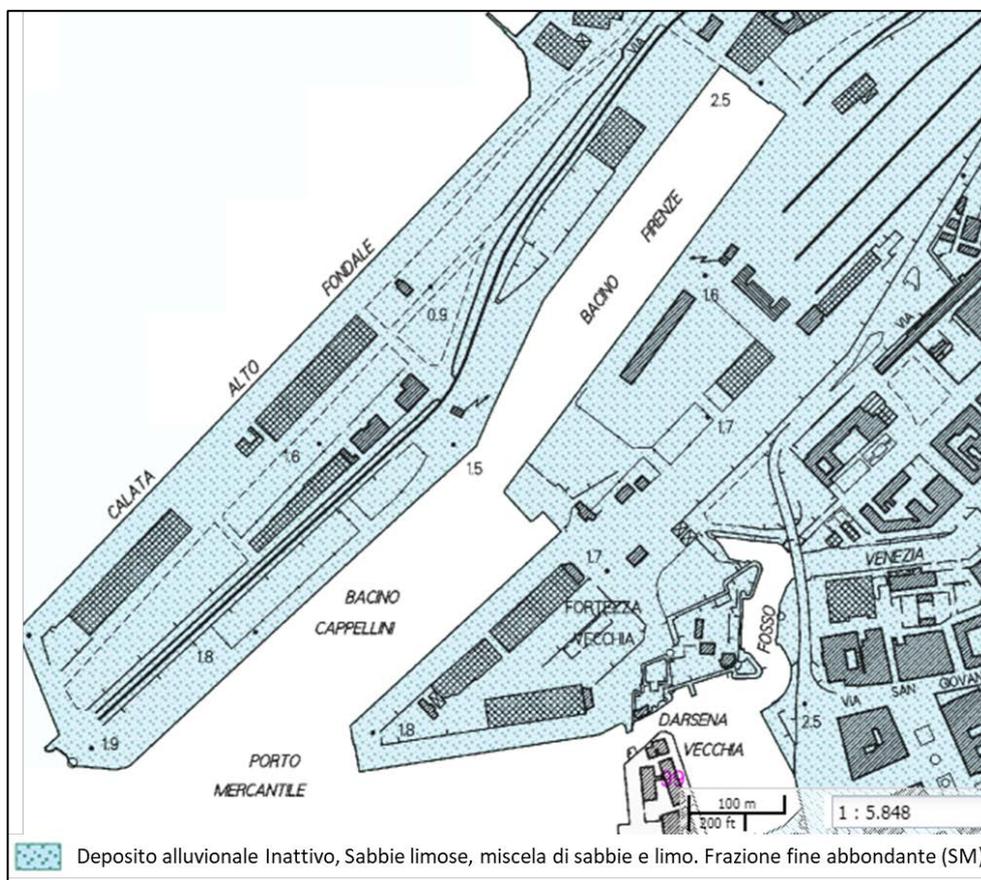
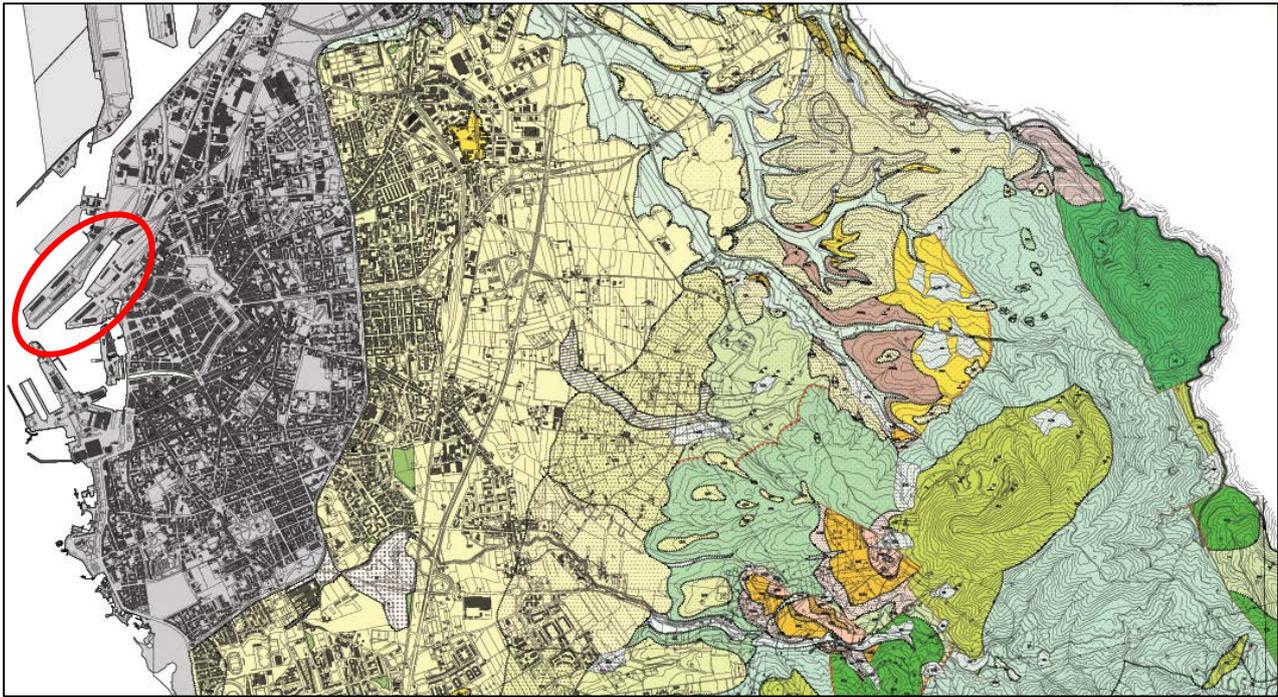


Figura 14. Depositi presenti del settore in studio, Geoscopio Toscana.



Depositi antropici

- ant Area non rilevabile con strutture e manufatti antropici
- h5 Terreno di riporto, bonifica per colmata
- h3 Discariche di cave
- h1 Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani

Depositi di origine gravitativa e da dilavamento

- a3a Detrito di falda (Olocene)
- aa Depositi di versante (Olocene)
- b2a Depositi eluvio-colluviali (Olocene)

UNITA' GEOLOGICHE CARTOGRAFATE (in ordine di età crescente)

- a3 Coperture detritiche indifferenziate (olocene)
- b Depositi alluvionali attuali (Olocene)
- g2a Depositi di spiaggia attuali (Olocene)
- f1a Travertino
- bnA Depositi alluvionali recenti, terrazzati e non terrazzati (Olocene)
- QSD Sabbie rosso arancio di Donoratico (Pleistocene sup.)
- QCP Calcareniti di Castiglioncello - "Panchina" (Pleistocene sup.)
- QCPa Litofacies sabbiosa nelle calcareniti (Pleistocene sup.)
- QCPb Litofacies conglomeratica nelle calcareniti (Pleistocene sup.)
- QBC Breccie di Punta Casotto (Pleistocene sup.)
- QCC Conglomerati del Chioma (Pleistocene sup.)
- QRM Conglomerati di Rio Maggiore (Pleistocene sup.)
- VDG Sabbie rosse di Val di Gori (Pleistocene medio-sup.)
- QPL Formazione di Casa Poggio ai Lecci (Pleistocene medio)
- QVR Conglomerati di Villa Corridi (Pleistocene inf.-medio)
- ART Sabbie e argille ad Artica Islandica (Pleistocene inf.)
- FAA Argille azzurre (Pliocene)
- FAAe Sabbie risedimentate nelle argille (Pliocene)
- EMO Argille e argille marnose con livelli e lenti di gessi (Messiniano sup.)
- EMOg Livelli e lenti di gessi nelle argille marnose (Messiniano sup.)
- EMOr Sabbie conglomerati intercalati nelle argille marnose (Messiniano sup.)
- ROSB Calcari e calciruditi (Messiniano inf.)
- ROSa Conglomerati (Messiniano inf.)
- RAQ Argille e argille sabbiose (Messiniano inf.)

- RAQg Lenti di gessi nelle argille (Messiniano inf.)
- SLEc Conglomerati e paraconglomerati eterometrici (Tortoniano sup.-Messiniano inf.)
- APA Argille a palombini (Cretaceo inf.)
- DSD Diaspri (Giurassico sup.)
- BROe Breccie ofiolitiche con elementi di gabbro (Giurassico sup.)
- BRG Basalti con strutture a pillow-lava (Giurassico sup.)
- PGR Plagiograniti (Giurassico sup.)
- GBB Gabbri con filoni basici (Giurassico sup.)
- PRN Peridotiti serpentizzate con filoni di gabbri e basalti (Giurassico)
- OMT Flysch di Ottone-Monteverdi (Cretaceo sup.-Paleocene inf.)
- OMTa Breccie di ofioliti intercalate nel Flysch (Giurassico sup.-Cretaceo sup.)
- RCH Argilliti e calcari di Poggio Rocchino (Albaniano-Campaniano)
- MLL Formazione di M.te Morello (Paleocene sup.-Eocene medio)
- SIL Formazione di Sillano-Santa Fiora (Cretaceo sup.-Paleocene)
- MRR Marne di Marra (Oligocene)
- ACC Argille e calcari di Canetolo (Paleocene inf.-Eocene)
- MAC Arenaria Macigno (Oligocene sup.-Miocene inf.)

Figura 15. Stralcio carta geologica 1:10.000, Tavola G1N del Piano strutturale del Comune di Livorno

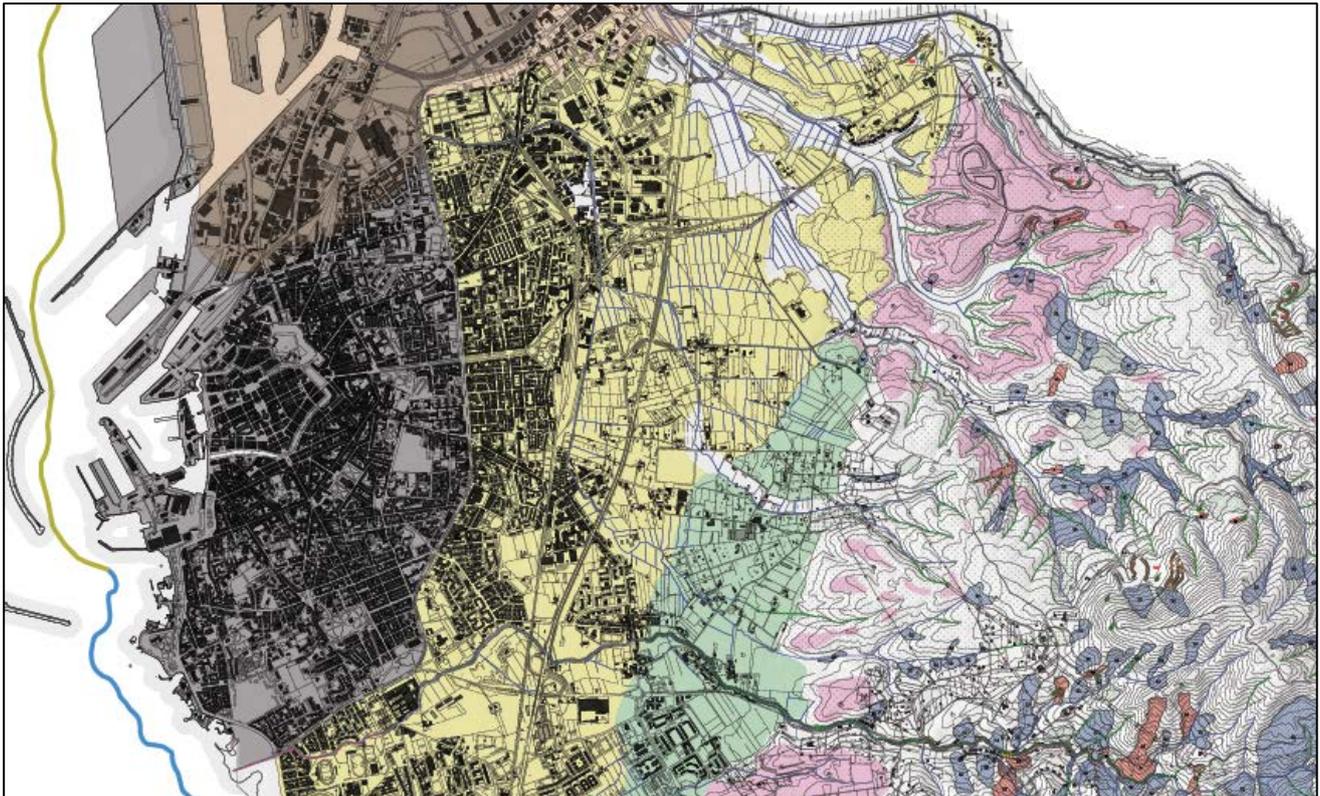
4.2 Assetto geomorfologico e idrografico

Il territorio comunale è formato sostanzialmente da tre componenti:

- i Monti e le Colline Livornesi: l'insieme dei rilievi alti che si estendono a SE della Città di Livorno fino a Rosignano M.mo, limitati ad est dalla valle del Torrente Tora e del Fiume Fine;
- la Piana (Terrazzo alto) di Livorno: l'insieme dei blandi rilievi che circondano i lati nord ovest, nord ed est dei Monti Livornesi;
- una parte della Pianura di Pisa: area pianeggiante e dolcemente declive verso il mare che corrisponde al "Terrazzo basso" costiero su cui si estende la città e che lambisce a nord la vera e propria pianura di Pisa interessata dai fenomeni legati all'Arno.

Tutta la piana costiera del livornese è caratterizzata da forme di modellamento influenzate dalle varie oscillazioni del livello del mare avvenute nel Quaternario. Il ripetersi dei vari cicli sedimentari (Calabriano, Siciliano, Tirreniano), ha determinato l'alternarsi di fasi erosive e deposizionali, con il sovrapporsi di terrazzi fluviali di vario ordine. Parallelamente le continue fluttuazioni della linea di costa hanno favorito l'instaurarsi di ambienti lagunari e palustri, oggi bonificati. Attualmente l'evoluzione litoranea è ancora in atto con continue modificazioni della linea di costa e della foce dei corsi d'acqua.

Le sequenze delle situazioni paleogeografiche rivelano una rapida evoluzione attribuibile alla repentina formazione dei lidi nel litorale fra Pisa e Livorno. Fenomeno, questo, dovuto all'ingente quantità di sedimenti che furono sottratti alla loro naturale destinazione verso l'area dell'antico delta dell'Arno e scaricati direttamente in mare, a causa della riduzione artificiale della foce dell'Arno ad una sola bocca. I lavori orientati in tal senso si pensa possano aver avuto inizio già in concomitanza alla remota fondazione di Pisa, con lo scopo di migliorarne la salubrità. A seguito della formazione di questi lidi, ampie aree interne furono sottratte al mare e ridotte a lagune e paludi. Conseguentemente si verificò un fenomeno di rapido avanzamento della linea di riva in un periodo caratterizzato invece da un seppur lieve movimento eustatico positivo, cioè ad un innalzamento del mare. I terreni che caratterizzano la zona di transizione marino/fluviodeltizio/ lagunare-palustre presentano notevoli diversificazioni sia in senso verticale che orizzontale, connesse essenzialmente con le variazioni di profondità del bacino di sedimentazione e con la presenza di sbocchi a mare da parte di linee d'acqua naturali importanti. I cambiamenti del terreno sono dovuti alla diversa e locale miscelazione delle componenti sabbiosa-limoso-argillosa, imputabile alle diverse condizioni di sedimentazione. Un aspetto importante di questi terreni è dato anche al diverso tasso di materia organica relazionabile al contenuto algale e/o di marcite di ambiente lagunare.



Legenda

CLASSIFICAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

- S3 - Frane di sdvolamento e colata lenta, attive
- F - Franosità diffusa attiva
- S2 - Frane di sdvolamento e colata lenta, inattive (quiescenti)
- DS - Deformazioni superficiali o franosità diffusa inattiva (quiescente)

FORME DI EROSIONE E OPERE ANTROPICHE DI PROTEZIONE

- Ruscellamento concentrato
- Alveo in incisione
- Fronte mare a franosità diffusa
- Sponda in erosione con opere di messa in sicurezza
- Orlo di scarpata d'erosione costiera
- Orlo di scarpata morfologica
- Orlo di scarpata di cava
- Orlo di scarpata antropica
- Orlo di scarpata d'erosione

FOSSO TOMBATO

- Fosso tombato
- Gabbioni in pietrame e opere di sostegno
- Manufatti di protezione della falesia e opere marittime
- Riporti antropici diffusi ed opere portuali
- Dilavamento diffuso
- Cavità nella falesia a livello del mare
- Crollo progressivo di materiale lapideo
- Manufatto antropico costiero in degrado
- Cave inattive
- Cave inattive

TERRAZZI GLACIOEUSTATICI DEL PLESITOCENE

- Terrazzo della Fattoria Pianacce
- Terrazzo di Livorno
- Terrazzo di Villa Padula

DEPOSITI DEL QUATERNARIO

- a3a Detrito di falda (Olocene)
- aa Depositi di versante (Olocene)
- b2a Depositi eluvio-colluviali (Olocene)
- h1 Discariche per inerti e rifiuti solidi urbani
- h3 Discariche di cave

SUDDIVISIONE TRATTI COSTIERI OMOGENEI

- bellana-tre ponti
- maroccone-rogliolo
- rogliolo-chioma
- scolmatore-bellana
- tre ponti-maroccone
- Reticolo idraulico
- Zona depressa di Ponte Ugione - Livorno Nord

Figura 16. Stralcio carta geomorfologica, Tavola G4N del Piano Strutturale del Comune di Livorno.

Lo sviluppo dei riporti antropici in area marittima-portuale

Il profilo geomorfologico dell'area in esame è caratterizzato da un'intensa antropizzazione che ha determinato la quasi totale scomparsa di segni geomorfici naturali. La fisionomia della zona è infatti il risultato di modificazioni artificiali succedutesi nel tempo, in particolare nell'ultimo secolo, e sviluppatesi in funzione dell'attività portuale. Gli elementi morfologici originari del luogo sono stati pertanto profondamente e ripetutamente modificati così che è difficile od impossibile riconoscere la fisionomia naturale.

Come descritto nella Relazione Geologica del Piano strutturale del Comune di Livorno del 2018, la presenza di importanti coltri di riporto è indubbiamente collegata in gran parte con la storia e l'evoluzione della zona urbana e portuale di Livorno. In sostanza è possibile rintracciare terreni di riporto provenienti da lavorazioni passate o da attività esercitate all'interno di porzioni d'area in tempi più recenti (dopo la seconda guerra mondiale). Questo Orizzonte antropico comprende quindi spessori di terreno diversi da quelli che tipizzano le colmature e le bonifiche dei terreni acquitrinosi e delle aree palustri, ovvero tutte quelle azioni tese al recupero delle terreferme.

