



Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Settentrionale  
Scali Rosciano, 6 - 57123 Livorno, Italia

R.U.P. ing. Enrico Pribaz  
D.E.C. ing. Ilaria Lotti

R.T.P.



30035 Mirano (VE)  
Viale Belvedere, 8/10  
www.fm-ingegneria.com

Tel. +39 041 5785 711  
Fax +39 041 4355 933  
portolivorno@fm-ingegneria.com



P.O. Box 1132  
3800 BC Amersfoort  
The Netherlands  
www.royalhaskoningdhv.com

Tel. +44 (0)207 222 2115  
Fax +44 (0)207 222 2659  
info@rhdhv.com



35027 Noventa Padovana (PD)  
Via Panà 56/a

Tel. +39 049 8945 087  
Fax +39 049 8707 868  
mail@hsmarinesrl.com



31027 Spresiano (TV)  
Via Tiepolo, 8  
www.gtgeo.it

Tel. +39 0422 8870 31  
Fax +39 0422 8895 89  
info@gtgeo.it

PROGETTO

**PROGETTAZIONE PRELIMINARE E DEFINITIVA DELLE  
OPERE MARITTIME DI DIFESA E DEI DRAGAGGI PREVISTI  
NELLA NUOVA PRIMA FASE DI ATTUAZIONE DELLA  
PIATTAFORMA EUROPA, COMPRESO LO STUDIO DI  
IMPATTO AMBIENTALE E LA VALUTAZIONE DI INCIDENZA  
AMBIENTALE**

EMISSIONE

**PROGETTO DEFINITIVO**

TITOLO

**B - GEOLOGIA E GEOTECNICA**  
Relazione geologica

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1	31/05/2021	1233_PD-B-001_1.doc	Riscontro Rapporto di Ispezione no. IT20056AR-OPP del 19/03/2021	L. Dal Colle	T. Tassi
2	30/07/2021	1233_PD-B-001_2.doc	Riscontro Rapporto di Ispezione no. IT20056AR-PDS del 22/06/2021	L. Dal Colle	T. Tassi
3	31/10/2022	1233_PD-B-001_3.doc	Aggiornamento a seguito della caratterizzazione ambientale	L. Dal Colle	T. Tassi
4					
5					

ELABORATO N.

**B001**

DATA: 04/09/2020	SCALA:	FILE: - 1233_PD-B-001_0.doc	J.N. 1233/19
PROGETTO L. Dal Colle	DISEGNO L. Dal Colle	VERIFICA C. Galli	APPROVAZIONE T. Tassi

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## Indice generale

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>ANALISI DEI PRINCIPALI STRUMENTI URBANISTICI VIGENTI</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>SINTESI DELLE OPERE PREVISTE DAL PROGETTO DEFINITIVO</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE</b>	<b>12</b>
5.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	12
5.2	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	15
5.2.1	MORFOLOGIA DEL FONDALE	16
5.3	INQUADRAMENTO TETTONICO	17
5.4	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	18
5.5	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	19
5.6	CONTESTO IDROGRAFICO DELL'AREA PORTUALE	19
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA</b>	<b>20</b>
6.1	PERICOLOSITA' SISMICA	20
6.2	CATEGORIA TOPOGRAFICA	22
6.3	DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA LOCALE	22
<b>7</b>	<b>INDAGINI IN SITO (ANNO 2019)</b>	<b>25</b>
7.1	SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO	25
7.2	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE ELETTRICHE CON PIEZOCONO	27
7.3	PROVE DILATOMETRICHE	29
7.4	MISURE DI Vs	30
<b>8</b>	<b>MODELLO GEOLOGICO</b>	<b>31</b>
8.1	INQUADRAMENTO LITOSTRATIGRAFICO DELL'AREA DEL "TERRAZZO DI LIVORNO"	31
8.2	MODELLO GEOLOGICO DEL TERRENO	36
8.3	INDIVIDUAZIONE DEL TETTO DEL SUBSTRATO GEOLOGICO NATURALE COSTITUTIVO DELL'AREA	45
8.3.1	PROFONDITÀ TETTO DEL SUBSTRATO GEOLOGICO NATURALE COSTITUTIVO DELL'AREA	46
8.4	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEI TERRENI	52
8.5	COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA DEI SEDIMENTI	54
8.6	RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE A MARE	56
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI IN MERITO ALLA PERICOLOSITA'GEOLOGICA DEL SITO</b>	<b>60</b>

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## Indice delle figure

Figura 1: Scala 1 : 25.000 - Inquadramento topografico dell'area di indagine da cartografia IGM .....	5
Figura 2: Inquadramento dell'area di indagine all'interno dell'area urbana di Livorno .....	6
Figura 3 - Estratto da cartografia CTR con indicazione del sedime delle WBS e delle aree di dragaggio secondo del layout Progetto Definitivo del 2022 .....	7
Figura 4: Tavola 1 del Piano Strutturale del Comune di Livorno "Sistemi Territoriali e Funzionali invariati luoghi con statuto speciale, luoghi centrali", in viola le aree destinate a "Sistema infrastruttura porto e delle attività" .....	8
Figura 5: Layout della Nuova Piattaforma Europa, con identificazione delle opere costitutive principali .....	11
Figura 6: Estratto dalla Carta Geologica dei Comuni di Livorno e Collesalveti (Lazzarotto, Mazzanti, Nencini, 1987) .....	13
Figura 7: estratto dalla Carta geologica della Toscana alla scala 1 : 250.000 .....	14
Figura 8: Schema stratigrafico dei dintorni di Livorno .....	15
Figura 9: Estratto dalla Carta geomorfologica redatta per la Vasca di colmata dei sedimenti di dragaggio – Dott. Geol. Antonio Rafanelli .....	16
Figura 10: Schema strutturale dei bacini neogenici e dei principali lineamenti anti appenninici nell'area toscana (da Martini e Sagri 1993, modificato) .....	17
Figura 11 : Mappa dell'accelerazione fondamentale al suolo, da sito INGV .....	20
Figura 12: Ubicazione dei 15 sondaggi considerati nello studio di Dall'Antonia et al. ....	31
Figura 13: Correlazioni stratigrafiche dei 15 sondaggi considerati nello studio di Dall'Antonia et al. ....	33
Figura 14: Ubicazione dei n.9 sondaggi - Studio CNR del 2018 .....	34
Figura 15: Correlazioni stratigrafiche di alcuni sondaggi considerati nello studio del CNR del 2018 .....	35
Figura 16: Sondaggio ID10-S08; esempio di facies con elementi di ghiaia e resti di posidonia .....	37
Figura 17: Sondaggio ID02-S02; esempio di facies con resti di fanerogame di posidonia oceanica .....	37
Figura 18: Sondaggio ID26-S17; calcarenite semi-litoide e contatto con l'Orizzonte superiore al tetto .....	38
Figura 19: Sondaggio ID10-S08; sabbia fine con clasti calcarenitici (color nocciola/ocra/avana) .....	39
Figura 20: Sondaggio ID14-S10; sabbie e limi color grigio piombo .....	40
Figura 21: Sondaggio ID09-S07; alternanze di ghiaia medio-grossa e sabbia medio-fine limosa, color avana .....	40
Figura 22: Sondaggio ID56-S06; argilla limosa con intercalazioni di sabbia fine, grigia .....	41
Figura 23: Sondaggio ID01-S01; argilla sabbiosa fine, grigia .....	41
Figura 24 Schema planimetrico con traccia delle sezioni geologiche .....	43
Figura 25: Indicazione degli orizzonti geologici di cui al modello geologico nelle sezioni stratigrafiche – Elaborato 1233_PD-B-102_0 .....	44
Figura 26: Estratti dalla Sezione geologica A, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa) .....	47
Figura 27: Estratti dalla Sezione geologica B, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa) .....	48
Figura 28: Estratto dalla Sezione geologica C, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa) .....	49
Figura 29: Estratto dalla Sezione geologica D, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa) .....	49
Figura 30: Estratto dalla Sezione geologica E, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa) .....	50
Figura 31: profondità della base del 1^ layer dal fondo (da rilievo SBP) .....	57
Figura 32: profondità della base del 2^ layer dal fondo (da rilievo SBP) .....	58
Figura 33: indagine batimetrica, isobate del fondale marino da l.m.m. ....	59