In ambito portuale la potenza della coltre di riporto è oscillante in media da 1 a molti metri. Ci sono spesso forti eterogeneità e colorazioni innaturali (talvolta legate forse ad antiche lavorazioni) con granulometrie che possono avere un range molto aperto: dalla massicciata in stabilizzato granulare, fino alle terre esauste di antiche lavorazioni tendenzialmente più sabbiose. In questo caso i terreni conservano una loro attitudine all'umidità naturale con qualche raro livello evoluto pedogeneticamente. Occorre rilevare che questo primo Orizzonte ben si riferisce anche alle vicissitudini che hanno interessato l'intera area portuale nell'ultima Guerra Mondiale; specialmente l'area portuale infatti è stata oggetto di intensi bombardamenti tesi a minarne la funzionalità, oltre che a causare crolli delle attività produttive presenti nella zona, che hanno modificato le superfici creando vere e proprie depressioni dovute alle marmitte delle bombe (in alcune testimonianze dell'epoca sembrano aver formato buche profonde fino ai 4,00 m. dal piano di campagna). Queste depressioni sono state oggetto di riempimenti ed a livellamenti, spesso con le stesse demolizioni e/o con materiali di risulta, a volte anche per sostituire i terreni naturali dalla limitata capacità portante con materiali detritici di migliori caratteristiche (imbonimenti fondazionali). Ovvio che le cospicue coltri antropiche che hanno permesso lo sviluppo del porto industriale (basti pensare alla Darsena Toscana attuale, oltre che al recente Molo Italia e alle Vasche di Colmata 1 e 2), hanno determinato una continua variazione artificiale della linea di costa, che ha perso localmente (area portuale, porto medico, ex cantiere Orlando) ogni carattere originario (anche l'accademia navale, probabilmente edificata in parte sopra la panchina calcarenitica, ha contribuito a obliterare la costa originaria).

Attualmente la superficie dell'area è quasi totalmente asfaltata ed è planimetricamente molto uniforme, livellata alla quota di 2.0/2.2 m s.l.m. Anche la paleobatimetria del sito è stata completamente modificata ad opera dalle attività sia passata che recente operata all'interno dell'area portuale (dragaggi-costruzione di corpi diga etc.).

Le forme subacquee nelle aree antistanti all'area portuale in studio

Nell'Indagine geologico-tecnica a supporto della progettazione esecutiva della seconda vasca di contenimento per sedimenti di dragaggio del Porto di Livorno (giugno 2008) sono stati eseguiti e interpretati dei profili sismo-stratigrafici.

L'interpretazione dei profili non fornisce indicazioni sulla composizione degli strati in termini di "natura esatta del sedimento", ma piuttosto consente di trarre alcune considerazioni sull'evoluzione morfologica del substrato.

La maggior parte dei profili mostrano un primo "strato" superficiale, di scarso spessore (qualche decina di centimetri), acusticamente trasparente e che può essere associato ad un deposito recente indifferenziato probabilmente di natura sabbioso-limoso. Il livello sottostante appare in molti profili debolmente stratificato e potrebbe far pensare ad una evoluzione più complessa, confermata nella parte più distale (offshore) dei profili, da una laminazione inclinata (cunei) tipica di strutture di progradazione. Infine è possibile rilevare un ultimo livello in discordanza con i precedenti, talvolta

affiorante nella zona più lontana dalla costa, caratterizzato da una morfologia superficiale frastagliata, causata probabilmente dalla composizione stessa del sedimento.

4.3 Assetto idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, l'andamento piezometrico e le caratteristiche idrodinamiche della falda superficiale nell'area sono fortemente condizionate dalla presenza di depositi a bassa permeabilità e dall'ingressione marina dovuta alla vicinanza con la linea di costa. In tali condizioni la definizione dei parametri idrodinamici della falda è valutabile solo in prima approssimazione. Si riconosce una falda freatica piuttosto limitata come spessore agli orizzonti terrigeni superficiali legati in parte ai riporti antropici e in parte ai depositi olocenici e pleistocenici terrigeni a maggiore componente sabbiosa. La profondità della falda, nei pressi dell'area d'interesse, oscilla tra 1.50 e 2.00 m dal piano di campagna, saturando quindi i depositi limoso-sabbiosi superficiali. La produttività dell'acquifero è in genere modesta, con portate che non superano 1 l/s.

5 MODELLO STRATIGRAFICO E CARATTERI GEOTECNICI

Ai fini della definizione di un quadro preliminare geotecnico e stratigrafico, si riporta nel seguito una descrizione sintetica delle caratteristiche geotecniche dei depositi presenti al di sotto della pavimentazione portuale, derivate da diversi studi effettuati in precedenza nell'area oggetto di intervento e in zone limitrofe. Tuttavia, data la grande eterogeneità dei depositi descritti in precedenza, anche in siti spazialmente contigui le caratteristiche geotecniche potrebbero cambiare, per cui i parametri geotecnici e le interpretazioni litostratigrafiche rappresentate nei quadri riepilogativi e nelle sezioni geologiche di seguito rappresentate hanno un valore indicativo.

Gli studi geologici e le indagini geognostiche pregresse analizzate nel presente studio, per facilità di lettura, sono state codificate come di seguito:

CAMPAGNA A "Relazione di accompagnamento alla campagna geognostica e sismica del piano particolareggiato porto città, comune di Livorno", effettuata dallo Studio Geologico Antonio Rafanelli nell'aprile 2014

CAMPAGNA B "Calata Alto Fondale (o nuova banchina di alto fondale) Porto di Livorno indagine geologico-tecnica per una prima verifica del cassone di banchina, del terreno di fondazione e del piazzale contiguo alla banchina", effettuata dallo Studio di Geologia Michelucci Dr. Libero, commissionata da Autorità Portuale di Livorno, febbraio 2001, (GEO_038)

CAMPAGNA C "Progetto per la realizzazione di un capannone ubicato all'interno dell'area del Porto di Livorno" commissionata da Figli di Nado Neri Spa ed eseguita da GETAM Srl, luglio 1998, (GEO_047).

CAMPAGNA D "Lavori di riqualificazione strutturale di Calata Carrara, Relazione geotecnica", effettuata dall'Ing. Alberto Noli nel 1997, (GEO_022)

CAMPAGNA E "Opere di riprofilamento e consolidamento della banchina a radice dell'accosto 55 (Calata Carrara) - Porto di Livorno", Autorità Portuale di Livorno, dicembre 2009.

Infine, per la ricostruzione litostratigrafica dell'ambito sono stati esaminati anche i sondaggi eseguiti ai fini delle caratterizzazioni ambientali delle terre:

CAMPAGNA F "Report indagini di caratterizzazione ambientale", redatto da *Ambiente Ingegneria ambientale e laboratori S.p.a*, Commissionato dall'autorità portuale, Luglio 2008.

CAMPAGNA A: Area portuale

Nella "Relazione di accompagnamento alla campagna geognostica e sismica del piano particolareggiato porto città, comune di Livorno", effettuata dallo Studio Geologico Antonio Rafanelli nell'aprile 2014, sono descritti i caratteri geotecnici dell'area in studio.

Dalla relazione citata risulta che i terreni del sottosuolo sono costituiti per una profondità di circa 4.5 m da un'alternanza di sabbie più o meno addensate e con varia percentuale di limo, per poi passare ad uno strato cospicuo di ghiaie ad una profondità compresa mediamente tra 4.5 e 6.0 m; e a sabbia-limoso-argillosa negli strati più profondi. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva con i parametri geotecnici principali ottenuti da 41 prove SPT e dalle prove di laboratorio effettuate su un campione indisturbato.

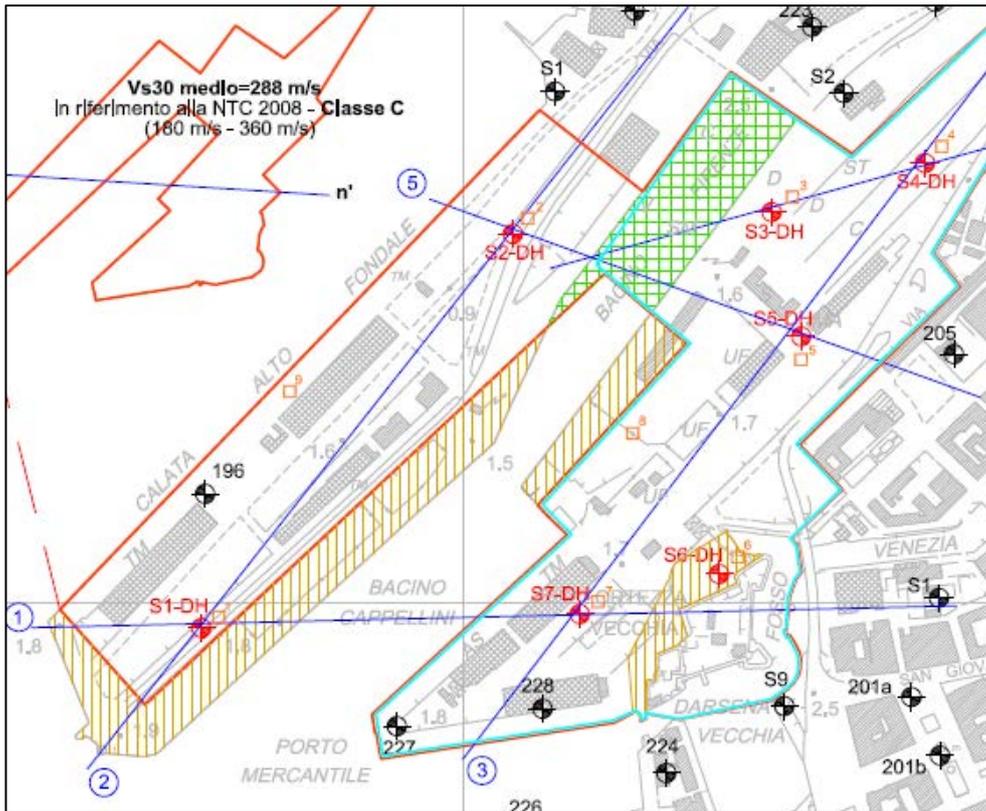


Figura 17. Ubicazione dei sondaggi a carotaggio continuo (in rosso) effettuati "Relazione di accompagnamento alla campagna geognostica e sismica del piano particolareggiato porto città, comune di Livorno", effettuata dallo Studio Geologico Antonio Rafanelli nell'aprile 2014.

	Livello 0	Livello A	Livello B	Livello C
Profondità m dal pc	pc a -1.5/2.0	-1.5/2.0 a -5.0/6.0	-5.0/6.0 a -9.0/10.0	-9.0/10.0 a -32.0
Descrizione	conglomerato bituminoso, massetto stradale e terreno sottostante di misto maceria e laterizio variamente assortito prevalentemente arido	livello di sabbia da fine a grossolana in matrice generalmente limosa, in eteropia a zone con materiale organico ed altre aree con prevalenza di frammenti e strati centimetrici di calcarenite sabbiosa (Panchina)	sabbia in matrice limo-argillosa con ciottoli centimetrici e sabbie alla base	sabbia limosa da compatta a moderatamente compatta
γ (t/m³)	-	1.7/1.8	1.8/1.9	1.8/1.85
Φ°	-	25°/30°	35°/40°	27°/33°
C (kg/cm²)	-	0.05/0.1	0.05/0.01	0.05/0.1

Figura 18. Sintesi parametri geotecnici. γ peso di volume, Φ angolo di attrito interno, C coesione.

CAMPAGNA B: Calata Alto Fondale

Il modello strutturale di Calata Alto Fondale è descritto nello studio geologico dal titolo "Calata Alto Fondale (o nuova banchina di alto fondale) Porto di Livorno indagine geologico-tecnica per una prima verifica del cassone di banchina, del terreno di fondazione e del piazzale contiguo alla banchina" effettuata nel febbraio 2001 dallo Studio di Geologia Michelucci Dr. Libero su commissione dell'Autorità Portuale di Livorno, (GEO_038). Per tale lavoro, sono stati eseguiti 4 sondaggi a carotaggio continuo fino alla profondità di 3/3.5 m dal pc, 10 sondaggi con profondità compresa tra i 5 e i 7 m dal pc, più un ulteriore sondaggio spinto fino alla profondità di -25 m dal pc, nel quale sono state anche eseguite 4 prove SPT.

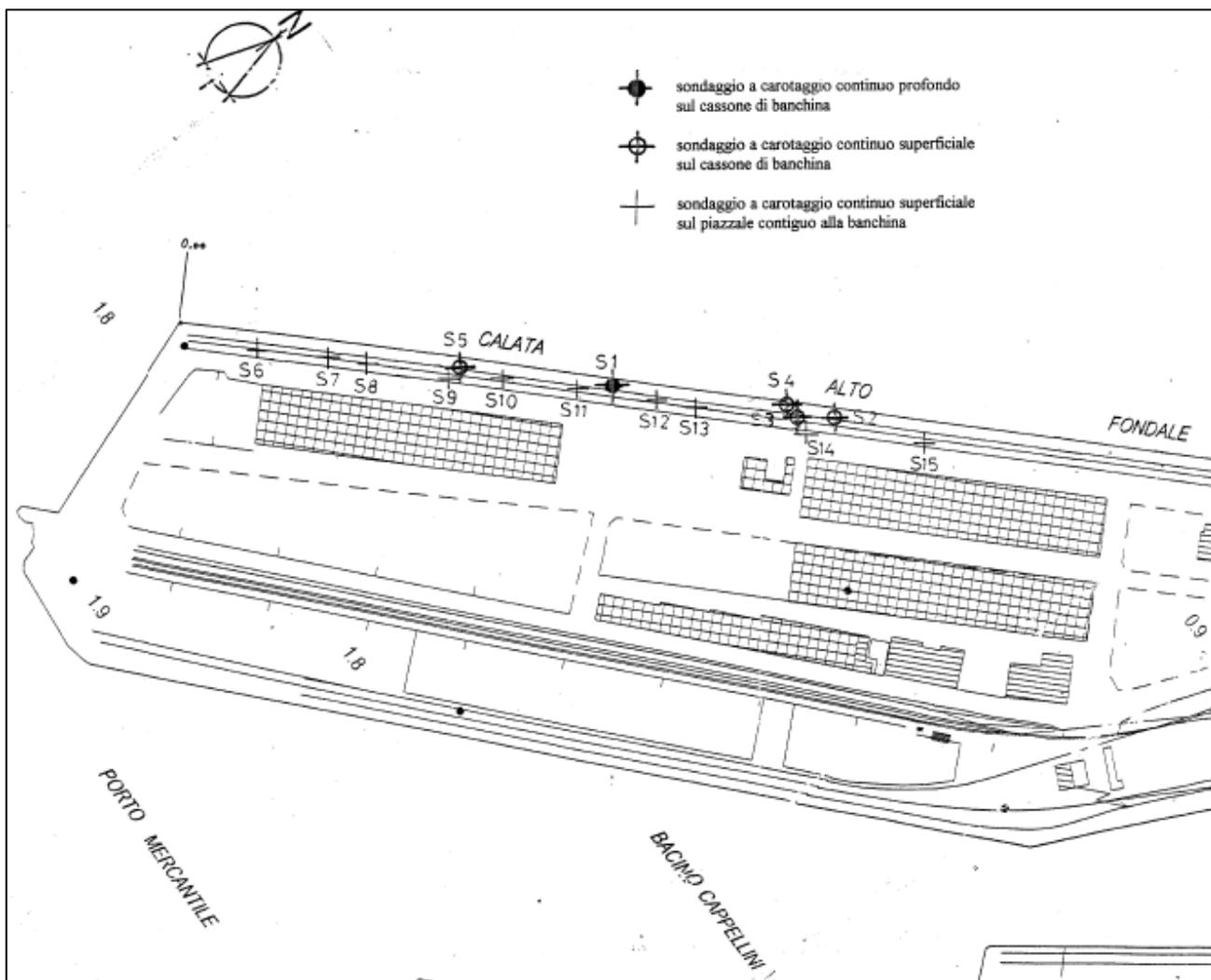


Figura 19. Tavola 2 con l'ubicazione delle prove, scala 1:2.000, effettuate durante lo studio sopracitato del 2001.

Calata Alto fondale risulta formata da una fila di cassoni in calcestruzzo armato. I singoli cassoni, a pianta quasi quadrata sono delle strutture scatolari prefabbricate, alloggiare (previa escavazione del terreno) e riempite poi con inerti. A tergo della banchina, i piazzali sono stati realizzati con inerti, terre e materiali di riempimento. Il terrapieno del molo (ed il sottostante terreno naturale) furono escavati fino alla profondità prevista per l'imbasamento del cassone. Secondo il progetto, l'angolo di scarpa con cui fu modellato lo scavo è di circa 36-37°. Sul lato mare il fondale fu portato a -12 m. Per tutta la lunghezza della calata, la quota altimetrica del molo (piazzali e banchina), è di circa 1.60 m rispetto al livello del mare. Sul molo è molto evidente lo stacco fra la struttura dei cassoni di banchina, delimitata dalla trave di appoggio della rotaia interna della gru, ed i materiali di riempimento a ridosso

poiché la separazione è segnata da un abbassamento del manto d'asfalto del piazzale. In questa fascia del piazzale contigua alla banchina sono stati segnalati in vari punti cedimenti ed avvallamenti del terreno.

Dalle indagini geognostiche riportate in relazione risulta che il fondo del cassone è stato intercettato alla profondità di 15.1 m dal piano del piazzale. La soletta di base, in calcestruzzo, ha uno spessore di 30 cm, da 14.8 m a 15.1 m. Essa appoggia su un sottile strato (una decina di centimetri) di pietrame. Al di sotto inizia il terreno naturale su cui è stato appoggiato il manufatto. Alla profondità intorno ai 2 m e a 2.7 m sono stati trovati degli intervalli di calcestruzzo dello spessore di circa 40 cm, quasi certamente la copertura dei cassoni. Il terreno di fondazione, rinvenibile a cominciare da -15.2 m (sempre da quota piazzale), è formato da una alternanza di livelli di limo e limo da argilloso a sabbioso, sabbia fine o finissima. Le caratteristiche geotecniche di questi terreni, che arrivano fino a poco oltre i 22 m, sono variabili ma complessivamente buone. Come parametri geomeccanici principali si possono attribuire a questi depositi i seguenti valori medi: coesione non drenata $C = 12-19 \text{ t/m}^2$ (livelli limo-argillosi) angolo di attrito interno $\phi = 28-32^\circ$ (livelli sabbiosi) $\gamma = 1.9/2.0 \text{ t/m}^3$. A seguire, fino alla massima profondità indagata (25 m), si rinvencono strati di sabbia, ghiaia e ghiaietto talora con una matrice limosa, terreni con caratteristiche geotecniche decisamente buone: $C = 0 \text{ t/m}^2$ $\phi = 32-36^\circ$ $\gamma = 2.0 \text{ t/m}^3$ $N \text{ SPT} = 35-45$. Dalle prospezioni effettuate nelle vicinanze è noto che lo strato di sabbia e ghiaia si approfondisce per qualche altro metro. Al di sotto inizia una sequenza di sabbia debolmente limosa e sabbia da fine a media limosa che si estende perlomeno per alcune decine di metri di profondità. A S1.58 m da quota banchina è stato riscontrato il livello della falda (uguale al livello mare).

	Livello 0	Livello 1	Livello 2
Profondità m dal pc	pc a -15.22	-15.22 a -22.00	- 22.00 a -25.00
Descrizione	cassoni in calcestruzzo armato	alternanza di livelli di limo e limo da argilloso a sabbioso, sabbia fine o finissima	strati di sabbia, ghiaia e ghiaietto talora con una matrice limosa
γ (t/m³)	-	1.9/2.0	2.0
Φ°	-	28/32°	32/36°
C (t/m²)	-	-	0
Cu (t/m²)	-	12/19	-

Figura 20. Sintesi parametri geotecnici, γ peso di volume, Φ angolo di attrito interno, C coesione.

Sempre nella medesima relazione, per accertare la possibile presenza di cavità nel terreno, ipotizzate all'incirca in corrispondenza del livello del mare (il piazzale è a +1.6 m), è stata eseguita un'indagine georadar. L'indagine georadar non ha messo in evidenza la presenza di cavità entro 2.5 m dalla superficie. Sono state però individuate delle zone caratterizzate da microvuoti o da cedimenti superficiali.

Tuttavia le zone con microvuoti e cedimenti rintracciate nello studio non interessano l'area d'intervento.

CAMPAGNA C: Calata Pisa

Quest'area è stata descritta dal punto di vista geotecnico nella relazione geologico-tecnica ai fini del "Progetto per la realizzazione di un capannone ubicato all'interno dell'area del Porto di Livorno" commissionata da Figli di Nado Neri Spa ed eseguita da GETAM Srl, nel luglio del 1998, (GEO_047).

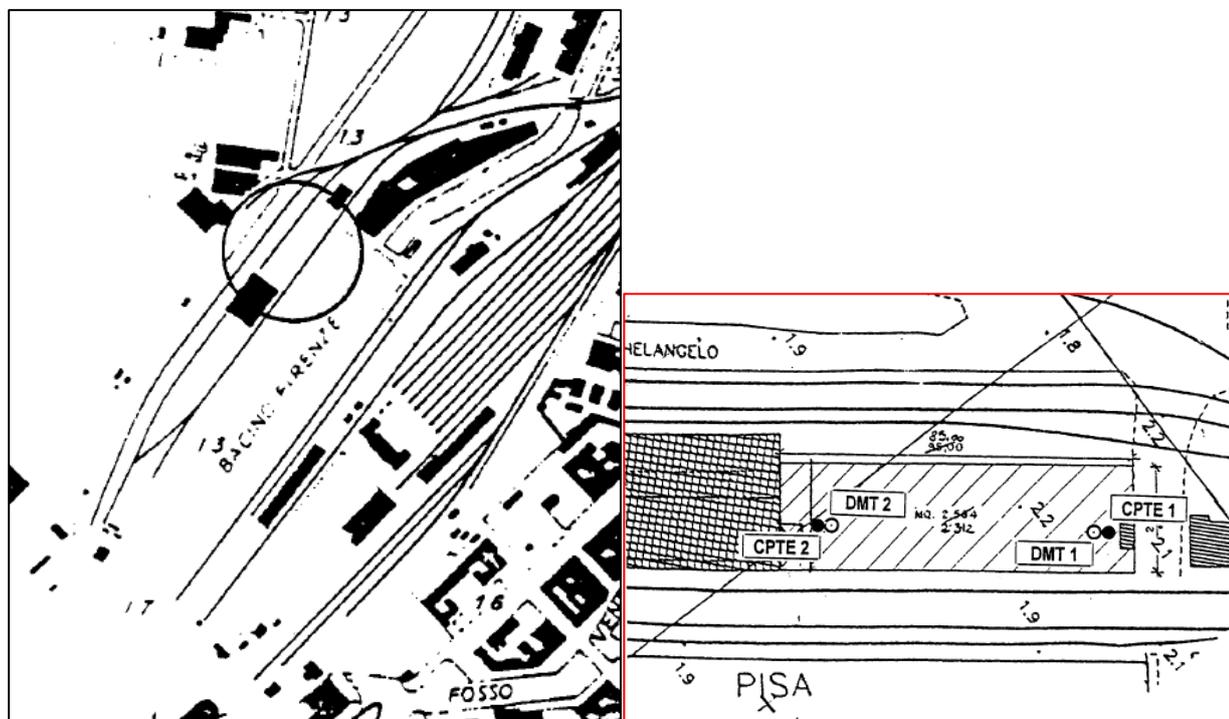


Figura 21. Ubicazione sondaggi, tratto dalle tavole presenti nella relazione citata. A sinistra è riportata l'ubicazione areale, a destra nel riquadro rosso è riportato lo zoom 1:1.000.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica sono state eseguite 2 prove penetrometriche CPTe e due prove dilatometriche. I livelli stratigrafici e i parametri geotecnici ricavati dalle indagini sono riassunte in Figura 22.

	Livello 0	Livello A	Livello B	Livello C	Livello D
Profondità m dal pc	pc a -2.0	-2.0 a -5.0	-5.0 a -8.0	-8.0 a -14.00	-14.0 a -18.0
Descrizione	Materiale di riporto ad elementi litoidi eterometrici (substrato del piazzale attuale)	Limi argillosi, scarsamente consistenti. Abbondante materiale vegetale	Argille limose poco consistenti con sottili intercalazioni sabbiose	Limi sabbiosi consistenti passanti a sabbie e sabbie limose	Alternanza di sabbie e ghiaie in matrice sabbiosa, bene addensate
γ (kN/m³)	-	17	18	19	19.5
Φ°	-	-	-	-	35
Cu (kN/m²)	-	20-30	30-40	80	-

Figura 22. Sintesi stratigrafia e parametri geotecnici descritti nella relazione del 1998. γ peso di volume, Φ angolo di attrito interno, Cu coesione non drenata.

CAMPAGNA D: Calata Carrara

Il modello stratigrafico/geotecnico di Calata Carrara è descritto nello studio geologico eseguito nel 1997 per la ristrutturazione delle banchine (GEO_022_Calata Carrara). Per tale lavoro sono stati eseguiti due sondaggi geognostici a carotaggio continuo profondi 34 m e tre prove dilatometriche estese anch'esse 34 m.

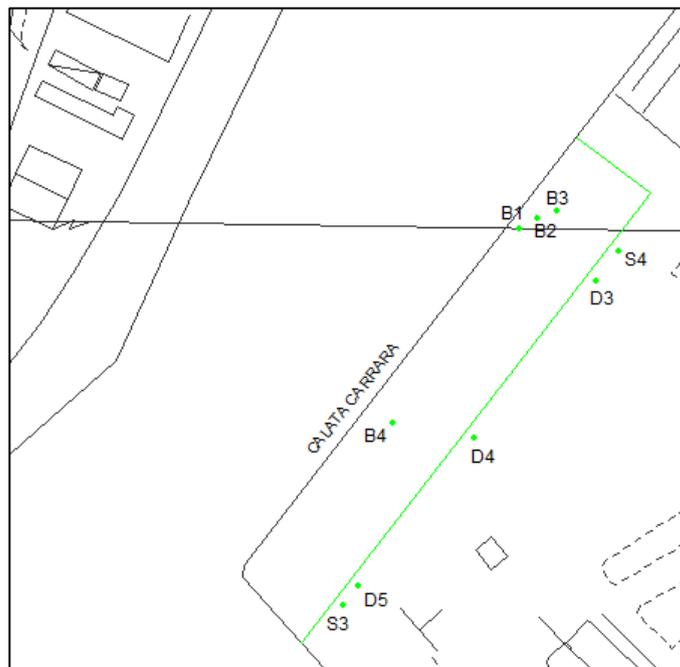


Figura 23. Ubicazione punti di indagine.

In entrambi i sondaggi sono stati prelevati campioni indisturbati nello strato sabbioso-limoso e sono stati sottoposti a prove geotecniche di laboratorio. Sia nello strato sabbioso-limoso che in quello superficiale di riporto sono state eseguite 15 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT. Sono stati inoltre eseguiti 4 ulteriori sondaggi, spinti sino a circa 14 m di profondità per studiare le caratteristiche del materiale da portare a discarica e lo spessore dell'attuale muro di banchina. I risultati delle indagini svolte sono riassunte in tabella.

	Livello 0	Livello A	Livello B	Livello C	Livello D
Profondità m da pc	-0.50 a -2.00	-2.00 a -6.00	-6.00 a -9.00	-9.00 a -16.50	-16.50 a -34.00
Descrizione	Manto stradale misto stabilizzato, soletta di calcestruzzo	Argilla limosa	Materiale di riporto (sabbie/ghiaie mediamente addensate)	Sabbia debolmente limosa a limosa	Sabbie debolmente limose passanti a sabbie con limo
γ saturo (t/m³)	2.1	1.7	2.0	2.0	2.0
Φ°	40	28	34	37.5	35
C (kg/cm²)	0	0	0	0	0

Figura 24. Sintesi parametri geotecnici. γ peso di volume, Φ angolo di attrito interno, C coesione.

CAMPAGNA E: ACCOSTO 55 - CALATA CARRARA

Vi è un ulteriore lavoro effettuato a dicembre 2009 dal Geologo Antonio D'Andrea ai fini della costruzione delle opere di riprofilamento e consolidamento della banchina (accosto 55 – Calata Carrara), da cui è possibile ricavare un'accurata descrizione della stratigrafia e di diversi parametri sia geotecnici che geofisici.

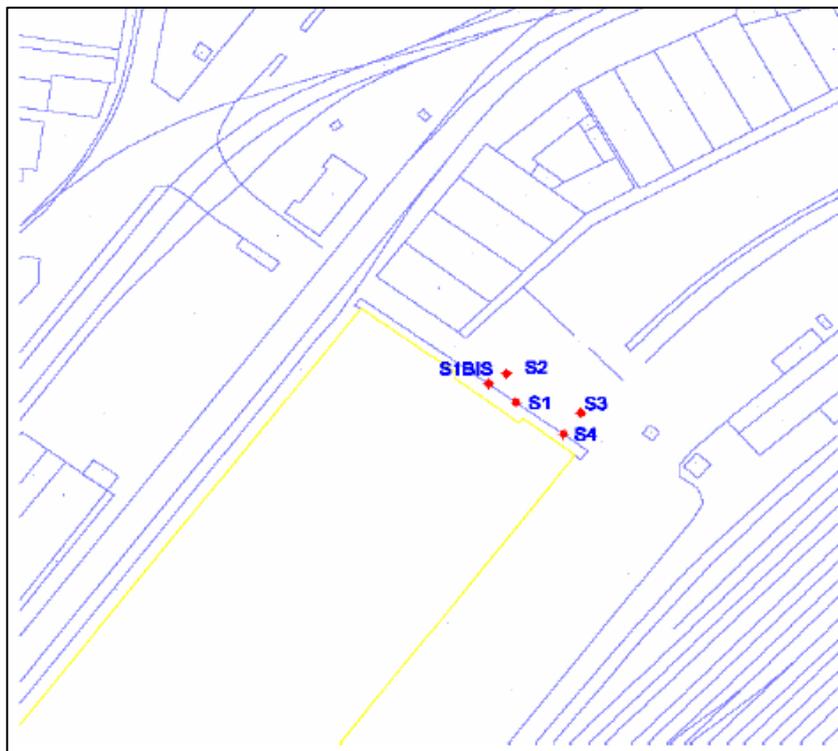


Figura 25. Ubicazione sondaggi relativi al lavoro citato, scala 1:2000.

Per tale lavoro sono stati eseguiti 5 sondaggi verticali a rotazione e a carotaggio continuo, 8 prove SPT, e sono stati prelevati 8 campioni indisturbati. Inoltre è stata eseguita una prospezione geofisica tipo DOWN HOLE.

In tutti i sondaggi, i vari livelli mostrano caratteristiche litologiche molto simili, tali da permetterne ogni volta un facile e sicuro riconoscimento. I vari livelli di terreno, sono stati accorpati in Unità litostratigrafiche principali, di seguito brevemente riassunte.

- **UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA A** - Materiali costituenti il corpo banchina: questa unità è costituita da terreni e blocchi in calcestruzzo armato che costituiscono il corpo banchina. Al di sotto di un primo livello costituito da terreni di riporto a granulometria ghiaiosa in matrice sabbioso limosa, si rinviene la presenza in tutti i sondaggi, ad eccezione fatta per la verticale S3, di blocchi di calcestruzzo armato di dimensione metrica, intervallati localmente da piccoli spessori di riporti a granulometria tendenzialmente ghiaiosa con ciottoli. Lo spessore del corpo banchina non è uguale in tutti i punti. È da notare la presenza di una possibile cavità riempita da depositi limosi recenti di colore nerastro senza consistenza alcuna.
- **UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA B** - Sabbie ed argille con limo grigie: questa unità è costituita da terreni quaternari di origine marina costituiti da sabbie con limo contenenti intercalazioni centimetriche argilloso limose, che passano da circa 3.00 m a delle argille con limo poco consistenti. L'unità comprende una diffusa presenza di depositi algali.
- **UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA C** - Sabbie da limose a con limo avana: comprende terreni a granulometria da sabbioso limoso argillosa a sabbiosa con limo ad alto contenuto fossilifero.

L'unità si presenta localmente debolmente cementata. Alla base sono presenti locali clasti centimetrici arrotondati ed appiattiti.

- **UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA D** – Argille limose: l'unità D è rappresentata da argille limose consistenti che si presentano localmente a maggiore componente limosa. Alle stesse si intercalano locali livelli centimetrici da limoso sabbiosi a sabbioso limosi.
- **UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA E** – Sabbie limose con ghiaia: comprende delle sabbie limose con ghiaia molto addensate di colore grigio, addensate e a minore contenuto ghiaioso in testa. I clasti sono di origine poligenica (principalmente intrusivi), arrotondati, e con diametro max. compreso tra i 3 e i 4 cm. Localmente l'unità si presenta a maggiore componente limosa e/o ghiaiosa. Essa include al tetto uno strato di passaggio con l'unità superiore a granulometria sabbiosa da debolmente limosa a con limo di colore grigio verdastro e con spessore variabile tra circa 0.50 m e 1.50 m.
- **UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA F** – Sabbie limose: comprende delle sabbie limose moderatamente addensate di colore grigio che localmente presentano della variazione del contenuto in limo. Livelli limoso sabbiosi sono da segnalare al tetto della stessa. L'unità comprende dei settori a geometria lenticolari e con spessore massimo riscontrato di circa 5.50 m a granulometria da ghiaiosa a con ghiaia da addensati a molto addensati.
- **UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA G** – Limi sabbiosi: comprende dei limi sabbiosi, localmente argillosi di colore grigio a cui si intercalano livelli da centimetrici a decimetrici sabbioso limosi e/o con limo dello stesso colore. L'unità è stata riscontrata sino alla massima profondità indagata per uno spessore accertato di 3.10 m.

Dai risultati delle prove effettuate in laboratorio sui campioni di terreno prelevato, risulta che l'angolo di attrito ϕ' aumenta con la profondità e presenta valori compresi tra **21° e 37°**. La **coesione** si presenta di circa **12-13 KN/m²** nei primi 12 m circa, fino ad annullarsi per profondità maggiori. Il peso di volume è compreso tra **1,9 e 2,0 t/m³** aumentando con la profondità. Per maggiori informazioni si rimanda alla relazione precedentemente citata in cui sono riportate tutte le schede relative sia alle prove in laboratorio effettuate per ogni campione, che alle prove geofisiche di cui qui si riportano il quadro sinottico.

Prof. m	T(p) ms	T(s) ms	Vp m/s	Vs m/s	v	E MPa	G MPa	γ T/mc	Prof. m	Stratigrafia
1	1,15	2,45	1290	450	0,43	985	344	1,70	1	Riporto
2	1,70	5,85	1290	450	0,43	985	344	1,70	2	
3	2,40	6,05	1290	450	0,43	1043	365	1,80	3	Sabbia limosa
4	3,25	20,10	1290	70	0,50	27	9	1,85	4	Argilla con limo
5	4,15	35,80	1220	70	0,50	27	9	1,85	5	
6	4,85	40,80	1220	195	0,49	209	70	1,85	6	Sabbia limosa
7	5,50	45,50	1360	195	0,49	210	70	1,85	7	
8	6,40	51,00	1360	195	0,49	210	70	1,85	8	Argilla limosa grigia
9	6,95	63,00	1360	280	0,48	429	145	1,85	9	
10	7,40	67,20	1830	280	0,49	432	145	1,85	10	
11	8,00	71,60	1830	280	0,49	432	145	1,85	11	
12	8,55	74,80	1830	280	0,49	432	145	1,85	12	
13	7,55	77,60	1490	280	0,48	441	149	1,90	13	Sabbia limosa grigia
14	8,15	81,60	1490	280	0,48	441	149	1,90	14	
15	8,75	86,40	1490	280	0,48	441	149	1,90	15	
16	9,50	87,60	1490	280	0,48	441	149	1,90	16	
17	10,80	92,20	1180	280	0,47	438	149	1,90	17	
18	11,75	95,80	1180	280	0,47	438	149	1,90	18	
19	12,55	102,40	1180	175	0,49	173	58	1,90	19	
20	13,35	107,60	1180	175	0,49	173	58	1,90	20	
21	14,55	113,00	1060	175	0,49	173	58	1,90	21	
22	15,75	116,00	1060	375	0,43	763	267	1,90	22	
23	16,70	118,80	1060	375	0,43	763	267	1,90	23	
24	17,55	122,00	1060	375	0,43	763	267	1,90	24	
25	18,50	124,40	1060	375	0,43	763	267	1,90	25	
26	19,35	126,40	1060	375	0,43	763	267	1,90	26	
27	20,20	128,40	1060	375	0,43	763	267	1,90	27	
28	21,00	131,20	1060	375	0,43	763	267	1,90	28	Limo sabbioso grigio
29	22,20	134,40	1060	375	0,43	763	267	1,90	29	
30	23,00	138,00	1060	375	0,43	763	267	1,90	30	

Figura 26. Allegato 6 della relazione geologica relativa a "OPERE DI RIPROFILAMENTO E CONSOLIDAMENTO DELLA BANCHINA A RADICE DELL'ACCOSTO 55 (CALATA CARRARA) - PORTO DI LIVORNO", dicembre 2009, Autorità Portuale di Livorno. Tempi onde P: tempi di arrivo delle onde P normalizzati lungo la verticale. Tempi onde -: tempi di arrivo delle onde - normalizzati lungo la verticale. v coefficiente di Poisson. E: modulo di Young. G: modulo di taglio. γ: densità.

In riferimento agli studi precedentemente descritti, in **Allegato 1**, **Allegato 2** e **Allegato 3** sono riportati rispettivamente:

- la **planimetria** con l'ubicazione delle indagini pregresse,
- il **quadro sinottico dei parametri stratigrafici e geotecnici**,
- le **sezioni geologiche** ricavate dall'analisi dei parametri pregressi; trattasi di sezioni rappresentative dell'assetto litostratigrafico così come descritto nei sondaggi precedentemente realizzati, quindi suscettibili di modifiche sulla base delle interpretazioni dalle nuove indagini.

6 PIANO DI INDAGINE

Il piano di indagine è finalizzato a verificare che ci siano le condizioni idonee per gli interventi previsti. Le informazioni fornite precedentemente, per quanto siano frutto di valutazioni delle caratteristiche delle terre dedotte da studi pregressi effettuate in aree limitrofe all'area in studio non possono considerarsi esaustive per la definizione dei caratteri geotecnici e dei parametri necessari per il calcolo e la messa in opera degli interventi previsti. I valori geotecnici riportati precedentemente sono indicativi e devono essere sempre valutati puntualmente con indagini geognostiche e ulteriori indagini in situ e in laboratorio. Tuttavia, l'esame dei risultati delle indagini pregresse e l'ubicazione delle stesse ha permesso di orientare adeguatamente la previsione della nuova campagna di caratterizzazione geologica e geotecnica in maniera funzionale alle esigenze di progetto. Si è quindi tenuto conto soprattutto delle indagini già eseguite nei siti più prossimi a quelli delle opere previste e dell'assetto litostratigrafico dell'area, al fine di definire tipologia e quantità delle indagini geognostiche necessarie.