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## 1 Premessa

La società G&T S.r.l., mandante dell'ATI con FM Ingegneria S.p.A., Haskoning DHV Nederland B.V. e HS Marine s.r.l., ha redatto una relazione geologica ai sensi delle NTC 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" – Decreto 17/01/2018, finalizzata allo studio dei terreni del sottosuolo nell'area coinvolta dal progetto definitivo di realizzazione della nuova "Piattaforma Europa", presso il Porto di Livorno.

La Piattaforma Europa è l'opera di espansione a mare del porto di Livorno per la cui progettazione sono previste attività di dragaggio e di realizzazione delle dighe foranee.

Ai sensi sia delle norme tecniche nazionali vigenti (NTC2018), sia della d.p.g.r. 36/R/09 (art.7, comm. 4, con riferimento alle classi di indagine n.4), l'indagine geognostica e geofisica, finalizzata alla ricostruzione del modello geologico e geotecnico del terreno e alla definizione dell'azione sismica locale in sito, è consistita nell'esecuzione delle seguenti indagini da piattaforma eseguite nel 2019:

- **n.30 sondaggi a carotaggio continuo con finalità geognostica**, con esecuzione di prove SPT in foro, prove pressiometriche, prove di permeabilità in foro Lefranc, prelievo di campioni indisturbati e prelievo di campioni rimaneggiati finalizzati a prove geotecniche di laboratorio;
- **n.10 sondaggi a carotaggio continuo con finalità ambientale** con prelievo di campioni di sedimento da avviare ad analisi chimica finalizzata alla caratterizzazione ambientale dei sedimenti;
- **n.45 sondaggi a carotaggio continuo mediante vibrocorer** con prelievo di campioni geotecnici e ambientali;
- **n.29 prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono CPTU** con prove di dissipazione in foro;
- **n.9 prove dilatometriche (DMT)** con dilatometro Marchetti;
- **n.10 verticali di misurazione sismica della Vs**, con modulo sismico Marchetti;
- Indagini batimetriche con strumentazione multibeam;
- Indagini morfologiche con side scan sonar;
- Indagini geofisiche sub bottom profiler;

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo, all'interno del foro di sondaggio, sono state eseguite le seguenti prove in foro e il prelievo dei seguenti campioni indisturbati/rimaneggiati:

- **n. 17 prove di permeabilità Lefranc** a carico variabile;
- **n.23 prove pressiometriche tipo Menard (MPM)**
- **prelievo di n. 114 campioni indisturbati** per prove geotecniche di laboratorio;
- **prelievo di n. 49 campioni rimaneggiati** per analisi granulometriche per vagliatura per via umida e sedimentazione;
- **prelievo di n. 84 campioni ambientali** per analisi chimiche e granulometriche per vagliatura per via umida e sedimentazione;
- **n. 212 prove di Standard penetration test SPT** in foro;
- **164 analisi granulometriche** per vagliatura per via umida e sedimentazione;

Le indagini geognostiche in sito sono state appaltate al Raggruppamento Temporaneo di Imprese composta da Geotec S.p.A., Sondedile s.r.l., Geoter s.r.l., Get s.r.l., con sede in Campobasso. Si rimanda al Documento Report Sondaggi e Prove - RTI Esecutore del Maggio 2020 per quanto riguarda i dettagli dell'indagine e il report dei risultati.

Alla luce di queste premesse, il presente studio geologico si pone i seguenti obiettivi :

- inquadramento geografico e analisi dei principali strumenti urbanistici vigenti
- sintesi delle opere in progetto
- inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico dell'area
- definizione dell'azione sismica locale – inquadramento sismico dell'area
- descrizione delle indagini in sito
- definizione del modello geologico del terreno
- caratteristiche idrogeologiche dei terreni
- composizione granulometrica dei sedimenti

Si precisa che una prima disamina dei punti di cui sopra è descritta nella relazione geologica allegata al progetto preliminare; gli stessi punti vengono, nel presente documento, nuovamente analizzati e integrati alla luce delle indagini geognostiche del 2019, allo scopo di implementare il modello geologico del sottosuolo ai fini della progettazione definitiva.

Si precisa pertanto che i dati di input del presente elaborato corrispondono alle indagini geognostiche eseguite nel 2019, e che pertanto i contenuti sono gli stessi della relazione geologica presentata con il Progetto Definitivo Semplificato del 2021.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

## 2 Inquadramento geografico

L'area di indagine è situata nella porzione settentrionale del Porto di Livorno, e si estende verso Ovest per circa 2 Km.

Nelle figure sottostanti è riportato l'inquadramento topografico dell'area su cartografia I.G.M. (Figura 1 su foto satellitare (Figura 2) e su cartografia tecnica regionale CTR (Figura 3).