In particolare, ai fini di una caratterizzazione completa si prevede di eseguire **un totale di 15 sondaggi geognostici a carotaggio continuo**, in modo da ottenere una caratterizzazione stratigrafica e geotecnica accurata, **più due sondaggi a distruzione di nucleo**, per l'esecuzione dei preforo per l'esecuzione delle CPTU. Nel Bacino di Firenze, inoltre, sono previsti **2 carotaggi in mare con l'utilizzo di carotiere tipo vibrocorer**, con opportune fustelle e sistema di infissione, idoneo per il prelievo verticale di carote di lunghezza almeno pari a 6 metri. Ai fini della determinazione dei parametri geotecnici del terreno, verranno prelevati diversi campioni indisturbati di terreno in funzione di ogni variazione litologica attesa per ogni sondaggio, sui quali avviare una serie di analisi di laboratorio finalizzate sostanzialmente alla determinazione dei parametri di fisici di base, di resistenza e di deformabilità del materiale. Inoltre, a diversi livelli di profondità, basandosi sempre sulle variazioni litostratigrafiche attese, sono previste prove SPT (*Standard Penetration Test*). In diversi sondaggi, si procederà fino alle diverse profondità indicate con prova pentometrica statica con piezocono (CPTU).

- Standard Penetration Test (SPT)

La prova SPT si esegue durante la perforazione e consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionario di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m.

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

- Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;
- testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- maglio di acciaio di 63.5 kg;
- dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0.76 m;
- centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna.
- campionario standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm.

La sua vasta diffusione è dovuta principalmente alla facilità di realizzazione, potendo essere eseguita in qualunque tipo di terreno direttamente durante il sondaggio, senza l'adozione di attrezzature supplementari; il suo uso in tutto il mondo ha portato alla produzione di una abbondante bibliografia che rende agevole l'interpretazione dei risultati ottenuti.

Questa prova, tramite una serie di correlazioni empiriche con la resistenza alla penetrazione misurata durante l'esecuzione, permette di stimare in modo più o meno affidabile:

- la densità relativa (DR), l'angolo di resistenza al taglio di picco (ϕ') e la resistenza alla liquefazione ($t_{1/2}$) dei terreni granulari;
 - il modulo di taglio a piccole deformazioni (G_0);
 - la resistenza al taglio non drenata c_u di terreni a grana fine.
- Prova Penetrometrica Statica con Piezocono - CPTU

La prova penetrometrica statica C.P.T. (*Cone Penetration Test*) permette l'identificazione della successione stratigrafica lungo una verticale, e la stima di molti parametri geotecnici sia in terreni a grana fine che in terreni a grana grossa (ghiaie escluse). La prova è autoperforante, ovvero non richiede l'esecuzione di un foro di sondaggio, e consiste nell'infissione a pressione nel terreno, a partire dal p.c. ed alla velocità costante di 20 mm/sec (con una tolleranza di ± 5 mm/sec), di una punta conica avente diametro 35.7 mm e angolo di apertura 60° , collegata al dispositivo di spinta mediante una batteria di tubi. Il contrasto necessario ad infiggere il penetrometro è di norma ottenuto col peso dell'autocarro, eventualmente zavorrato, su cui è installata l'attrezzatura. In particolare la CPTU prevede l'utilizzo del piezocono. Nel piezocono (CPTU) alla normale punta penetrometrica elettrica vengono aggiunte una o più piastre porose collegate a trasduttori che consentono la misura della pressione interstiziale nell'intorno della punta durante l'infissione.

- Vibrocorer

Il Vibrocorer è stato progettato come un sistema modulare facile da usare e da trasportare in grado di raccogliere nuclei di lunghezza fino a 12 m. è costituito da due grandi motori elettrici che alimentano due pesi concentrici, che producono le vibrazioni necessarie. L'alloggiamento della testa del vibrocorer sigillato per i motori è progettato per funzionare a profondità d'acqua anche fino a 600 m. Il sistema modulare può essere facilmente assemblato a bordo di un mezzo nautico di supporto, in un sistema da 3m, 6m, 9m o 12m. Una volta che l'unità si trova sul fondo del mare, i motori del vibratore ad alta potenza vengono innestati e spingono la canna del nucleo con rivestimento in PVC nei sedimenti. La scarpa da taglio e il dispositivo di cattura del nucleo sono appositamente progettati per ridurre al minimo il disturbo del campione. L'unità è progettata per un facile recupero orizzontale sull'imbarcazione e quindi un facile recupero del barilotto centrale. Il Vibrocorer standard è un sistema modulare ad alta potenza che può essere implementato rapidamente e facilmente, offrendo un campione ben definito di 96 mm di diametro.

Basandosi sulle due diverse tipologie di intervento, il piano di indagine è stato sostanzialmente articolato in relazione a tre elementi di importanza strutturale: l'infissione delle palancole, la realizzazione di tiranti di fondazione e il riempimento del Bacino Firenze con i materiali di risulta di resecazione delle banchine.

Per gli interventi di infissione dei palancole a terra e dei tiranti previsti nelle porzioni di Calta Alto fondale, Calata Orlando, Calata Pisa e Calata Carrara si prevede un'indagine articolata nell'ordine seguente:

- **15 sondaggi a carotaggio continuo** ubicati come nella planimetria in Figura 27. Di questi, 8 sondaggi saranno ubicati lungo la linea in cui andranno infisse le palancole. Considerate le dimensioni (circa 24 m di altezza complessiva, dei quali 13 m resteranno infissi nei sedimenti in posto), si stima una profondità di indagine di -30 m dal pc. Alternati a questi sondaggi, a una

distanza variabile tra 26 e 30 m dalla linea di resecazione, sono previsti ulteriori 6 sondaggi, ubicati in linea con la posizione del bulbo di ancoraggio dei tiranti, per i quali è prevista una profondità di indagine di circa -20 m dal pc.

- Nei sondaggi a carotaggio continuo verranno effettuate un totale di **34 prove SPT**. In particolare, ai fini di una caratterizzazione completa, per gli 8 sondaggi in linea con la posizione di infissione delle palancole si stimano circa tra 3 e 4 prove SPT, in maniera alternata per sondaggio, posizionate in modo da ricoprire i vari livelli a diverse profondità. Per quanto riguarda i sondaggi in linea con i bulbi di ancoraggio dei tiranti si stimano tra 1e 2 prove SPT per foro tra le profondità di -14 e -20 m.
- In quattro dei sondaggi a carotaggio continuo, a partire dalla profondità di -12 m dal pc verranno effettuate un totale di **4 prove CPTU** fino alla profondità di -30 m dal pc.
- Prelievo di **37 campioni indisturbati**, in modo da caratterizzare ogni variazione composizionale riscontrata. Qualora non sia possibile il prelievo di campioni indisturbati, in alternativa si procederà con il prelievo di campioni disturbati/rimaneggiati. Basandosi sui dati stratigrafici pregressi, nei sondaggi in linea con il palancolato si stimano almeno tra i 3 e i 4 campioni indisturbati per sondaggio. Per quanto riguarda i sondaggi in linea con il bulbo di ancoraggio dei tiranti, verrà prelevato 1 o 2 campioni per sondaggio tra le profondità di -14 m e i -20 m dal pc.
- Su ogni campione verranno eseguite le seguenti **prove e classificazioni**:
 - Classificazione UNI 10006
 - Classificazione granulometrica
 - Limiti di Atterberg
 - Stima del peso di volume
 - Stima della densità secca
 - Stima della porosità

Inoltre, in **8 dei campioni** prelevati nei sondaggi posizionati **in linea con i palancole** e in **10 dei campioni** prelevati nei sondaggi **in linea con il bulbo di ancoraggio** dei tiranti verranno eseguite **prove edometriche** e **prove di taglio**. In due dei sondaggi in linea con il bulbo di ancoraggio dei tiranti, sono previste **2 prove triassiali**.

È necessario considerare che il numero di prove previste, in particolar modo Limiti di Atterberg, Classificazione UNI 10006, prove edometriche e triassiali, potrà variare a seconda delle caratteristiche litologiche del materiale riscontrato.

Per quanto riguarda gli interventi sul **Bacino di Firenze**, considerati il carico previsto dato dal riempimento del bacino e il dimensionamento delle palancole, si prevede un'indagine articolata nell'ordine seguente:

- **2 prefori a distruzione di nucleo**, in corrispondenza del bordo banchina, posizionato come nella planimetria in Figura 27, con profondità di -12 m dal pc a cui seguiranno, a partire dal fondo foro, **due prove CPTU** (una per ciascun foro) fino alla profondità di -20 dal p.c..
- **2 carotaggi a mare con Vibrocorer** di lunghezza pari o superiore a 6 m, come nella planimetria in Figura 27.
- È previsto il prelievo di **2 campioni indisturbati**.

- Su ogni campione verranno eseguite le seguenti prove e classificazioni:
 - Classificazione granulometrica
 - Limiti di Atterberg
 - Prova edometrica
 - Stima del peso di volume
 - Stima della densità secca
 - Stima della porosità

Nell'immagine (Figura 27) e nella tabella (Tabella 1) di seguito riportate sono rappresentati rispettivamente la planimetria di ubicazione e il quadro riepilogativo del indagini previste.

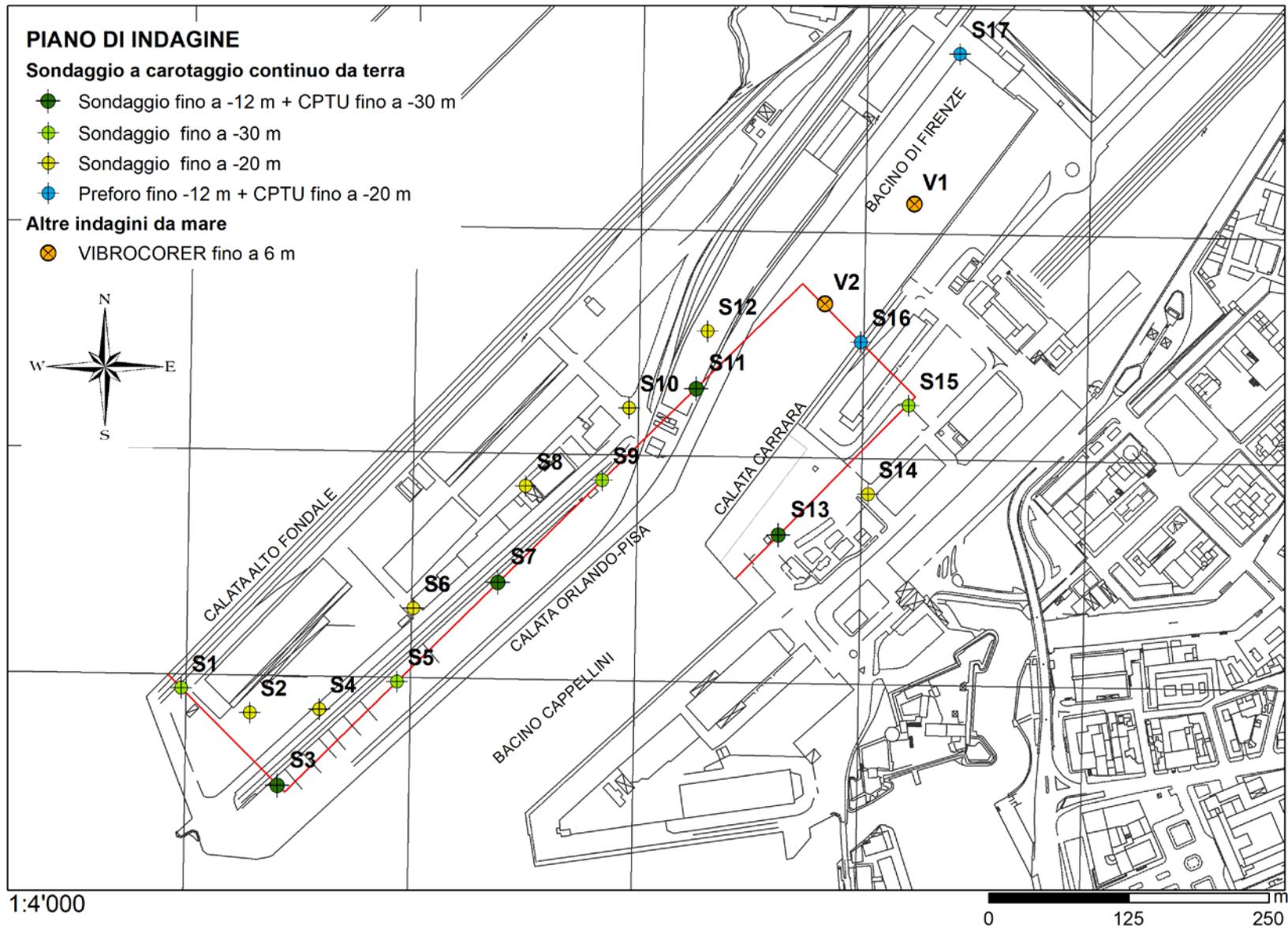


Figura 27. Planimetria ubicazione delle indagini. Le quote sono da intendersi dal piano campagna.

	Sondaggi a carotaggio continuo															PREFORO		VIBROCORER					
m da pc	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	V1	V2	m s.l.m.			
0 a -1	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		S	S	-	-			+2 a +1			
-1 a -2	S	S	C	S	S	S	C	S	S	S	C	S	S	S	C	-	-			+1 a 0			
-2 a -3	C	S	SPT	S	C	S	SPT	S	C	S	SPT	S	C	S	SPT	-	-			0 a -1			
-3 a -4	SPT	S	S	S	SPT	S	C	S	SPT	S	S	S	SPT	S	C	-	-			-1 a -2			
-4 a -5	C	S	SPT	S	S	S	SPT	S	C	S	C	S	S	S	SPT	-	-			-2 a -3			
-5 a -6	SPT	S	S	S	C	S	S	S	C	S	S	S	SPT	S	S	-	-			-3 a -4			
-6 a -12	S	S	STP+C	S	STP	S	C	S	STP	S	C	S	C	S	SPT+C	-	-			-4 a -10			
-12 a -15	SPT	SPT+C	CPTU	S	C	SPT+C	CPTU	C	SPT	SPT+C	CPTU	SPT	CPTU	SPT+C	S	CPTU	CPTU	C	C	-10 a -13			
-15 a -20/-30	STP+C	SPT+C		SPT+C+T	STP+C	SPT+C		SPT+C	C	SPT+C+T		SPT+C		SPT+C	SPT+C			SPT+C	-	-	-13 a -18/-28		
	Indagini da terra		nero	Profondità foro -30 m		C	Campioni indisturbati per Set analisi base: Classificazione UNI 10006, Classificazione granulometrica, Limiti Atterberg, Stima del peso di volume, Stima della densità secca, Stima della porosità																
			grigio	Profondità foro -12 m																			
	Indagini da mare		rosso	Profondità foro -20 m		C	Campioni indisturbati per: Set analisi base + prova edometrica + prova di taglio															T	Prova triassiale
S	Stratigrafia					C	Campioni indisturbati per: Set analisi base (ad esclusione della Classificazione UNI 10006) + prova edometrica																

Tabella 1. Quadro Sinottico delle indagini e delle prove geognostiche in previsione

7 CONCLUSIONI

Da quanto esposto finora risulta che:

- Dal punto di vista della vincolistica l'intera opera, facendo riferimento al Piano Strutturale approvato dal Consiglio Comunale di Livorno con Delibera n.75 del 7 aprile 2019, le aree di studio ricadono in:
 - classe di Pericolosità Geomorfologica media "G.3";
 - classe di Pericolosità Sismica locale elevata "S.3";
 - classe di Pericolosità Idraulica media "P.I.2".
- Dal punto di vista prettamente geologico, risulta che l'area portuale di Livorno è impostata su depositi sabbiosi di litorale, con intercalazioni di sabbie e limi argillosi fluvio-lacustri e argille lacustri con livelli torbosi, le quali con spessori di modesta entità poggiano direttamente su depositi pleistocenici costituiti da argille e sabbie, localmente ghiaiose, con intercalazioni più o meno ghiaiose, di origine sia marina che fluvio-lacustre. La deposizione di tutti i sedimenti posteriori al Pleistocene inferiore è stata fortemente influenzata dalle importanti variazioni climatiche degli ultimi 0,7 Ma. La stratigrafia del primo sottosuolo (depositi quaternari) è infatti condizionata da fenomeni deposizionali di tipo marino (trasgressivo – regressivo), depositi alluvionali e deltizio-fluviali, depositi continentali eolico-dunari. I sedimenti delle varie unità stratigrafiche si sono via via addossati a quelle precedenti. Per questa complessità di sedimentazione si hanno continue variazioni verticali e rapidi passaggi laterali (eteropia di facies) nel pacco dei terreni più superficiali.
- Per la descrizione preliminare stratigrafica e geotecnica dei terreni in sito sono stati riportati i risultati di indagini geognostiche effettuate sulle stesse aree ed in aree limitrofe in occasione di interventi pregressi. Le strutture d'interesse insistono su un'area originariamente a matrice paludosa e successivamente bonificata con riporti artificiali, sulle quali le strutture portuali sono state edificate con materiali di riempimento di inerti naturali e in parte di origine antropica. I sondaggi disponibili evidenziano che la successione litostratigrafica di massima risulta costituita essenzialmente dalle seguenti formazioni:

	DESCRIZIONE STRATIGRAFICA	m da pc	γ saturo (t/m ³)	Φ°	C (kg/cm ²)
LIVELLO 0	riporto di materiali addensati di varia natura	-0.50 a -3.00	-	-	-
LIVELLO A	sabbie miste ad inerti	-3.00 a -5.00	1.7	28	0
LIVELLO B	alternanza di sabbie limose ed argille limose	-5.00 a -8.00/22	1.9/2.0	35	0*
LIVELLO C	argille ed argille limose a buona consistenza	-22 a -27	1.9/2.0	35	0

Tabella 2. Sintesi dei caratteri riportati negli studi pregressi.

*Fa eccezione il tratto di Calata Carrara Accosto 55 (Campagna E) presenta una C di circa 12 kg/cm².