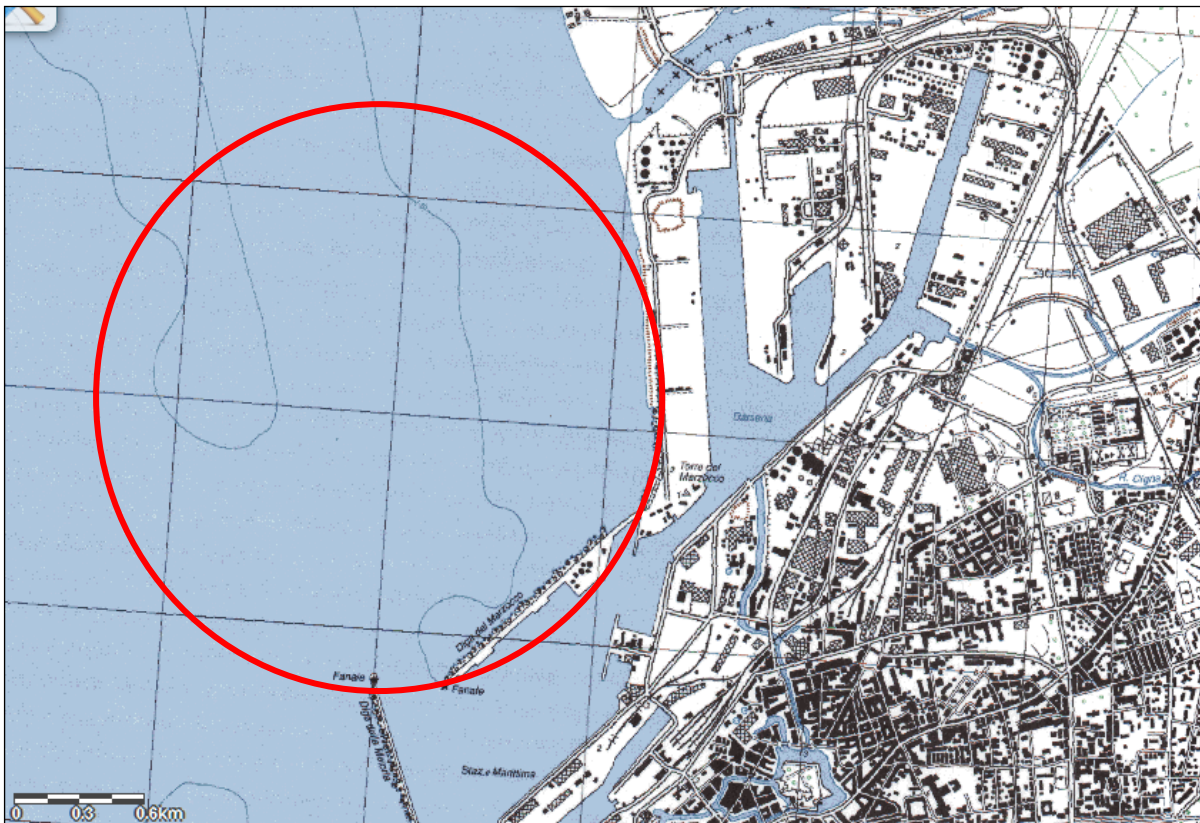


Figura 1: Scala 1 : 25.000 - Inquadramento topografico dell'area di indagine da cartografia IGM

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

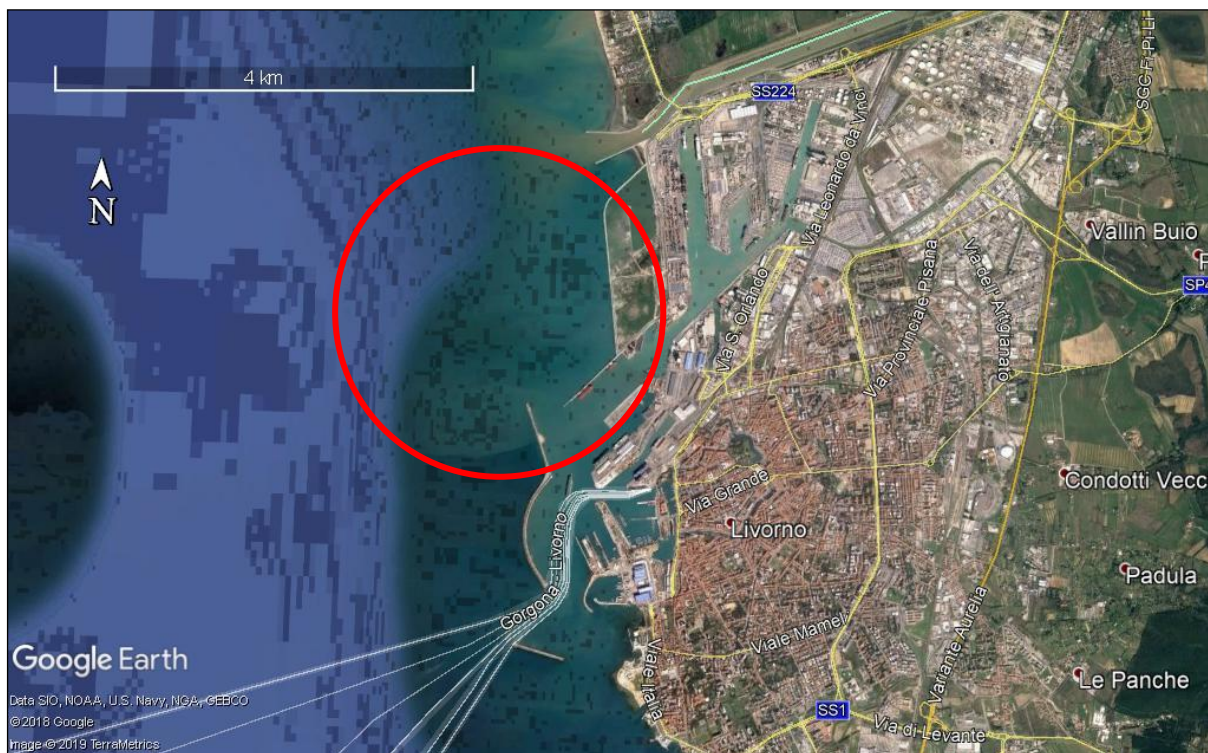


Figura 2: Inquadramento dell'area di indagine all'interno dell'area urbana di Livorno

In Figura 3 è visibile un estratto dalla Carta Tecnica Regionale con sovrapposto il sedime delle opere di diga, aree di colmata e/o di dragaggio previste nel layout del progetto definitivo.



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.



Figura 3 - Estratto da cartografia CTR con indicazione del sedime delle WBS e delle aree di dragaggio secondo del layout Progetto Definitivo del 2022



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

### 3 Analisi dei principali strumenti urbanistici vigenti

Il Piano strutturale del Comune di Livorno identifica l'area evidenziata in viola in Figura 4 come "Sistema infrastruttura porto e delle attività".