- Per una completa definizione delle caratteristiche composizionali e geotecniche è prevista una campagna geognostica, che prevede l'esecuzione di:
 - 15 sondaggi geognostici a carotaggio continuo per un totale di 308 m di sondaggio
 - 2 sondaggi a distruzione di nucleo fino a -12 m dal pc per un totale di 24 m
 - 34 prove SPT
 - 6 prove CPTU per un totale di 88 m di profondità
 - 2 carotaggi con VICORER per lunghezza pari o superiore a 6 m;
 - 37 campioni indisturbati (a terra) in cui, in ognuno di essi, verranno eseguite:

- o Classificazione UNI 10006
- o Classificazione granulometrica
- o Limiti di Atterberg
- o Stima del peso di volume
- o Stima della densità secca
- o Stima della porosità

Per alcuni di questi campioni sono inoltre previste:

- o 18 prove di taglio diretto
 - o 18 prove edometriche
 - o 2 prove triassiali
-
- o 2 campioni indisturbati prelevati dal Vibrocorer a mare in cui, in ognuno di essi, verranno eseguite:
 - o Classificazione granulometrica
 - o Limiti di Atterberg
 - o Stima del peso di volume
 - o Stima della densità secca
 - o Stima della porosità
 - o Prova edometrica

8 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

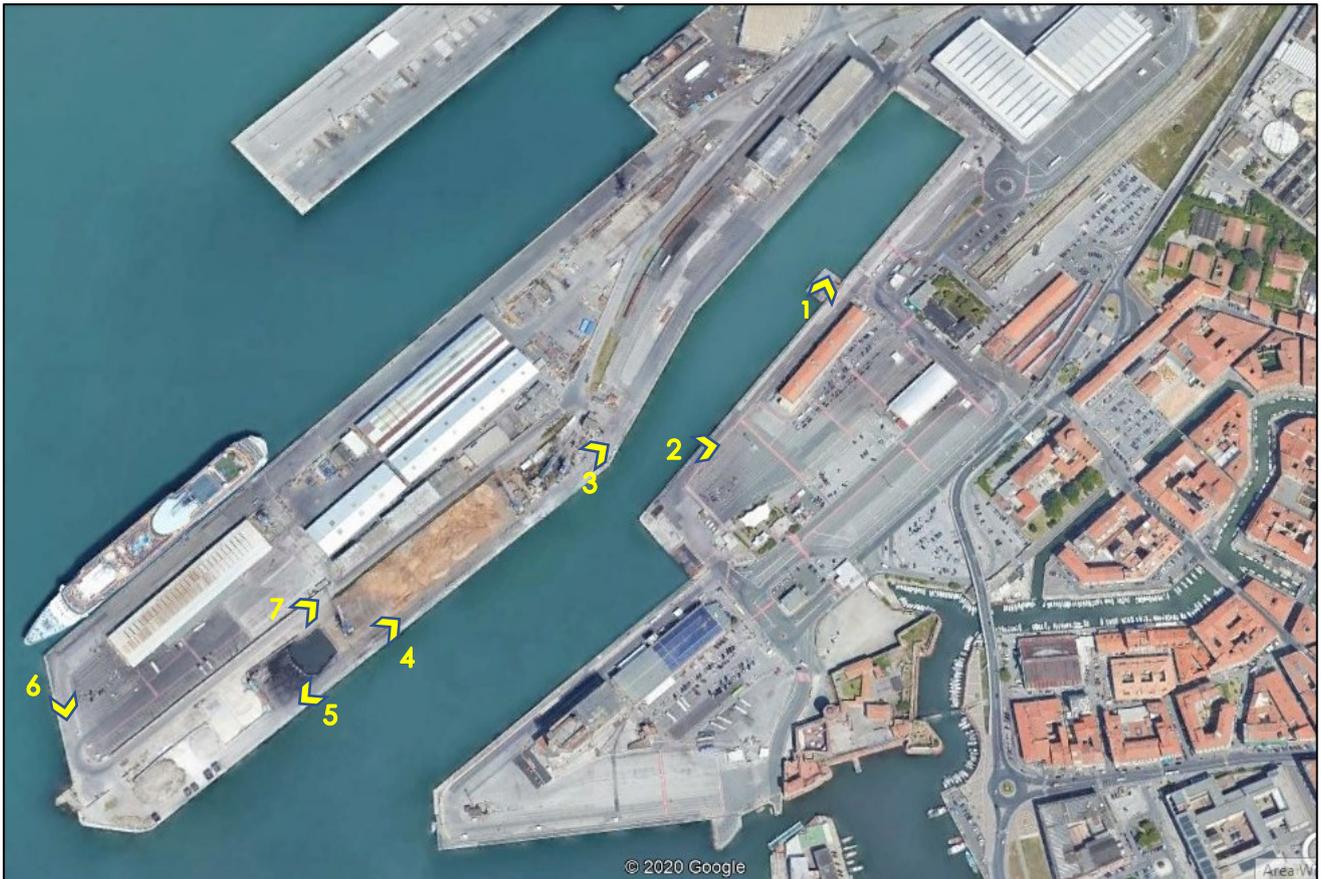


Foto 1. Bacino Firenze

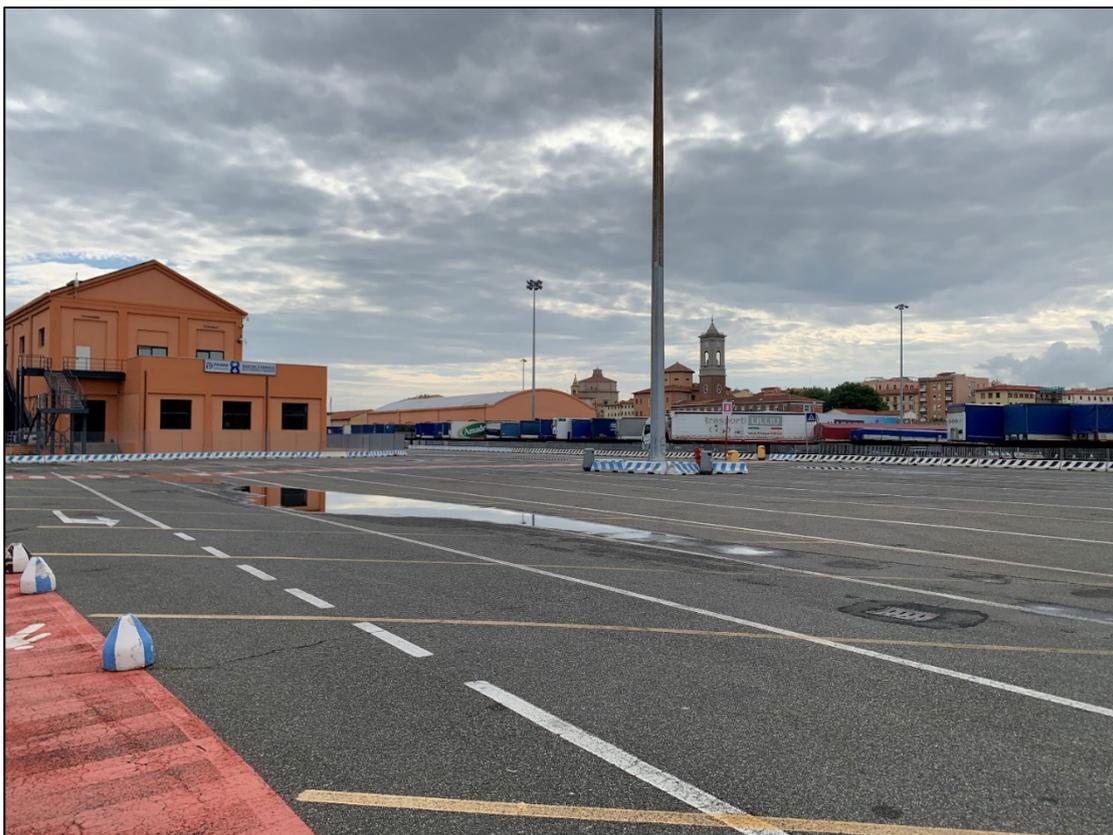


Foto 2. Piazzale di Calata Carrara



Foto 3. Banchina lato Calata Pisa. Sullo sfondo il Bacino di Firenze e Calata Carrara

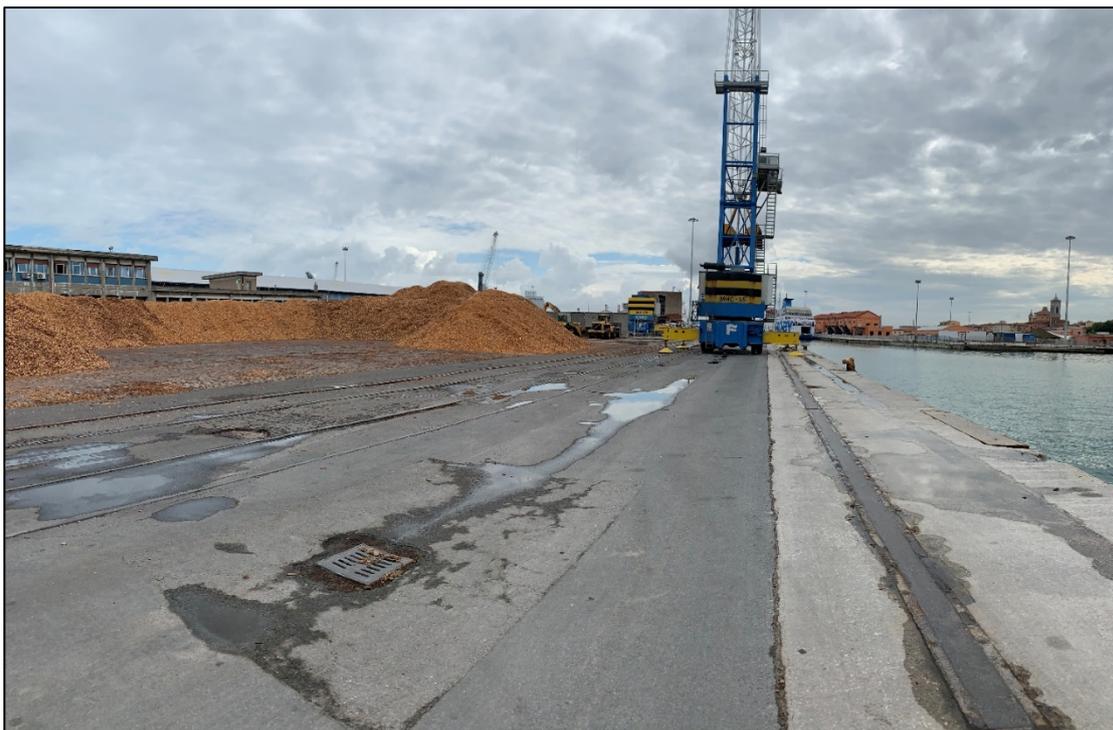


Foto 4. Banchina di Calata Orlando-Pisa

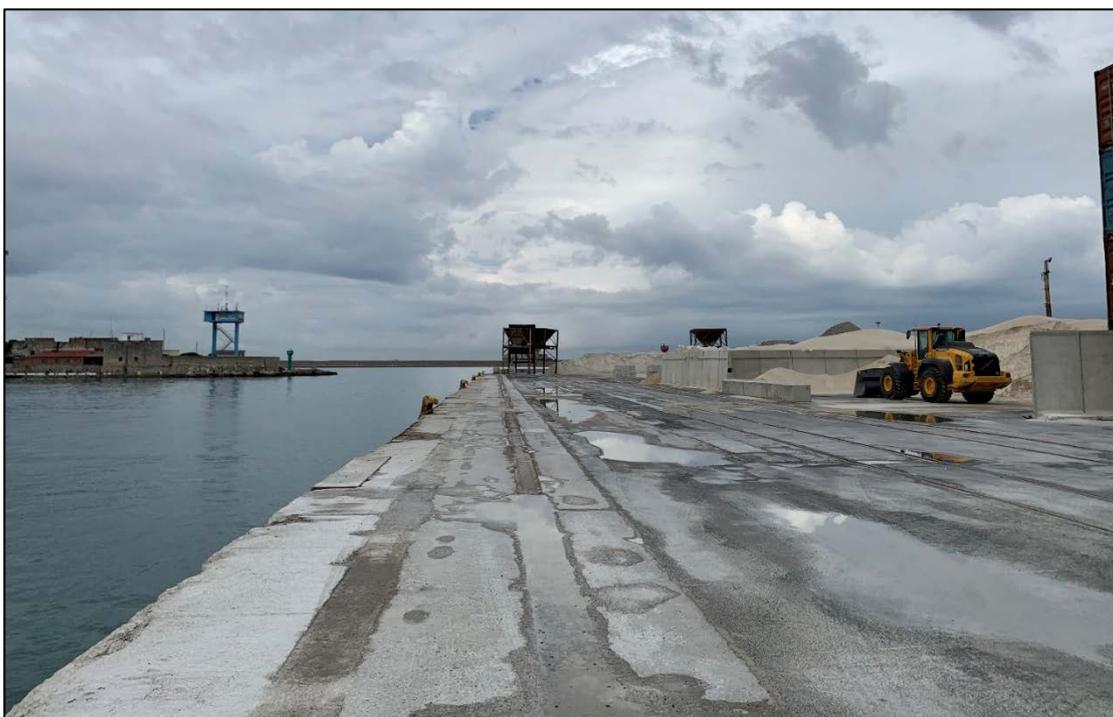


Foto 5. Calata Orlando, tratto di banchina per il quale è prevista la resecazione

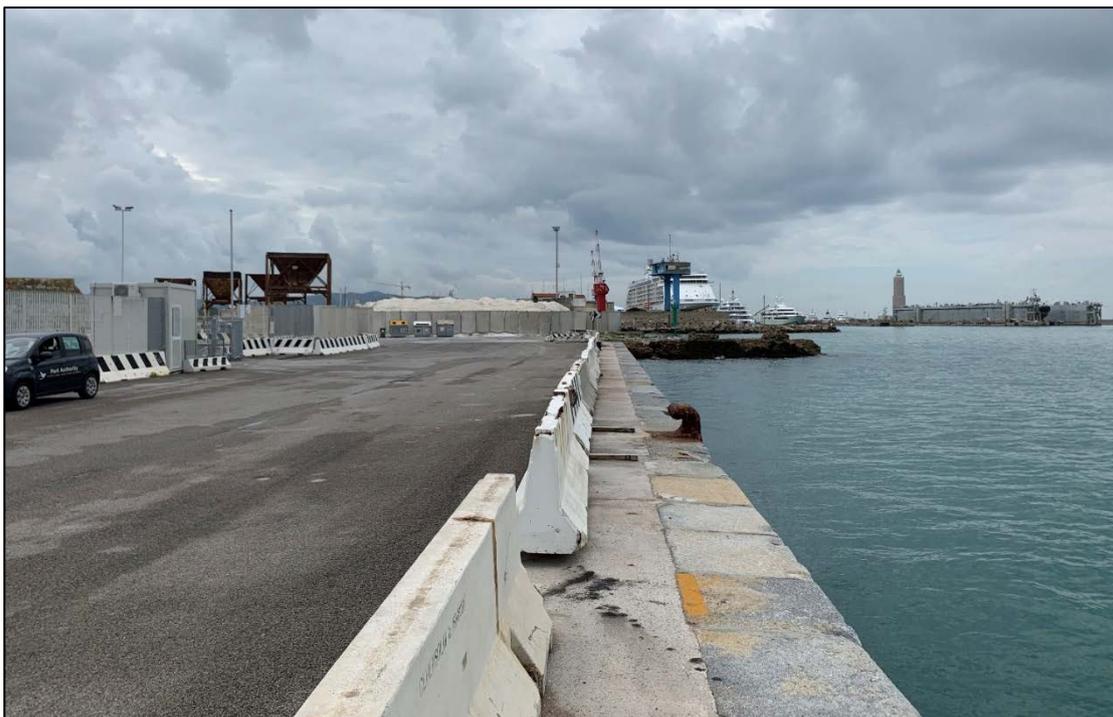


Foto 6. Calata Alto Fondale, tratto per il quale è prevista la resecazione



Foto7. Calata Orlando: via Pisa

9 APPENDICE – DISCIPLINARE TECNICO GENERALE PER LE INDAGINI

NATURA E OGGETTO DELL'APPALTO

Note generali

L'appalto ha per oggetto l'esecuzione delle indagini geognostiche necessarie per la caratterizzazione geologica, geotecnica, comprese le relative analisi geotecniche di laboratorio relativamente al progetto di riassetto funzionale dell'intera area attorno all'attuale Stazione Marittima del Porto di Livorno, al fine di renderla idonea ad accogliere anche il traffico crocieristico e di potenziare l'attuale traffico traghetti.

In particolare, le indagini saranno eseguite in corrispondenza di Calata Alto Fondale, Calata Orlando, Calata Pisa, Calata Carrara e Bacino di Firenze, così come indicato nelle planimetrie allegate, quale parte integrante e sostanziale del presente capitolato.

Le indagini geognostiche dovranno essere eseguite nel pieno rispetto delle prescrizioni tecniche di cui ai successivi articoli.

Indagini previste

L'elenco sommario delle indagini è articolato come segue:

- sondaggi geognostici a carotaggio continuo;
- prove geotecniche in situ (SPT in foro);
- campionamento e prove di laboratorio geotecnico dei terreni;
- prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH.

Norme generali per l'esecuzione di ogni categoria di lavori

I lavori dovranno essere eseguiti a perfetta regola d'arte ed in conformità alle speciali prescrizioni che la Direzione dei Lavori (D.L.) darà all'atto esecutivo, impiegando nella loro effettuazione tutte le cautele necessarie a non danneggiare qualsiasi opera esistente o altro, posti in prossimità o in aderenza dei siti delle indagini. Il posizionamento di tutte le attrezzature necessarie per lo svolgimento delle indagini, dovrà essere eseguito in modo da non creare danni o disagi al traffico veicolare ed alle attività presenti nell'area circostante, minimizzando la creazione di polveri e rumori/vibrazioni. I lavori e gli oneri per ripristinare i terreni alle condizioni preesistenti alle esecuzioni delle indagini, sono a carico dell'impresa aggiudicataria.

Per assicurare una regolare condotta dei lavori l'Impresa dovrà affidare la Direzione Tecnica (D.T.) del cantiere a persona con titoli e capacità adeguati (es. geologo e/o ingegnere ambientale).

Il Direttore Tecnico (D.T.) del cantiere è responsabile dell'andamento del cantiere e della qualità del lavoro; egli dovrà essere un esperto nel campo delle indagini geognostiche e di caratterizzazione ambientale avente una esperienza specifica documentabile.

Il D.T. compilerà e firmerà quotidianamente il Rapporto di Cantiere, dove saranno registrate tutte le operazioni eseguite; il Rapporto sarà controfirmato dalla D.L. o da chi ne fa le veci in qualità di Direttore Operativo (D.O.).

Prima di realizzare qualsiasi indagine occorrerà porre attenzione alla presenza di sottoservizi (cavi enel, telefonici, condotte idriche e fognarie, ecc), procurandosi anticipatamente idonea cartografia presso l'Ente competente, al fine di ricostruirne il tracciato; nel caso si verificassero danni questi sono a carico dell'impresa che svolge le indagini.

Qualora dai sopralluoghi preliminari, lungo tutte le aree oggetto delle indagini si riscontrasse la presenza di materiali antropici, quindi differenti da materiali terre e rocce da scavo, ne andrà identificata visivamente la loro natura, inoltre, gli stessi dovranno essere cartografati, sia arealmente che volumetricamente.

Nell'espletamento dell'incarico l'Affidatario dovrà impegnarsi a:

- utilizzare esclusivamente strumenti di misura tarati per l'esecuzione delle attività di propria competenza e fornire preventivamente copie delle suddette certificazioni alla D.L.
- utilizzare laboratori accreditati presso gli appositi organismi di competenza per l'esecuzione delle analisi necessarie per la corretta esecuzione delle attività da realizzare, esibendo a richiesta della D.L. copia delle relative autorizzazioni;
- accettare integralmente l'attività di controllo da parte della D.L. degli Enti e da parte dell'autorità competente in materia di monitoraggio ambientale (A.R.P.A.T.) che effettuerà l'attività di validazione delle indagini di caratterizzazione ambientale;
- utilizzare macchinari o attrezzature dotate di Marcatura CE secondo le vigenti normative comunitarie (es. Direttive Macchine 2006/42/CE recepita dal D.Lgs. 17/2010 e s.m.i.) esibendo a richiesta del personale della D.L. copia delle rispettive certificazioni di conformità;
- garantire (a proprie spese) l'esecuzione di tutte le misure previste dal D.Lgs. 81/08 e s.m.i. in materia di salute, sicurezza e igiene sul lavoro.