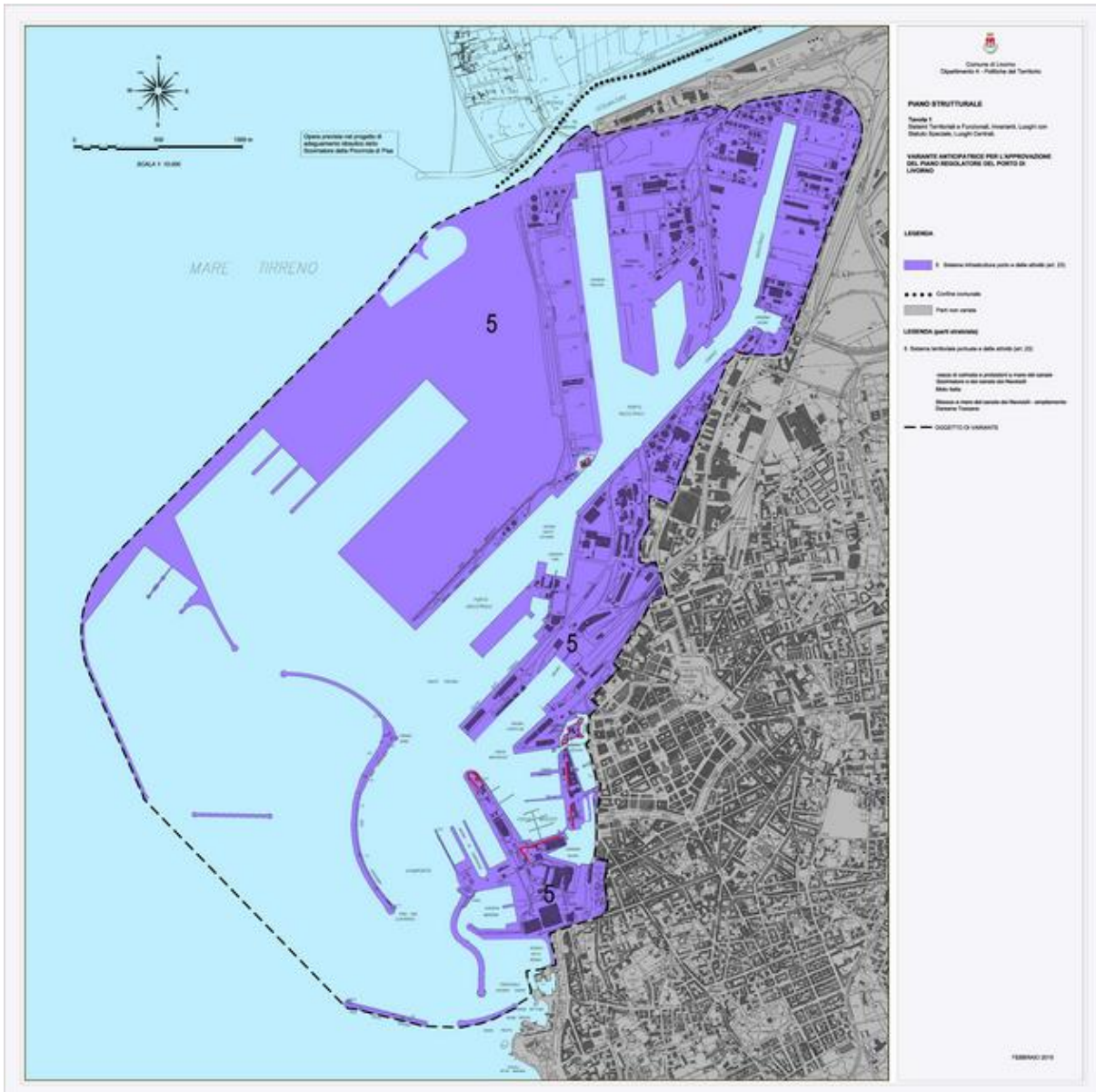


Figura 4: Tavola 1 del Piano Strutturale del Comune di Livorno "Sistemi Territoriali e Funzionali invariati luoghi con statuto speciale, luoghi centrali", in viola le aree destinate a "Sistema infrastruttura porto e delle attività"

Il Piano Strutturale e il Regolamento Urbanistico vigenti prevedono un ampliamento dell'area portuale da destinare allo sviluppo delle attività commerciali, giudicato insufficiente alla luce delle più recenti valutazioni dello sviluppo futuro dei traffici di merci nel Mare Mediterraneo.

L'Autorità Portuale di Livorno ha perciò elaborato nel 2008 un nuovo Piano Regolatore Portuale che costituisce variante al Piano Strutturale vigente.

Il Piano Regolatore Portuale di Livorno prevede l'ampliamento a mare delle strutture esistenti, tenendo conto delle seguenti condizioni:

R.T.P.: F&M Ingegneria SpA – HaskoningDHV Nederland B.V. – HS Marine Srl – G&T Srl

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

1. la necessità di conservare l'integrità della cassa di colmata in via di completamento, e di quella di prossima realizzazione. Le casse sono situate all'esterno del terminal Darsena Toscana e della diga di protezione della Darsena Petroli, di forma romboidale e superficie di circa 30 ha entrambe, senza alterare tale perimetrazione a tutela della separazione dei sedimenti sversati all'interno, e tenendo di conto che all'interno della prima non è possibile eseguire opere (ad esempio pali infissi e/o trivellati, palancole infisse, ecc. ) che provocherebbero la "perforazione" della geo membrana utilizzata per l'impermeabilizzazione del fondo e delle sponde della vasca;
2. la realizzazione di una piattaforma verso il mare richiede inoltre la costruzione di una nuova diga foranea a nord, a protezione delle nuove banchine previste e di uno specchio acqueo interno di evoluzione delle navi, a servizio delle nuove banchine.
3. la rilocalizzazione del terminale di sbarco degli olii e derivati, che risulterebbe decisamente allontanato dall'area urbana (circa 3 km anziché 1,5 km dalla Fortezza nuova), con la conseguenza di richiedere la posa di un nuovo fascio tubiero;
4. la necessità di rivedere il sistema degli accessi al porto;
5. le modalità di realizzazione del Piano, se in più fasi intermedie con la conseguente opportunità di poter mettere a reddito le opere man mano che vengono completate, oppure l'opportunità, a fronte di una procedura di partenariato pubblico privato, di realizzare in un'unica fase tutta l'infrastruttura;
6. la minimizzazione dell'impatto con i pur limitati specchi acqueei sede dei sedimenti inquinati da bonificare;
7. la predisposizione dello sbocco a mare dello Scolmatore d'Arno.

La Piattaforma Europa pertanto pare opportuno si debba sviluppare a nord del molo sottoflutto (Diga del Marzocco) che chiude attualmente a nord il porto di Livorno, orientato secondo la direzione dei venti prevalenti (grecale e libeccio) e dei mari dominanti, provenienti da libeccio e ad ovest del limite occidentale del terrapieno che costituisce il terminale container della Darsena Toscana.

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto definitivo	RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.

## 4 Sintesi delle opere previste dal progetto definitivo

Il progetto definitivo prevede l'ampliamento del porto esistente mediante la costruzione della Nuova Piattaforma Europa, che si svilupperà a Ovest dell'attuale Darsena Toscana, dell'S.G.C. Fi-Pi-Li e della vasca di colmata esistente, in un'area a mare compresa tra il Canale Scolmatore a Nord e la Diga del Marzocco/Diga della Meloria a Sud.

Il nuovo complesso portuale sarà costituito da un'ampia piattaforma di colmata con asse longitudinale da Nord-Est verso Sud-Ovest, delimitata a settentrione dalla Diga Nord (WBS1, WBS2 e WBS3) e a meridione da un argine di colmata (WBS4); quest'area di colmata risulta divisa in tre vasche (WBS9b', WBS9b'', WBS9b'''), più una impermeabilizzata (WBS 9a). A Sud di quest'area di colmata sorgerà un nuovo bacino interno di manovra delle navi ed un nuovo canale interno di ingresso al porto, con quota di dragaggio -16 m s.l.m. Questo canale di ingresso al porto, nella parte esterna a mare, avrà una quota di dragaggio a -17 m s.l.m.

Il progetto prevede anche la demolizione del tratto rettilineo della Diga della Meloria e la costruzione di una nuova diga con andamento curvilineo (WBS6).

E' prevista inoltre la costruzione di una Nuova Diga Sud (WBS5), con andamento ortogonale alla Diga del Marzocco.

In Figura 5 è visibile un layout schematico relativo alle opere previste in fase di progettazione definitiva della nuova struttura portuale, con indicazione delle principali zone costitutive.



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

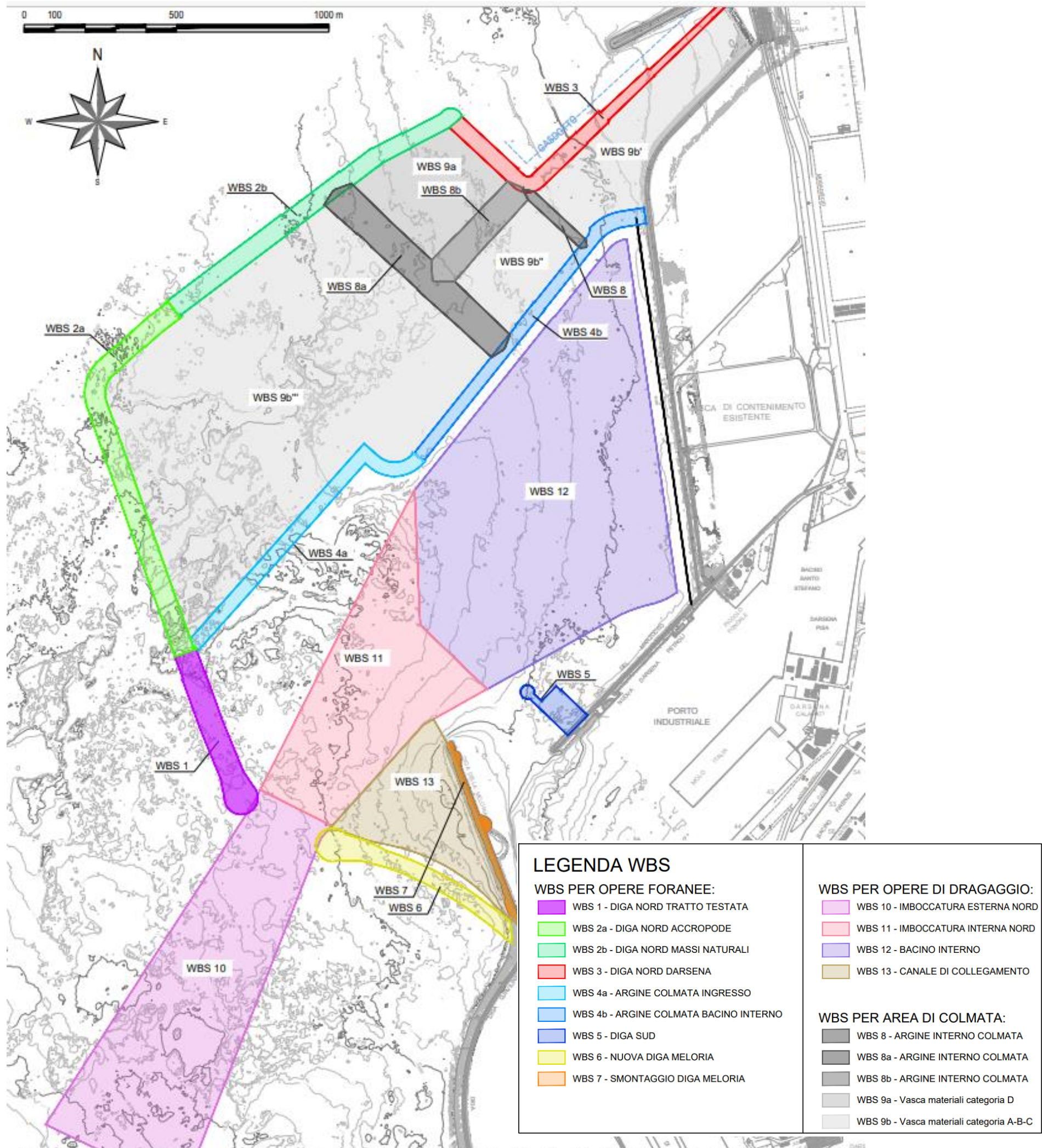


Figura 5: Layout della Nuova Piattaforma Europa, con identificazione delle opere costitutive principali

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

## 5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

### 5.1 Inquadramento geologico

La città di Livorno sorge al margine meridionale della Pianura dell'Arno stretta tra la linea di costa e le colline livornesi.

Da un punto di vista strutturale essa occupa una delle depressioni tettoniche originatesi a partire dal Miocene superiore in conseguenza della rotazione antioraria della catena Appenninica. Tale depressione, come le altre poste più ad ovest, è stata riempita di sedimenti di origine sia alluvionale che marina.