Le modalità operative delle indagini prese in considerazione nel presente capitolato, si uniformano alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" elaborate dalla Commissione A.G.I. e pubblicate nel 1977.

L'Affidatario dovrà pertanto approntare tutte le misure (igieniche, di protezione collettiva ed individuale, di emergenza ecc.) necessarie a svolgere in completa sicurezza le varie tipologie di attività, sia per il proprio personale incaricato sia per il personale esterno (personale del comune, ARPAT, o altro Ente) che, con funzione di supervisione potrà essere presente durante l'esecuzione del servizio.

L'Affidatario dovrà coordinarsi con ARPAT o altro soggetto istituzionale deputato per la supervisione delle attività e quanto richiesto per la regolarità dei lavori. A tal fine l'affidatario dovrà consentire all'ARPAT l'esecuzione di sopralluoghi presso i siti di esecuzione delle indagini, l'esecuzione di eventuali Audit presso i laboratori ove saranno effettuate le analisi e dovrà assumere a proprio carico gli oneri per la predisposizione dei campioni, in misura pari a circa il 10% del totale di progetto, per le controanalisi da effettuarsi presso i laboratori ARPAT.

PERFORAZIONI SENZA CAROTAGGIO

Per questo tipo di indagini dovranno essere impiegate attrezzature a rotazione a distruzione di nucleo. Nella perforazione eseguita a distruzione di nucleo, i detriti di perforazione saranno prelevati durante l'avanzamento di tutto il sondaggio e dopo essere stati eventualmente lavati dovranno essere disposti in appositi contenitori con le stesse modalità precisate per i sondaggi a carotaggio continuo. In base all'esame dei detriti dovrà essere compilata la stratigrafia del sondaggio facendo riferimento al modulo allegato nelle istruzioni tecniche per le parti compilabili.

PERFORAZIONI DI SONDAGGIO

Le modalità di perforazione e il diametro dei fori saranno tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati. La perforazione dovrà consentire la massima percentuale di recupero delle carote in funzione del tipo di terreno attraversato; il recupero dovrà essere ritenuto idoneo dalla Direzione Lavori. Le carote prelevate durante il corso della perforazione verranno conservate in apposite cassette catalogatrici sulle quali verranno riportati in perfetta evidenza e in modo indelebile il numero di sondaggio e la profondità del rilievo. Il compenso per la fornitura delle cassette catalogatrici verrà riconosciuto solo per quelle utilizzate per la conservazione temporanea, per il periodo richiesto dalla Direzione Lavori, delle carote. L'impresa potrà recuperare le cassette al termine dei lavori, con l'onere del trasporto a discarica del materiale estratto. Dopo aver completato ogni singola cassetta, l'impresa è tenuta ad eseguire a proprie cure e spese, almeno una fotografia su stampa a colori del contenuto, in cui sia visibile, oltre alle carote, l'indicazione del cantiere, il numero del sondaggio, la profondità dal piano di campagna cui corrisponde la cassetta e un comparatore colorimetrico. Le stampe dovranno essere fornite alla Direzione Lavori insieme alla relazione tecnica, al termine dei lavori.

Nel corso dei sondaggi sarà rilevata la stratigrafia del terreno attraversato; in essa dovranno comparire tutti gli elementi relativi ai campioni rimaneggiati ed indisturbati. Per ogni sondaggio eseguito in terreni sciolti e/o coesivi dovrà essere descritto: - ubicazione e denominazione del cantiere; - committente ed Impresa esecutrice; - quota dei sondaggi; - orientamento del sondaggio; - data di inizio e fine della perforazione; - caratteristiche dell'attrezzatura di perforazione e diametro di perforazione del carotiere; - eventuali metodi di stabilizzazione del foro adottati; - tipo e diametro degli eventuali rivestimenti; - profilo stratigrafico rilevato durante la perforazione con denominazione e rappresentazione simbolica della natura e consistenza dei terreni attraversati, con profondità dal piano di campagna e spessore dei diversi tipi litologici. - profondità di prelievo dei campioni disturbati e/o indisturbati; - note relative a perdite di fluidi di circolazione, eventuali franamenti delle pareti, rifluimenti dal fondo e quant'altro possa essere rilevato in campagna; - profondità di ogni manifestazione acquifera incontrata, da semplici perdite ai livelli freatici, di cui dovrà essere fornita la quota massima e minima rilevate nel corso del sondaggio fino a stabilizzazione o diversamente, a richiesta della Direzione Lavori. Le misurazioni inoltre andranno sempre effettuate all'inizio, alla fine di ogni turno di lavoro e alla sospensione antimeridiana, avendo cura che il foro sia libero da eventuali materiali che impediscano alla falda di raggiungere, durante la notte, il livello statico. Il sondaggio dovrà essere riempito con idoneo materiale, secondo le indicazioni della Direzione Lavori, con onere dell'Impresa.

Strumenti di perforazione

Gli strumenti di perforazione dovranno essere di potenza e dimensioni adeguate ed attrezzati per raggiungere le profondità che si renderanno necessarie, in funzione dei risultati delle indagini fino a quel momento svolte. Qualora l'attrezzatura installata nel cantiere di perforazione non sia idonea allo scopo, la D.L. ha facoltà di richiederne l'immediata sostituzione, sospendendo i lavori sino a sostituzione avvenuta, senza che la Ditta appaltatrice possa vantare alcun sovrapprezzo o compenso.

Le perforazioni dovranno essere eseguite nei punti preventivamente indicati dalla Direzione dei Lavori, in base al programma di indagine.

L'ubicazione dei punti di indagine sarà fissata dalla Direzione Lavori, e rimarrà comunque facoltà della stessa variarla in funzione delle maggiori conoscenze che si avranno durante la fase esecutiva delle indagini, senza che la Ditta Appaltatrice possa vantare alcun sovrapprezzo o compenso.

Per la posizione dei punti di perforazione e la profondità, si farà riferimento alle planimetrie di progetto con indicati i punti di terebrazione e potrà essere oggetto di modifiche parziali in corso d'opera.

Installazione dell'attrezzatura su ciascun punto di perforazione

La piazzola deve essere di dimensioni adeguate ad accogliere: la macchina che si intende utilizzare, le eventuali vasche di recupero dei fanghi, gli eventuali vibrovagli, le tubazioni e manichette per l'approvvigionamento idrico da acquedotto o da altra sorgente d'acqua.

Approvvigionamento idrico

L'eventuale trasporto d'acqua con autocisterne ed ogni altro tipo di approvvigionamento idrico, comprese le tubazioni e manichette per l'approvvigionamento da acquedotto o da altra sorgente, sarà a carico della Ditta Aggiudicataria.

Esecuzione delle perforazioni asta

Il cantiere di perforazione sarà allestito alla data di inizio lavori comprensivo di tutte le attrezzature e strumenti necessari all'indagine in oggetto.

L'attività di perforazione dovrà essere eseguita mediante carotaggio continuo; le modalità esecutive del sondaggio saranno tali da rendere minimo il disturbo dei terreni attraversati consentendo il prelievo continuo di materiale rappresentativo (carote).

La tecnica di perforazione sarà adattata alla tipologia e alla natura del terreno, mediante la scelta appropriata dell'apparecchiatura, del tubo carotiere, della corona, della velocità di avanzamento, della portata e della pressione dell'eventuale fluido di circolazione.

Tale carotaggio integrale e rappresentativo del terreno attraversato deve essere caratterizzato da una percentuale di recupero $\geq 85\%$.

Il carotaggio sarà eseguito a secco, senza fluido di perforazione di tipo ambientale, nei primi 5,0 metri di profondità e se possibile per profondità maggiori con carotiere semplice (C.S.). I carotieri saranno azionati ad aste. Nei terreni prelevati a secco, qualora l'espulsione della carota dal carotiere sia eseguita con pressione idraulica, dovranno essere impiegati tamponi a tenuta.

In terreni scistosi o comunque in ammassi molto fratturati dovranno essere utilizzati carotieri apribili (T6S).

L'eventuale impiego di corone speciali (al diamante) deve essere realizzato in terreni e rocce con durezza da "medio dure" a "molto abrasive".

✓ Utensili di perforazione:

- Carotieri semplici, con valvola di testa a sfera e calice:

Diametro nominale \varnothing est = 101 ÷ 127 mm

Lunghezza utile L = 150 ÷ 300 cm

- Carotiere doppio a corona sottile (T2) o grossa (T6) con estrattore:

Diametro nominale \varnothing est = 101 mm

Lunghezza utile L = 150 ÷ 300 cm

- Carotiere doppio con porta-campione interno apribile longitudinalmente (T6S), con estrattore a calice.

Diametro nominale \varnothing est ÷ 100 mm

Lunghezza utile L = 150 cm

Cestello di ritenuta alla base per il carotaggio dei tratti costituiti da materiali grossolani sciolti.

- Corone di perforazione in widia e diamante, del tipo adatto ai terreni incontrati.

Aste di perforazione con filettatura tronco-conica.

Diametro esterno \varnothing est = 60 ÷ 76 mm.

- ✓ Utensili di pulizia fondo del foro

Gli utensili per la pulizia del foro devono essere costituiti da:

- carotiere semplice, l = 40 ÷ 80 cm;
- attrezzo a fori radiali, da impiegarsi con circolazione di fluido uscente dall'utensile con inclinazione di 45° ÷ 90° rispetto alla verticale;
- campionatore a pareti grosse \varnothing 100 mm, con cestello di ritenuta alla base, per l'asportazione di eventuali ciottoli.

- ✓ Stabilizzazione del foro di sondaggio

Durante le fasi lavorative, per evitare franamenti delle pareti del foro, la perforazione deve essere eseguita impiegando una tubazione metallica di rivestimento provvisoria o utilizzando fango di tipo bentonitico o a polimeri.

- ✓ Rivestimenti provvisori

La necessità della posa di tubi di rivestimento provvisorio nel foro di sondaggio è da valutare in relazione alle reali caratteristiche del terreno: in particolare si adotteranno nei casi in cui sussista il rischio di franamenti delle pareti del foro stesso. Rappresenta il metodo più sicuro di stabilizzazione delle pareti. Vengono inoltre impiegati per fori nei quali si debbano eseguire prove sulle acque sotterranee.

Nel caso di utilizzo di rivestimenti associati alla perforazione ad aste, essi saranno in acciaio, con le seguenti caratteristiche:

- spessore tubo s=8 ÷ 10 mm
- diametro interno \varnothing interno=107 ÷ 162 mm
- lunghezza spezzoni l=150 ÷ 200 cm

L'impresa potrà proporre l'impiego di rivestimenti con diverse caratteristiche, in relazione al tipo di attrezzatura di perforazione prescelta, subordinandone l'uso all'approvazione della direzione dei lavori.

L'infissione dei rivestimenti avviene di norma a rotazione con fluido di circolazione.

✓ Stabilità al fondo del foro

La stabilità del fondo del foro sarà assicurata in ogni fase della lavorazione con particolare attenzione nei casi in cui il terreno necessiti di rivestimento provvisorio.

Il battente di fluido in colonna deve essere mantenuto prossimo alla bocca del foro, mediante rabbocchi progressivi, specialmente durante l'estrazione del carotiere e delle aste, oppure occorre mantenerlo sempre più alto possibile, anche facendo sporgere fino a 1.0 m dal piano di lavoro l'estremità superiore del rivestimento, da mantenersi pieno di fluido.

L'estrazione degli utensili o dei campionatori deve avvenire con velocità iniziale molto bassa (1÷ 2 cm/sec), eventualmente intervallata da pause di attesa, al fine di ristabilire la pressione idrostatica del fluido sul fondo del foro. Ciò riguarda le fasi di estrazione del carotiere e delle fustelle dei campionatori ad infissione conclusa.

Indesiderabili effetti di risucchio (effetto "pistone") possono anche verificarsi nel caso di brusco sollevamento della batteria di rivestimento, qualora occlusa all'estremità inferiore del terreno per insufficiente circolazione di fluido durante l'infissione.

✓ Pulizia del fondo del foro

La quota del fondo del foro sarà misurata con scandaglio a filo graduato prima di ogni manovra di campionamento indisturbato, di prova geotecnica SPT o prima dell'esecuzione di qualunque prova.

Apposite manovre di pulizia saranno eseguite quando la differenza tra quota raggiunta con la perforazione e quota misurata con scandaglio supererà le seguenti tolleranze:

- 7 cm, prima dell'uso di campionatori privi di pistone fisso o sganciabile meccanicamente e di prove SPT;

- 15 cm, prima dell'uso di campionatori con pistone fisso o sganciabile meccanicamente.

✓ Campionamento in foro e prove geotecniche

In tutti i casi nei quali non si verificano repentini collassi del foro nel tratto non rivestito, il prelievo di campioni in foro o l'esecuzione di prove geotecniche SPT deve seguire la manovra di perforazione con carotiere, precedendo il rivestimento a fondo del foro, il quale sarà, se necessario, eseguito a campionamento/prova SPT ultimati.

Cassette catalogatrici

I campioni di terreno prelevati nel corso dei sondaggi saranno custoditi in apposite cassette catalogatrici, munite di setti divisori e coperchio, predisposte a carico della Ditta esecutrice in cantiere prima dei lavori.

Sulla cassetta dovranno essere riportate tutte le informazioni sul sondaggio:

- identificativo sondaggio;
- data di esecuzione;
- profondità iniziale e finale della carota contenuta;
- altre annotazioni eventualmente ritenute rilevanti dalla Direzione Lavori o dallo stesso operatore.

Durante l'esecuzione delle indagini e fino alla conclusione delle indagini, il materiale prelevato verrà tenuto nelle cassette catalogatrici in un luogo asciutto e riparato a disposizione della Direzione dei Lavori.

PROVE IN SITU CONTESTUALI ALLE PERFORAZIONI DI SONDAGGIO

Standard Penetration Test (S.P.T.)

Sono previste prove di tipo dinamico, SPT, da eseguirsi nei fori di sondaggio. Il numero di tali prove potrà essere ridotto o incrementato in dipendenza delle condizioni stratigrafiche riscontrate durante le perforazioni su indicazioni della Direzione Lavori.

Queste prove consistono nell'infissione a percussione di una speciale punta conica o di un particolare campionatore a pareti grosse (Campionatore Raymond – split spoom), i quali consentono di valutare la resistenza meccanica del terreno alla penetrazione, in base al numero di colpi infissi da un apposito maglio per un dato avanzamento.

La normativa di riferimento per l'esecuzione di prove S.P.T. è la seguente:

- A.G.I. - Associazione Geotecnica Italiana (1977). Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche;
- ASTM D1586-67 (74); D1586-84. Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil";
- ISSMFE Techn. Committee (1988). Standard Penetration Test (SPT): International Reference Test procedure.

Attrezzatura:

Le dimensioni del campionatore, il peso delle aste e del maglio, l'altezza di caduta dello stesso, vengono indicati nella normativa sopra citata.

La caduta del maglio deve essere libera; pertanto deve essere adottato un dispositivo di sganciamento automatico che svincoli il maglio dal cavo, o altro dispositivo di sollevamento, all'altezza voluta.

Fra la testa di battuta in sommità delle aste ed il piano campagna deve essere installato almeno un centratore di guida ed irrigidimento delle aste stesse.

La differenza fra il diametro esterno delle aste e diametro interno della tubazione metallica provvisoria di rivestimento non deve superare di norma i 6 cm.

Qualora ciò avvenga devono essere predisposte, lungo la batteria delle aste ad intervalli di 3 m, opportune alette di irrigidimento, di dimensioni adeguate al diametro interno effettivo della tubazione di rivestimento provvisoria.

Tabella 3. Parametri per prove S.P.T.

COMPONENTE	CARATTERISTICHE
Tubo campionatore apribile longitudinalmente:	<p>Ø est= 50.8 mm; Ø int= 35 mm;</p> <p>Lu minima (escluso tagliente principale)>457 mm; L utile = 630 mm;</p> <p>Lu scarpa tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19 mm) = 76 mm;</p> <p>il campionatore sarà munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato</p>
Massa battente	peso pari a 63,4 kg che cade da 75 cm di altezza
Aste collegate al campionatore	<p>aventi peso per metro lineare 6.5 kg (±0.5 kg/ml).</p> <p>Le aste saranno diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova < 1°/°</p>

Metodologia di prova

La prova consiste nell'infiggere nel terreno alla base del sondaggio il campionatore, per 3 tratti consecutivi, ciascuno di 15 cm, rilevando il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione di ciascun tratto di 15 cm. Il valore di N_{spt} è dato dalla somma dei colpi ottenuti per il 2° e 3° tratto.

La prova viene sospesa quando il numero dei colpi N, per un tratto di 15 cm, supera 50. In tal caso si annota la penetrazione (in cm) ottenuta con 50 colpi: tale valore rappresenta il "Rifiuto".

Le fasi da seguire sono le seguenti:

- prima di eseguire la prova è necessario controllare con scandaglio la quota del fondo del foro, confrontandola con quella raggiunta con la manovra di perforazione o di pulizia precedentemente eseguita. Può risultare dal controllo che la quota misurata sia più alta per effetto di reflussi del fondo del foro o per decantazione di detriti in sospensione del fluido. Se tale differenza supera 7 cm la prova non può essere eseguita; si deve pertanto procedere ad un'ulteriore manovra di pulizia;

- calare a fondo del foro la batteria di prova. La quota di inizio della prova S.P.T. deve corrispondere a quella misurata mediante il controllo di cui sopra che, come detto, può coincidere con quella di perforazione o pulizia ma può anche essere (fino a 7 cm) superiore. L'eventuale affondamento del campionatore, per peso proprio e delle aste, deve essere annotato ma è già parte integrante dei 45 cm complessivi di infissione;
- procedere all'infissione contando ed annotando il numero dei colpi del maglio, fino ad un massimo di 50 colpi per ogni tratto di 15 cm. Il ritmo di percussione deve essere compreso tra i 10 ed i 30 colpi al minuto;
- ad estrazione avvenuta il campione prelevato viene misurato, descritto, trascurando l'eventuale parte alta costituita da detriti, sigillato in adatto contenitore ed inviato al laboratorio;
- in presenza di materiali molto compatti o ghiaie grossolane si adotterà la particolare punta conica.

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO (CPTU)

Generalità

La prova con piezocono viene eseguita con una attrezzatura per prove penetrometriche statiche nella quale la punta elettrica è strumentata per la misura in forma continua di quanto sotto elencato:

- resistenza alla penetrazione statica q_c della punta conica e resistenza per attrito laterale f_s ;
- pressione idrostatica del terreno, inclusa la sovrappressione indotta dall'avanzamento della punta;
- dissipazione nel tempo della sovrappressione idrostatica indotta nel terreno, a quote predeterminate.

Normative e raccomandazioni di riferimento:

- ASTM D3441-86 - "Deep, quasi-static, cone and friction cone penetration tests of soil".
- Associazione Geotecnica Italiana (1977) - "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

Attrezzatura

L'attrezzatura di spinta e le caratteristiche della punta devono essere le medesime previste per la prova penetrometrica eseguita con punta elettrica. La punta deve essere corredata dall'elemento poroso completo di trasduttore e deve essere del tipo WISSA, FUGRO, ISMES, TORSTENSSON o analoghe. L'Affidatario deve sostituire il filtro poroso con uno nuovo ad ogni estrazione della punta dal terreno. Il trasduttore di pressione deve essere "a bassa variazione di volume" e il suo fondo scala deve essere di norma 15 bar. Per prove profonde, oltre i 30 m, deve essere usato un trasduttore con fondo scala maggiore di 15 bar. Il fondo scala degli altri sensori (punta e attrito laterale) deve essere di norma rispettivamente 5 t e 750 kg, salvo diverse prescrizioni della Committenza.

La punta permetterà la misura di:

- resistenza alla punta q_c ;
- resistenza per attrito laterale f_s ;
- pressione interstiziale $u+u$.

Aste

Le aste di tipo cavo dovranno avere diametro esterno di 36 mm. Eventuali anelli allargatori devono essere posizionati ad almeno 100 cm dalla base del cono.

Dispositivo di misura

Oltre alle celle di carico estensimetriche della punta saranno previsti:

- centralina elettronica per la ricezione e la trasmissione dei dati;
- registratore grafico di qc, fs, u+u;
- registratore grafico o stampante numerica su carta per la registrazione della variazione della pressione interstiziale nel tempo nel corso delle prove di dissipazione; la scelta della sequenza temporale di misura, o la velocità di scorrimento della carta devono poter essere adattabili alle più disparate velocità di dissipazione;
- visore per la lettura istantanea dei valori delle grandezze misurate, in forma digitale;
- sincronizzatore velocità di avanzamento punta/registratore grafico.

Attrezzatura di disaerazione

Filtro poroso e cono dovranno essere perfettamente disaerati con l'uso di una delle sotto elencate metodologie:

- cella di disaerazione sottovuoto con acqua distillata; disaerazione per bollitura, con immersione di filtro e cono per un periodo di tempo di sufficiente durata, in funzione del tipo di filtro;
- contenitore sottovuoto con glicerina calda, con vibratore ad ultrasuoni per la disaerazione del filtro; il cono verrà disaerato tramite iniezione con siringa di glicerina.

Altre attrezzature, tipi di fluido e tecniche potranno essere proposti dall'Affidatario dandone preventiva comunicazione alla Committenza.

Tarature e controlli

Oltre ai sistematici controlli circa lo stato della punta e del manicotto (geometria, rugosità) e delle aste cave (rettilineità della batteria specie per quanto riguarda le 5 aste più vicine alla punta), dovranno essere eseguiti i seguenti controlli:

- le guarnizioni fra i diversi elementi di un piezocono dovranno essere ispezionate con regolarità per accettarne le perfette condizioni e l'assenza di particelle di terreno;
- il piezocono dovrà essere compensato rispetto alle variazioni di temperatura;
- la precisione di misura, tenendo conto di tutte le possibili fonti di errore (attriti parassiti, errori nel dispositivo di registrazione, eccentricità del carico sul cono e sul manicotto, differenze di temperatura ecc.) dovrà essere comunque inferiore ai seguenti limiti:
 - 5% del valore misurato;
 - 1% del valore del fondo scala.

Tale precisione dovrà essere verificata in laboratorio e verificabile in cantiere. Nel primo caso i dati di taratura relativi ad ogni piezocono dovranno essere sempre disponibili in cantiere.

Montaggio del piezocono

Terminata la disaerazione del filtro e del cono, questi saranno inseriti in un guanto di gomma pieno di acqua disaerata, operando rigorosamente in immersione; il guanto di gomma non sarà rimosso all'inizio della prova, in quanto sarà l'attrito con il terreno a provvedere alla sua rottura ed asportazione.

Preforo

L'intervallo di profondità compreso fra il piano di campagna e la superficie freatica dovrà essere perforato con puntazza od eventuale sonda a rotazione, inserendo se necessario un tubo in PVC (o simili) del diametro interno 50 mm.

Stabilizzazione termica

Prima di iniziare la prova, la punta dovrà essere inserita nel preforo, in acqua di falda, e lasciata ferma per 10 minuti primi per ottenere la stabilizzazione termica, ripetendo alla fine dei 10' gli azzeramenti dei dispositivi di misura e registrazione.

Al termine della prova dovranno essere misurate e registrate eventuali derive di zero dei dispositivi; tali annotazioni finali dovranno far parte integrante della documentazione provvisoria e definitiva della prova.

Modalità esecutive

Il penetrometro dovrà essere posizionato opportunamente in modo da garantire la verticalità dell'applicazione del carico.

L'elemento poroso del piezocono deve essere debitamente saturato prima di ogni prova, verificando inoltre che non vi siano bolle d'aria racchiuse nel condotto di adduzione al trasduttore e nella camera del trasduttore.

La punta deve essere quindi inserita nel contenitore pieno di acqua disaerata. Tale operazione deve essere ripetuta prima dell'inizio di ogni prova.

Successivamente la punta deve essere fatta avanzare nel terreno saturo fino alla profondità stabilita, registrando, insieme ai parametri misurati dalla punta elettrica, i valori della pressione interstiziale.

La prova si inizierà alla base del tratto preforato, inserendo nel terreno il piezocono protetto dal guanto di gomma. La prova sarà quindi eseguita fino alla profondità definita dal programma delle indagini, o interrotta per rifiuto in uno dei seguenti casi:

- raggiungimento del fondo scala di uno dei sensori relativi a resistenza qc, fs, o pressione interstiziale;
- raggiungimento della massima capacità di spinta del penetrometro;
- deviazione della punta della verticale di 10°, se repentina, o di 15° se progressiva.

Nel caso di rifiuto potrà essere richiesta la ripresa della prova dopo preforo a quota maggiore di 1 m rispetto a quella della interruzione della prova.

Alle quote indicate dal programma si eseguiranno le prove di dissipazione operando come di seguito:

- arresto della penetrazione della punta;
- scatto contemporaneo dei contasecondi e inizio della registrazione della variazione di pressione interstiziale;
- lettura al visore digitale dell'andamento della pressione interstiziale ai tempi 0,1 - 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 8 - 15 - 30 minuti primi; la lettura sarà registrata manualmente sul grafi-co.

La prova sarà considerata conclusa al 75% della dissipazione della sovrappressione indotta dalla punta.

A prova ultimata e ad avvenuta estrazione della punta l'Affidatario deve controllare se si sono verificate derive dello zero per effetto di sforzi eccentrici, urti, sovraccarichi, difetti elettrici, ecc.

L'eventuale nuovo valore di zero (e quindi l'eventuale deriva) deve essere indicato sui grafici e memorizzato nel caso di memoria magnetica, in modo da poterne tenere conto nella elaborazione dei dati.

Documentazione

La documentazione di cantiere da consegnare al termine di ciascuna verticale, deve comprendere:

- la planimetria in scala non inferiore a 1:5.000 recante l'ubicazione precisa di tutte le prove effettuate;
- il grafico della pressione interstiziale alle varie profondità;

- le tabelle con i dati numerici dei valori della pressione interstiziale in funzione del tempo durante le prove di dissipazione.

Nella documentazione definitiva i grafici o tabelle di cantiere devono essere elaborati in modo tale che:

- il grafico della pressione interstiziale rilevata durante la penetrazione alle varie profondità sia tracciato sul medesimo grafico in cui sono riportati i valori q_c , f_s e q_c/f_s in funzione della profondità;
- per ogni prova di dissipazione eseguita ad una certa profondità venga tracciato sia un grafico dell'andamento della pressione interstiziale in funzione del logaritmo del tempo che, riportate in tabelle, le letture fatte ai diversi tempi.

La documentazione relativa ai dati acquisiti ed alle elaborazioni eseguite deve inoltre essere consegnata in formato digitale compatibile con ambiente windows oltre che cartaceo.

La documentazione finale deve anche includere la geometria della punta con indicazione delle dimensioni e della posizione del filtro, delle sue caratteristiche (porosità e materiale), delle caratteristiche del trasduttore (fondo scala, tipo) e dell'area netta. Se vengono eseguiti prefiori devono inoltre essere precisate le caratteristiche degli stessi.

Qualora l'attrezzatura disponesse di registratore digitale dei valori misurati, ove richiesto dalla Committenza, la documentazione definitiva deve essere completata con il tabulato delle misure, alle varie profondità (ogni 2 cm), corrette per inclinazione, derive, ecc.

Il tabulato deve comprendere le seguenti colonne:

- q_t cioè la q_c corretta per l'influenza della pressione interstiziale per effetto dell'area netta;
- U cioè la U totale misurata diminuita della U_0 corrispondente al carico idrostatico;
- U/q_t rapporto fra la U e la q_t (q_c corretta);
- profondità.

CAMPIONAMENTO DEI TERRENI

Attività di campionamento: Campioni indisturbati e rimaneggiati

In contemporanea alla realizzazione dei sondaggi si dovrà procedere al prelievo di *campioni indisturbati*.

Campioni indisturbati

Per campioni indisturbati (o a disturbo limitato) s'intendono quelli prelevati con apparecchiature idonee (campionatori) a conferire il massimo grado di qualità, compatibilmente con la natura del terreno.

In base alla classificazione proposta dalle Raccomandazioni AGI ("Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" elaborate dalla Commissione AGI per la Normativa Geotecnica), hanno un grado di qualità pari a Q.4 – Q.5 per terreni coesivi e Q.2 – Q.3 per terreni incoerenti e per le classificazioni delle terre.

I campionatori da utilizzare impiegano la fustella a pareti sottili in acciaio inox, nel rispetto dei seguenti parametri dimensionali:

- rapporto $L/D = 8$
- rapporto delle aree o coefficiente di parete:

$$c_p = \frac{D_{est}^2 - D_i^2}{D_i^2} \cdot 100 = 9 \div 13$$

- coefficiente di spoglia interna:

$$c_i = \frac{D_i - D}{D} \cdot 100 = 0,0 \div 1,0 \quad \text{secondo necessità}$$

- diametro utile ≥ 85 mm

dove:

- L = lunghezza utile della fustella
- D_i = diametro interno della fustella
- D_{est} = diametro esterno della fustella
- D = diametro all'imboccatura della fustella.

La fustella deve essere preferibilmente in acciaio inossidabile e comunque priva di corrosione, liscia, priva di cordoli, non ovalizzata. Il prelievo dei campioni può essere eseguito, a seconda della compattezza e coesione del terreno, con l'uso dei seguenti strumenti: campionatori tradizionali quali Shelby, Denison e Mazier.

Altri tipi di campionatore possono essere presentati dall'impresa stessa, per essere sottoposti a preventivo esame da parte della direzione dei lavori.

Ogni campionamento dovrà essere preceduto dalle seguenti operazioni:

- adeguata stabilizzazione del foro mediante rivestimento provvisorio;
- controllo della profondità dopo l'introduzione del campionatore;
- ulteriore manovra di pulizia con metodi adeguati (da definirsi in ogni caso specifico), qualora si accertasse la presenza di detriti sul fondo foro per un'altezza incompatibile con la lunghezza del campionatore.

Ultimata l'infissione, il campionatore sarà estratto usando gli accorgimenti necessari per staccare il campione dal terreno sottostante e per ridurre il disturbo dovuto alla decompressione e al risucchio.

Dopo la pulizia delle estremità del campione nella fustella, le medesime dovranno essere sigillate con paraffina fusa e ove il campione risultasse notevolmente più corto rispetto alla fustella, sopra la paraffina si dovrà porre della sabbia umida fino alla sommità della fustella.

Le estremità dei campioni indisturbati dovranno essere chiuse con tappi e protette con nastro adesivo. Il campione dovrà essere riposto in luogo riparato dal gelo e dal sole in attesa di essere inviato al laboratorio geotecnico, invio che dovrà svolgersi comunque nel più breve tempo possibile.

Sul campionatore saranno apposti i dati di riferimento del campione quali:

- profondità di prelievo, riferito alla base del campione;
- lunghezza del campione;
- identificativo del punto di prelievo;
- identificativo univoco per il campione;
- data del prelievo.

CAMPIONAMENTO MEDIANTE VIBROCORER

Le attività di perforazione e campionamento dovranno essere eseguite con carotiere di tipo vibrocorer, nel pieno rispetto delle norme di sicurezza, conformemente a quanto previsto dai protocolli, linee guida e Piani della caratterizzazione. Il campionamento, effettuato da personale e mezzi specializzati, dovrà essere effettuato con l'ausilio di un natante (imbarcazione, pontone, ecc...) adeguato al raggiungimento delle stazioni di campionamento previste, equipaggiato con attrezzatura idonea per il rilevamento della profondità di prelievo, e dovrà utilizzare per la georeferenziazione dei punti di campionamento un sistema di localizzazione satellitare con metodologia differenziale D.G.P.S. (Differential Global Positioning System).

Tutte le operazioni non dovranno in alcun modo compromettere la flora terrestre ed acquatica delle zone interessate, o causare significative alterazioni delle caratteristiche delle acque. L'appaltatore dovrà pertanto garantire l'adeguata pulizia delle attrezzature a fine di ciascuna operazione di campionamento, in modo da evitare la dispersione nell'ambiente di sedimenti contaminati.

Le carote estratte dovranno avere un diametro non inferiore a 10 centimetri e tale da poter eseguire tutte le analisi previste per ciascun punto di campionamento. Il carotiere scelto, dovrà consentire, per quanto possibile, il recupero totale del campione e il prelievo di sedimento indisturbato: la strumentazione adottata dovrà prevedere una lunghezza di prelievo opportunamente incrementata rispetto a quella dei carotaggi programmati, al fine di consentire il recupero completo delle sezioni previste. Il recupero delle carote non dovrà comunque essere inferiore al 90 %.

Per ogni stazione di campionamento dovrà essere compilata una scheda riportante i dati inerenti il punto di campionamento (numero stazione, data, ora, coordinate, strumentazione utilizzata, ecc.), il nome dell'operatore e dell'imbarcazione, condizioni meteo e condizioni del mare.

Le carote dovranno essere fotografate ed ispezionate visivamente da un tecnico specializzato (geologo) che dovrà inoltre redigere le stratigrafie dei sondaggi su apposita scheda.

PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Note generali

I campioni, verificati e validati dalla D.L., saranno consegnati a cura e spese dell'impresa affidataria, ai Laboratori di Analisi individuati dalla stazione appaltante.

I laboratori consegneranno alla Stazione appaltante gli elaborati delle prove, in formato sia cartaceo che digitale in tempi tecnici compatibili con il tipo di prove da effettuare. Tale elaborato, a firma di un tecnico abilitato, dovrà comprendere grafici e dati rilevati in funzione della natura delle analisi richieste.

Le prove dovranno essere effettuate facendo riferimento alle normative nazionali ed internazionali maggiormente accreditate (A.G.I., C.N.R., UNI-CEI-EN 45001, A.S.T.M., A.A.S.H.T.O., B.S.).

Il laboratorio di prova dovrà essere competente per l'esecuzione delle prove richieste; il personale tecnico sarà in numero sufficiente, avrà adeguata formazione ed aggiornamento documentabili e farà capo ad un Responsabile di laboratorio. Le prove dovranno eseguirsi in laboratori certificati ai sensi della Circolare n. 7618/STC del 08.09.2010.

Apertura e descrizione geotecnica di campioni indisturbati

L'estrusione dalle fustelle o cassette di alloggiamento dovrà avvenire in modo da minimizzare il disturbo arrecato al campione tramite l'utilizzo di un estrusore idraulico.

L'estrusione del campione dovrà avvenire con lentezza e continuità, evitando l'applicazione di sforzi eccessivi o l'esecuzione di brusche manovre.

Dopo l'estrusione il campione sarà sottoposto a scorticatura e ripulitura delle estremità e si procederà alla descrizione geotecnica visivo-manuale del materiale, indicando natura, colore, strutture, inclusioni, frammenti di conchiglie, resti organici, eventuale odore ed ogni altro elemento ritenuto significativo. La descrizione geotecnica visivo-manuale dovrà essere condotta in accordo allo standard ASTM D2488-93 (Standard Practice for Description and Identification of Soils - Visual-Manual Procedure). Si effettuerà quindi una ripresa fotografica a colori del campione, avendo cura che l'immagine risulti nitida e chiaramente leggibile; la foto comprenderà anche una scala colorimetrica e una scala metrica di riferimento e riporterà la completa identificazione del campione e del suo alto.

Successivamente si procederà, ove possibile, all'esecuzione di prove speditive con penetrometro e scissometro tascabile ad intervalli regolari, per la determinazione dello stato di consistenza del materiale campionato. Da ultimo si procederà alla selezione delle porzioni del campione da sottoporre a prova, avendo particolare cura di escludere, dal confezionamento dei provini da sottoporre a prova, le porzioni disturbate per rammollimento o deformazione eccessiva, e di scegliere porzioni omogenee del campione per l'esecuzione di prove che richiedano la preparazione di una serie di provini. Nella scelta delle porzioni di campione da sottoporre a prova assume particolare rilevanza la valutazione dello stato di qualità del campione che dovrà in ogni caso essere indicata. Al termine dell'esame sarà redatto un apposito modulo contenente tutte le osservazioni e le misure condotte, l'indicazione delle prove da eseguire e dei relativi provini, le indicazioni sullo stato di qualità del campione e della fustella, le dimensioni della fustella e del campione estruso. Il modulo sarà corredato dalla documentazione fotografica del campione.

Determinazione delle caratteristiche fisiche

Determinazione del contenuto naturale d'acqua

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua di terreni, rocce e materiali similari.

Normative e specifiche di riferimento: ASTM D 2216 - 92 - Standard Test Method for Laboratory

Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock

Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale)

La prova consiste nella determinazione della massa volumica apparente di un terreno, ottenuto come rapporto tra la massa di un provino ed il suo volume.

Normative e specifiche di riferimento:

BS 1377 (1990) - Methods of test for soils for civil engineering purposes - Part 2: Classification tests.

Determinazione dei limiti di consistenza

La prova consiste nella determinazione del contenuto d'acqua per il quale avviene il passaggio dallo stato semiliquido allo stato plastico (limite di liquidità) e dallo stato plastico allo stato semisolido (limite di plasticità).

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 4318 - 84 - Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils

Determinazione del limite di ritiro

La prova consiste nella determinazione del quantitativo d'acqua necessario per saturare un campione di terreno coesivo precedentemente essiccato in forno.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 427 - 93 - Test Method for Shrinkage Factors of Soils by the Mercury Method

Tenuto conto della tossicità del mercurio utilizzato nel metodo è consentito l'uso dello standard alternativo ASTM D 4943 - 95.

Analisi granulometrica per vagliatura e sedimentazione

La prova per vagliatura consiste nella determinazione della distribuzione granulometrica di un campione di terreno trattenuto al setaccio ASTM n° 200.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils;

ASTM D 421 - 85 (93) - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants

La prova per sedimentazione consiste nella determinazione della distribuzione granulometrica della frazione passante al setaccio ASTM n° 200 di un terreno.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 422 - 63 (90) - Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils;

ASTM D 421 - 85 (93) - Standard Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soils Constants.