Dall'analisi della Carta geologica dei comuni di Livorno e Collesalveti in scala 1:25.000 (Lazarotto, Mazzanti e Nencini, 1987), di cui un estratto è riportato in Figura 6, nell'intorno dell'area di studio si rilevano in affioramento le seguenti litologie:

- a) Depositi di **spiaggia attuale** (s), regolata dai moti ondosi del mare, dalle correnti e dalle maree insieme alle dinamiche di trasporto del Canale dello Scolmatore d'Arno; si tratta di sabbie molto fini tendenzialmente ancora in accumulo;
- b) Depositi di **alluvioni** (a), affiorante in destra idraulica dello Scolmatore e che corrisponde con la fase di risalita del livello di base dei fiumi conseguente a quella trasgressione versiliana del livello del mare;
- c) Depositi dei **sedimenti palustri, alluvionali e di colmata** (t), spesso non facilmente riconoscibili l'uno dall'altro;
- d) Depositi delle **Sabbie d'Ardenza** (q9) che sormontano le Calcareniti Sabbiose di Castiglioncello; sono sostanzialmente sabbie molto fini sempre di origine continentale e di accumulo eolico e di tipico colore arancio-rosso. Rappresentano per la zona una formazione tipica nell'ambito del cosiddetto Terrazzo di Livorno.

Naturalmente le aree portuali e le aree cittadine interne alle cerchie murarie storiche non sono cartografate in quanto oggetto di escavi e movimenti terra (porto) o in quanto obliterate dall'intervento antropico (centro cittadino).



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

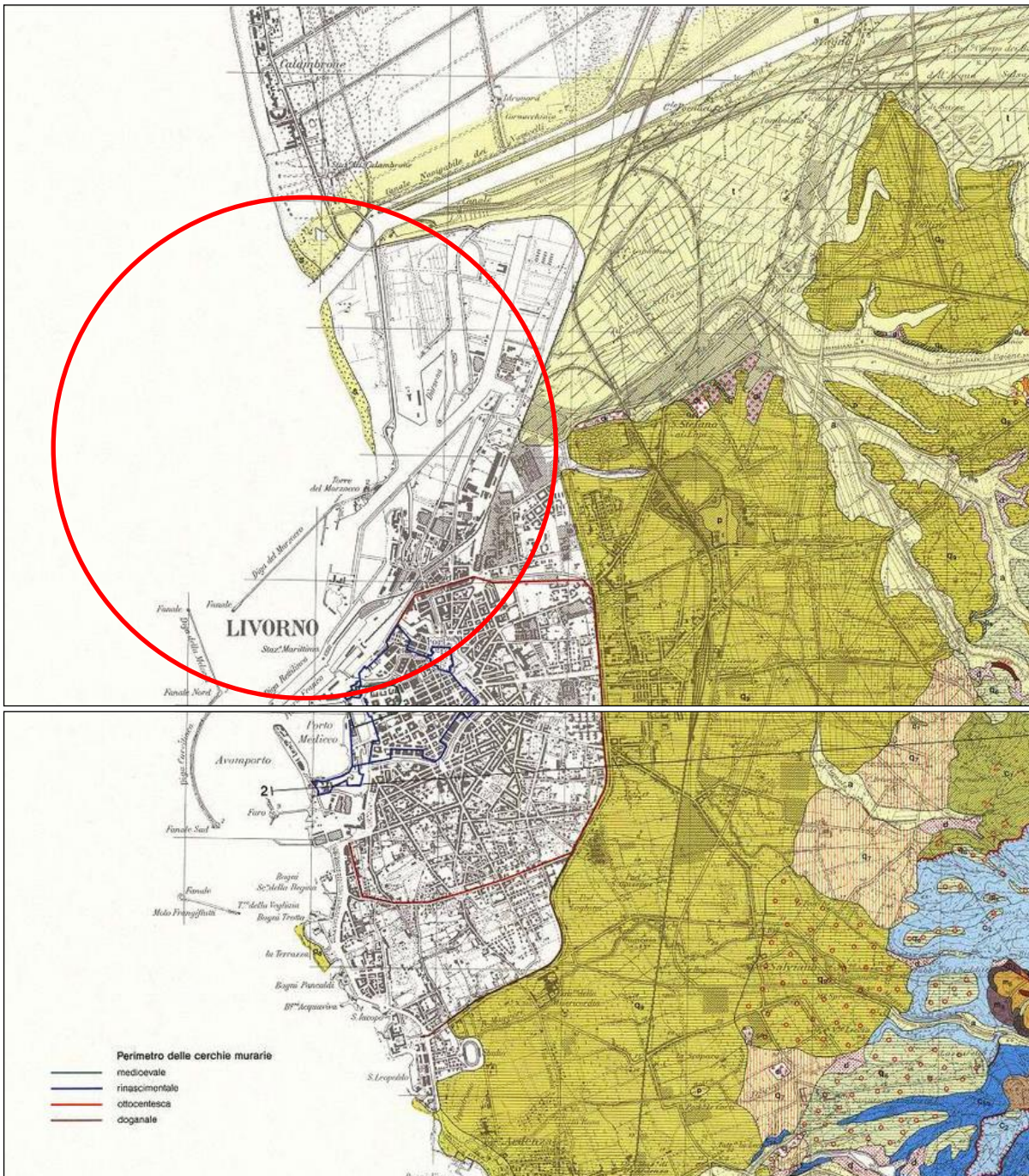
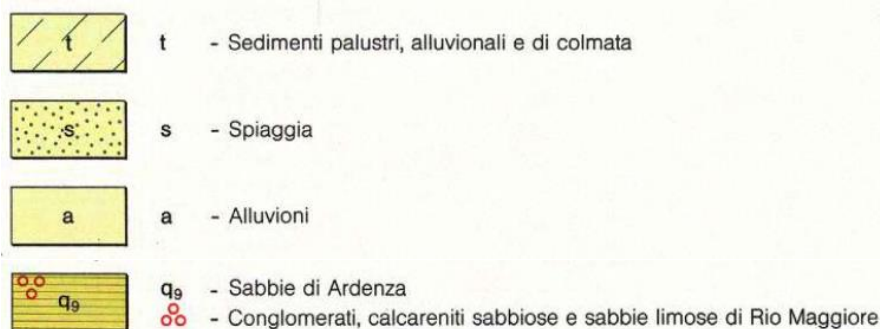


Figura 6: Estratto dalla Carta Geologica dei Comuni di Livorno e Collesalveti (Lazzarotto, Mazzanti, Nencini, 1987)









Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

## 5.2 Inquadramento geomorfologico

L'area interessata dal progetto, completamente interna alle strutture portuali esistenti o posta in corrispondenza del Mar Tirreno, non presenta com'è ovvio segni geomorfologici naturali. Al contrario la realizzazione di tali strutture ha comportato l'elisione delle caratteristiche geomorfologiche del territorio, come ad esempio del cordone litoraneo a sud della foce del Canale Scolmatore visibile in Figura 6 ed attualmente obliterato della banchina occidentale della Darsena Toscana e dalle colmate in via di completamento.

Le strutture geomorfologiche tipiche delle fasce costiere, caratterizzate da sistemi di cordoni dunali alternati a lame a carattere palustre, si sono invece conservate a nord del Canale Scolmatore.

Il segno geomorfologico più significativo rimasto nell'area è perciò il cosiddetto "Terrazzo di Livorno", il cui orlo, nella porzione settentrionale dell'abitato, è comunemente conosciuto come "Gronda dei lupi".

Il Terrazzo di Livorno costituisce la superficie, elevata di circa 6 m s.l.m., sulla quale si è sviluppata la città (Figura 8). Il suo orlo di scarpata è tuttora abbastanza ben riconoscibile e separa le aree residenziali da quelle industriali e portuali.

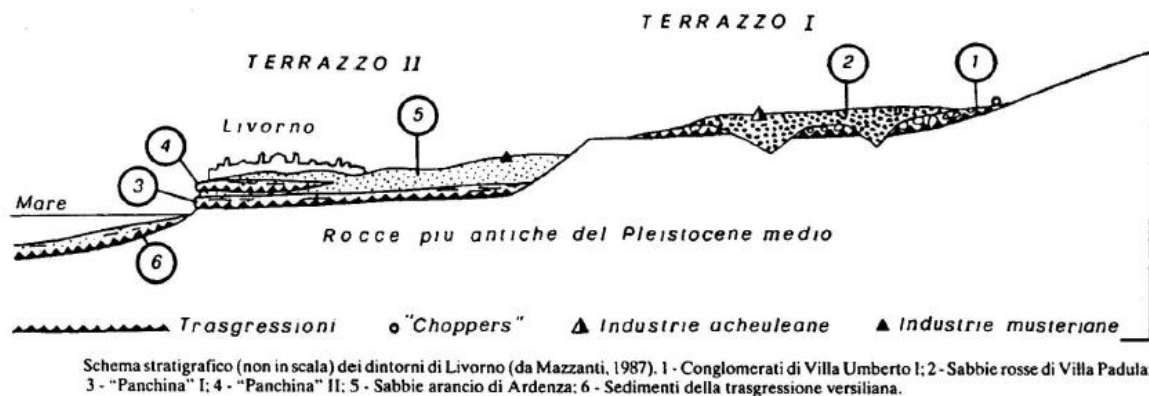


Figura 8: Schema stratigrafico dei dintorni di Livorno

Nella figura sottostante si riporta un estratto dalla Carta geomorfologica dell'area, dove è visibile il margine geomorfologico (linea rossa marcata) che separa l'area della piana del terrazzo di Livorno a Sud-Est dal margine meridionale della pianura alluvionale di Pisa.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

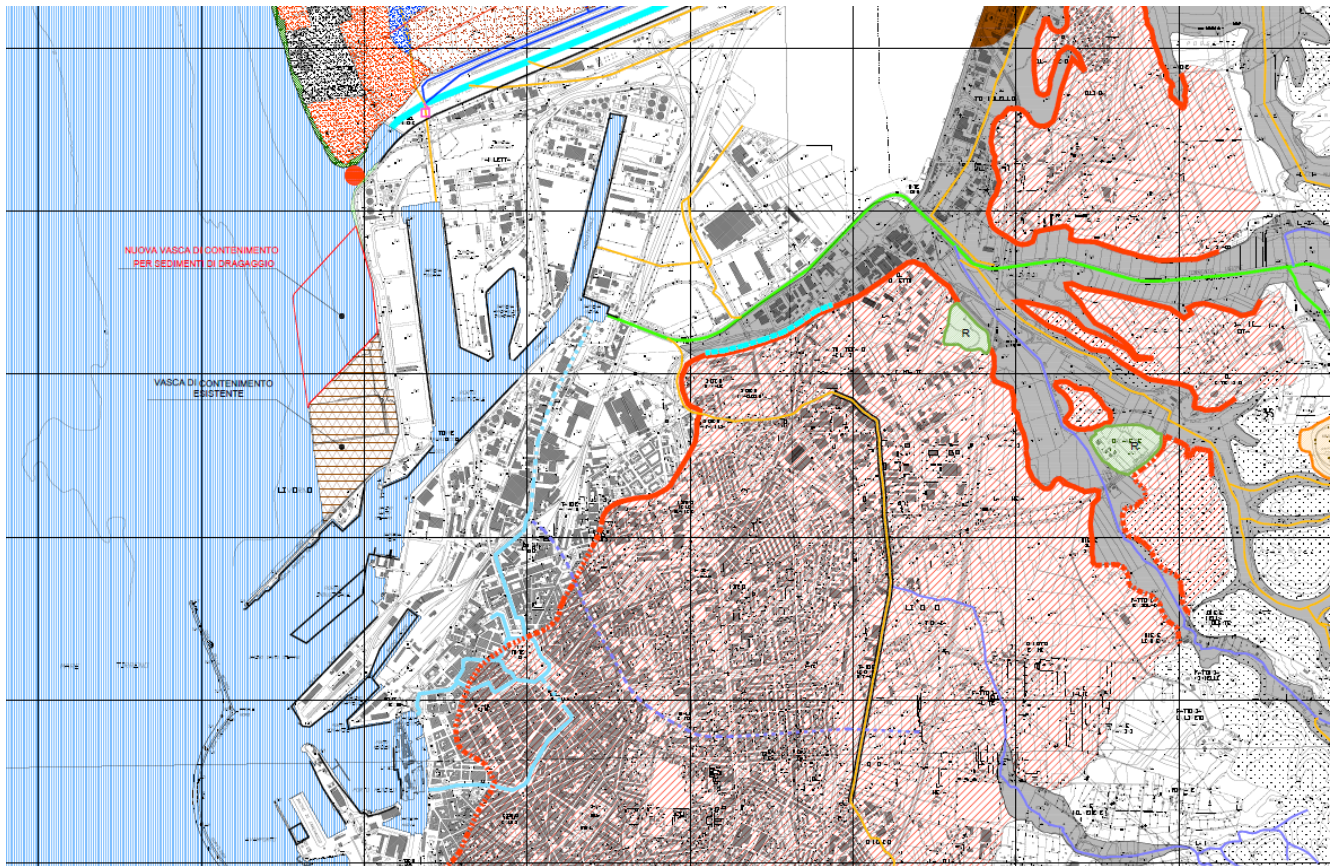













Figura 9: Estratto dalla Carta geomorfologica redatta per la Vasca di colmata dei sedimenti di dragaggio – Dott. Geol. Antonio Rafanelli

#### SISTEMA DEL TERRAZZO GEOMORFOLOGICO:

-  Margine geomorfologico visibile
-  Margine geomorfologico presunto
-  Plane del terrazzo
-  Alluvioni
-  Allineamento di bordo delle sorgenti storiche