Prova di compressione edometrica (IL)

La prova edometrica consiste nella determinazione dell'entità e della velocità della consolidazione di terreni coesivi soggetti ad incrementi tensionali. Nel corso della prova edometrica, oltre ai parametri normalmente calcolati, è possibile eseguire determinazioni dirette di permeabilità. Normative e specifiche di riferimento ASTM D 2435 - 90 - Standard Test Method for One-Dimensional Consolidation Properties of Soils A.G.I. (1994) - Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio – Prove edometriche.

Prova di taglio diretto consolidata - drenata (CD)

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate di campioni di terreno sottoposti a sollecitazioni di taglio.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 3080 - 90 - Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions.

Prova di compressione triassiale consolidata isotropicamente - non drenata (CIU)

La prova consiste nella determinazione dei parametri di resistenza in termini di tensioni totali ed efficaci di un campione di terreno sottoposto a condizioni di sollecitazione triassiale; la prova può inoltre essere utilizzata per la determinazione dei parametri di deformabilità non drenati.

Normative e specifiche di riferimento:

ASTM D 4767 - 88 - Standard Test Method for Consolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils.

10 ALLEGATO 1 – PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI PREGRESSE



FILO BANCHINA IN PREVISIONE

— tr

TRACCIA SEZIONE

— A-A'

— B-B'-B''-B'''

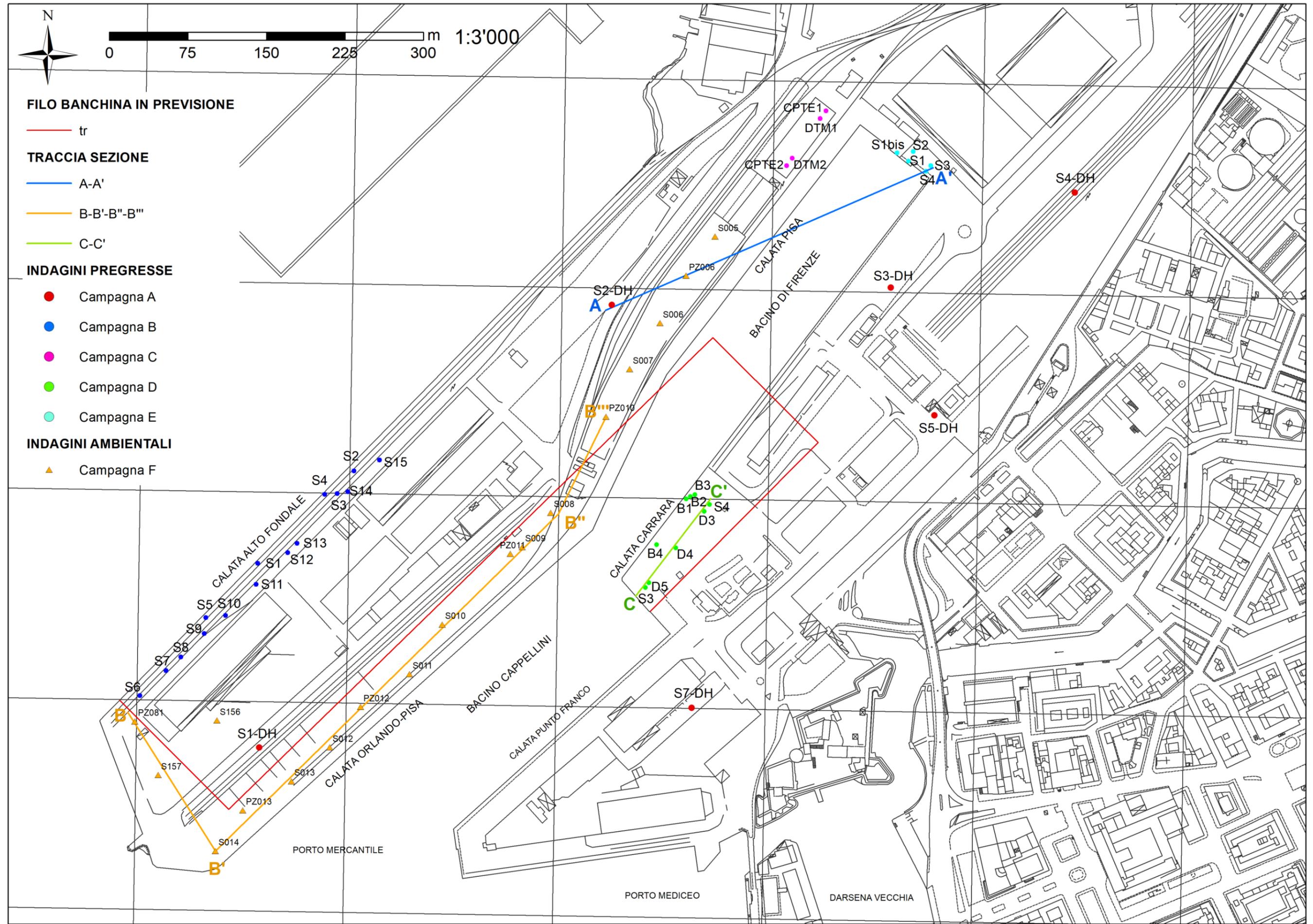
— C-C'

INDAGINI PREGRESSE

- Campagna A
- Campagna B
- Campagna C
- Campagna D
- Campagna E

INDAGINI AMBIENTALI

- ▲ Campagna F

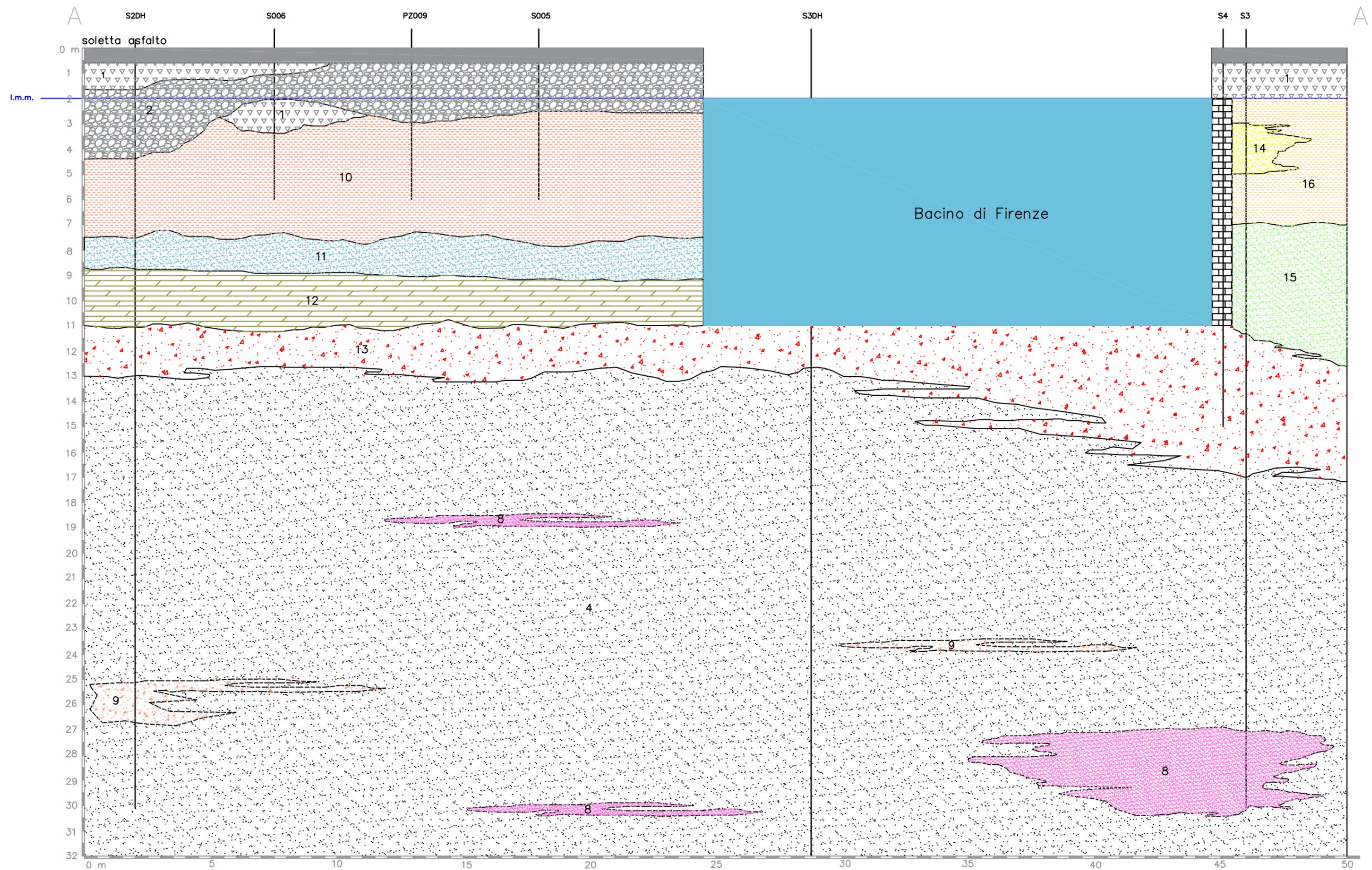


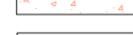
11 ALLEGATO 2 – QUADRO SINOTTICO PARAMETRI INDAGINI PREGRESSE

		Livello 0	Livello A	Livello B	Livello C	Livello D	Livello E	Livello F
Campagna geognostica A	Profondità m dal pc	1.5/2.0	-1.5/2.0 a -5.0/6.0	-5.0/6.0 a -9.0/10.0	-9.0/10.0 a -32.0			
	Descrizione	conglomerato bituminoso, massetto stradale e terreno sottostante di misto maceria e laterizio variamente assortito prevalentemente arido	livello di sabbia da fine a grossolana in matrice generalmente limosa, in eteropia a zone con materiale organico ed altre aree con prevalenza di frammenti e strati centimetrici di calcarenite sabbiosa (Panchina)	sabbia in matrice limo-argillosa con ciottoli centimetrici e sabbie alla base	sabbia limosa da compatta a moderatamente compatta			
	γ (t/m ³)	-	1.7/1.8	1.8/1.9	1.8/1.85			
	Φ°	-	25°/30°	35°/40°	27°/33°			
	C (kg/cm ²)	-	0.05/0.1	0.05/0.01	0.05/0.1			
Campagna geognostica B	Profondità m da pc	0 a -15/22	-15.22 a -22.00	-22.00 a -25.00				
	Descrizione	Cassoni in calcestruzzo armato	Alternanza di livelli di limo e limo da argilloso a sabbioso, sabbia fine o finissima	Strati di sabbia, ghiaia e ghiaietto talora con una matrice limosa				
	γ saturo (t/m ³)	-	1.9/2.0	2.0				
	Φ°	-	28°/32°	32°/36°				
	C (kg/cm ²)	-	-	0				
Cu (t/m ²)	-	12/19	-					
Campagna geognostica C	Profondità m da pc	0 a -2.0	-2.0 a -5.0	-5.0 a -8.0	-8.0 a -14.0	-14.0 a -18.0		
	Descrizione	Materiale di riporto ad elementi litoidi eterometrici (substrato del piazzale attuale)	Limi argillosi, scarsamente consistenti. Abbondante materiale vegetale.	Argille limose poco consistenti con sottili intercalazioni sabbiose	Limi sabbiosi consistenti passanti a sabbie e sabbie limose	Alternanza di sabbie e ghiaie in matrice sabbiosa, bene addensate		
	γ (t/m ³)	-	17	18	19	19.5		
	Φ°	-	-	-	-	35°		
	Cu (kg/cm ²)	-	20-30	30-40	80	-		
Campagna geognostica D	Profondità m da pc	-0.5 a -2.0	-2.0 a -6.0	-6.0 a -9.0	-9.0 a -16.5	-16.5 a -34.0		
	Descrizione	Manto stradale misto stabilizzato, soletta di calcestruzzo	Argilla limosa	Materiale di riporto (sabbie/ghiaie mediamente addensate)	Sabbia debolmente limosa a limosa	Sabbie debolmente limose passanti a sabbie con limo		
	γ saturo (t/m ³)	2.1	1.7	2	2	2		
	Φ°	40°	28°	34°	37.5°	35°		
	C (kg/cm ²)	0	0	0	0	0		
Campagna geognostica E	Profondità m da pc	0 a -3.0	-3.0 a -5.0	-5.0 a -7.0	-7.0 a -12.0	-12.0 a -27.0	-12.0 a -28.0	-27.0 a -32.0
	Descrizione	Terreno di riporto	Sabbia limosa	Argilla con limo	Sabbia limosa	Argilla limosa grigia	Sabbia limosa grigia	Limo Sabbioso grigio
	γ (t/m ³)	-	-	-	18	19.13	19.03	19.29
	Φ°	-	-	-	21°	31°	34°	35°
	C (kg/cm ²)	-	-	-	13	12.5	0	0

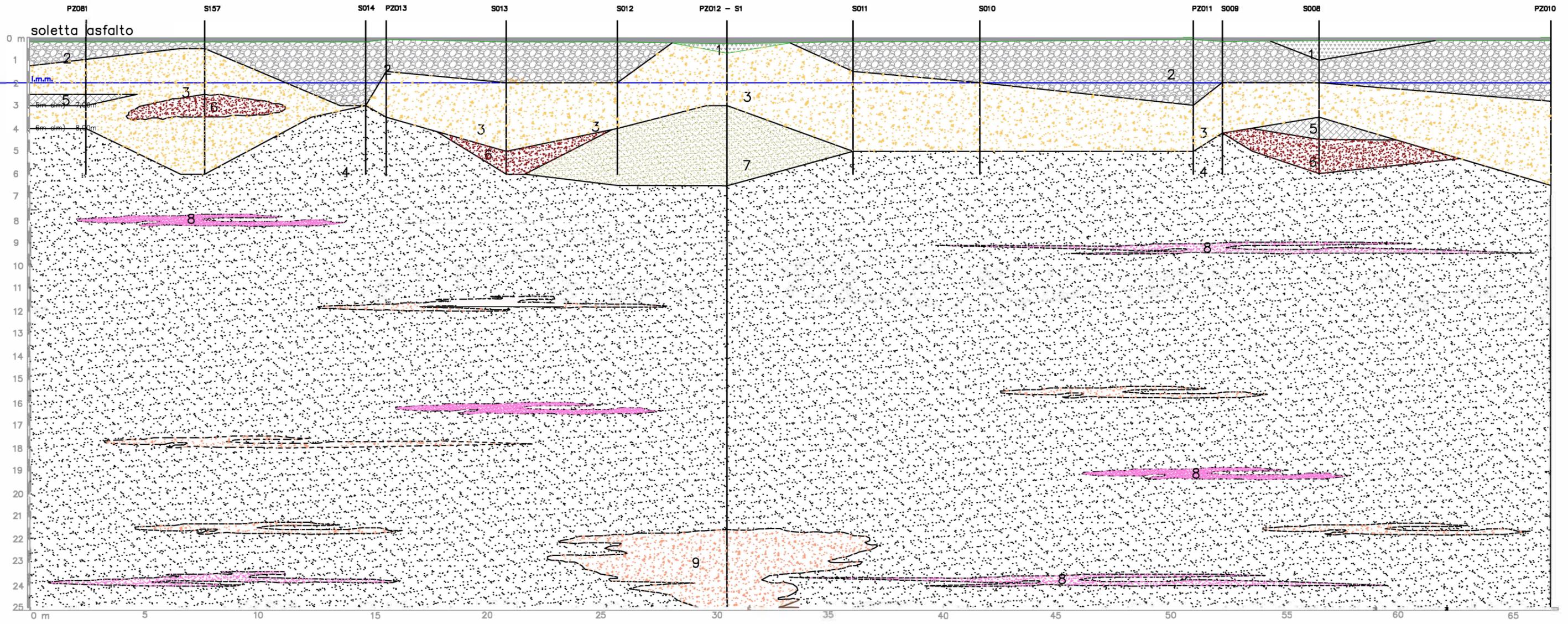
Campagna A: "Relazione di accompagnamento alla campagna geognostica e sismica del piano particolareggiato porto città, comune di Livorno", effettuata dallo Studio Geologico Antonio Rafanelli nell'aprile 2014/ **Campagna B:** "Calata Alto Fondale (o nuova banchina di alto fondale) Porto di Livorno indagine geologico-tecnica per una prima verifica del cassone di banchina, del terreno di fondazione e del piazzale contiguo alla banchina" effettuata dallo Studio di Geologia Michelucci Dr. Libero, commissionata da Autorità Portuale di Livorno, febbraio 2001, (GEO_038)./ **Campagna C:** "Progetto per la realizzazione di un capannone ubicato all'interno dell'area del Porto di Livorno" commissionata da Figli di Nado Neri Spa ed eseguita da GETAM Srl, luglio 1998, (GEO_047)./ **Campagna D:** "Lavori di riqualificazione strutturale di Calata Carrara, Relazione geotecnica", effettuata dall'Ing. Alberto Noli nel 1997, (GEO_022)./ **Campagna E:** "Opere di riprofilamento e consolidamento della banchina a radice dell'accosto 55 (Calata Carrara) - Porto di Livorno", Autorità Portuale di Livorno, dicembre 2009.

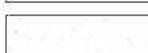
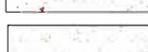
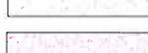
12 ALLEGATO 3 – SEZIONI GEOLOGICHE



-  tipo 1: terreno di riporto con presenza di materiale inerte eterogeneo
-  tipo 2: ghiaia di riporto in matrice sabbiosa, con possibili inclusioni di pietrame calcareo
-  tipo 4: sabbie argillose color grigio con intercalazioni argillose o ghiaiose
-  tipo 8: intercalazioni di livelli limo-argillosi
-  tipo 9: intercalazioni di livelli sabbioso-ghiaiosi
-  tipo 10: alternanze di sabbie argillose e argille sabbiose (materiale di riporto correlabile con tipo 3)

-  tipo 11: alternanze di argille limose e sabbia ghiaiosa
-  tipo 12: argilla molto consistente
-  tipo 13: sabbia limosa con ghiaia
-  tipo 14: argilla con limo
-  tipo 15: argilla limosa
-  tipo 16: sabbia con limo



-  tipo 1: terreno di riporto con presenza di materiale inerte eterogeneo
-  tipo 2: ghiaia di riporto in matrice sabbiosa, con possibili inclusioni di pietrame calcareo
-  tipo 3: sabbie grossolane marroni umide con possibile presenza di ghiaia e laterizzi
-  tipo 4: sabbie argillose color grigio con intercalazioni argillose o ghiaiose
-  tipo 5: rocce sedimentarie calcaree di varie dimensioni e sedimenti limosi
-  tipo 6: sedimenti misti a materiale ligneo o ciottoli
-  tipo 7: sabbie limose grigio-verdi sature
-  tipo 8: intercalazioni di livelli limo-argillosi
-  tipo 9: intercalazioni di livelli sabbioso-ghiaiosi

C

C1



-  tipo 1: terreno di riporto con presenza di materiale inerte eterogeneo
-  tipo 2: ghiaia di riporto in matrice sabbiosa, con possibili inclusioni di pietrame calcareo
-  tipo 3: sabbie grossolane marroni umide e limi sabbiosi
-  tipo 4: sabbie argillose color grigio con intercalazioni argillose o ghiaiose
-  tipo 4a: sabbie grossolane marroni con calcarenite
-  tipo 7: sabbie limose grigio-verdi saturate con ciottoli arrotondati - Riporto
-  tipo 7a: argilla grigia con materiale organico e ciottoli - Riporto