#### FORME DUNALI:

-  Spiaggia attuale
-  Sistema dunale attivo (con debole attecchimento di piante alofite ed elaborazione delle forme ad opera di marosi e venti)
-  Sistema urbano realizzato entro il sistema dunale
-  (ceduato recente-forte impronta del sottobosco)
-  a. Area di tombolo a cordoni litoranei multipli consolidati  
b. Modificazioni antropiche a scopi turistici-sportivi
-  (ceduato antico-debole impronta del sottobosco)  
b. Modificazioni antropiche a scopi residenziali-industriali

#### 5.2.1 Morfologia del fondale

Il fondale marino presenta una morfologia degradante verso Sud-Ovest con batimetrie medie, nell'area della nuova piattaforma, comprese tra circa 6 m nel margine verso la linea di costa e circa 10 m in prossimità delle WBS1 e della nuova Diga della Meloria. L'indagine batimetrica a mare mostra una morfologia più regolare nella parte verso la linea di costa e più frastagliata in prossimità della Diga che delimita il canale di ingresso interno e la piattaforma di colmata (WBS 4a), dove si rilevano diverse incisioni del fondale marino. Per i dettagli in merito a questi aspetti si rimanda al paragrafo 8.6 e alla Figura 33: indagine batimetrica, isobate del fondale marino da .

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

### 5.3 Inquadramento tettonico

Nell'area della fascia costiera Toscana i lineamenti tettonici presentano prevalentemente una direttrice in senso NO-SE, ed una età posteriore al Miocene superiore. La zona di Livorno, dove insiste l'area di studio, in questo senso non fa eccezione nonostante siano presenti anche faglie disgiuntive con andamento NE-SW.

Come accennato in precedenza questa configurazione, correlata ad una tettonica distensiva dovuta alla rotazione antioraria della catena appenninica ed all'apertura del Mar Tirreno, dà luogo ad uno schema tettonico caratterizzato da alternanze di alti strutturali (in marrone in Figura 10) e bacini (in giallo nella stessa figura) impostati su fosse tettoniche.



Figura 10: Schema strutturale dei bacini neogenici e dei principali lineamenti anti appenninici nell'area toscana (da Martini e Sagri 1993, modificato)

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## 5.4 Inquadramento idrografico

L'assetto idrografico di superficie dell'area livornese si basa su tre tipologie di corsi d'acqua:

- 1) corsi d'acqua naturali che talvolta hanno subito rettifiche, modifiche di tracciato o lavori di rivestimento;
- 2) canali realizzati su antiche tracce di corsi d'acqua naturali mediante l'escavazione, il dragaggio o la formazione di banche fluviali con funzioni di regolamentazione e scolmature delle piene del Fiume Arno o con caratteristiche di navigabilità interna in collegamento con il mare;
- 3) tracce di canali tendenzialmente antropici con tipiche forme a "scacchiera" o a "rastrello" con evidenti funzioni di drenaggio delle aree acquitrinose per l'imbonimento dei terreni mal saldi.

Il primo gruppo è rappresentato dai torrenti e rii che traggono origine dai rilievi collinari ad est della città e che non interessano direttamente l'area di studio, ma al più la delimitano: il Torrente Ugione, il Rio dell'Acqua Puzzolente (affluente in sinistra idraulica del T. Ugione) ed il Rio Cigna.

Sotto il profilo geomorfologico il Torrente Ugione deve aver subito alcune modificazioni di tracciato anche in relazione agli sviluppi di espansione settentrionale della città, mentre è utile ricordare che in anni recenti (1980-1985) il tratto finale del Rio Cigna è stato completamente rivestito e la sua parte terminale è divenuta in pratica un canale trapezoidale rivestito in cemento.

Sono ricompresi nel secondo gruppo quei corpi idraulici che hanno una direzione più perpendicolare all'attuale linea di costa con andamento pressappoco ENE-WSW, come ad esempio lo Scolmatore d'Arno che è stato realizzato per proteggere l'abitato di Pontedera e Pisa dalle piene del Fiume Arno.

Altri corsi d'acqua artificiali degni di nota sono lo storico Canale dei Navicelli, ma anche il Canale Emissario di Bientina e la Fossa Chiara, il Fosso della Tora e l'Antifosso delle Acque Chiare.

Il terzo gruppo riguarda i canali e fossi di varia gerarchia realizzati allo scopo di bonificare le aree palustri negli ultimi 4 secoli. Molti di essi sono ad oggi scarsamente evidenti, tuttavia in diversi casi mantengono ancora la loro funzione di rete di drenaggio superficiale, particolarmente nella piana a nord del Canale Scolmatore d'Arno.

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto definitivo	RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.

## 5.5 Inquadramento idrogeologico

L'assetto idrogeologico dell'area di Livorno e dei suoi dintorni è stato oggetto di diversi studi specifici, tra i quali sono stati presi in considerazione:

- 1) Studio idrogeologico della Piana di Livorno, Studio di geologia A. Rafanelli, 1980-1984;
- 2) Studio idrogeologico dell'Acquifero del Mortaiolo, Studio di geologia A. Rafanelli, 1980-1986.

Il primo prende in considerazione l'area compresa tra il torrente Ugione – Rio dell'Acqua Puzzolente a Nord ed il torrente Chioma a Sud, il secondo è incentrato su un'areale della Piana di Pisa posto a Nord del Canale Scolmatore d'Arno.

Pur concentrandosi su acquiferi profondi, in quanto volti alla ricerca idropotabile, tali studi restituiscono un assetto idrogeologico locale caratterizzato dalla presenza di numerosi di un acquifero multistrato, formato da più acquiferi sovrapposti, separati tra loro da orizzonti a bassa permeabilità. La ricostruzione geometrica delle strutture idrogeologiche è comunque sempre molto impegnativa, a causa soprattutto della complessità degli originari sistemi deposizionali (fluvio-lacustre e marino-transizionale-eolico), che comportano frequenti passaggi laterali e verticali delle litofacies.

Il livello statico di queste falde si attesta a quote prossime al piano campagna, con soggiacenza dell'ordine di 1 – 2 m, mentre la direzione di deflusso è circa Nord-Ovest in corrispondenza della Piana di Livorno, e Ovest in corrispondenza delle aree a Nord dello Scolmatore d'Arno.

Gli acquiferi più superficiali, che possono venire in contatto con le opere in progetto, sono comunque caratterizzati solitamente da produttività limitata, a causa di aree di ricarica di limitata estensione, e qualità chimica delle acque scarsa, principalmente a causa dell'elevata durezza.

## 5.6 Contesto idrografico dell'area portuale

L'area portuale di Livorno è inserita nel contesto idrografico della Piana di Pisa e della Piana di Livorno, segnato da un'elevata antropizzazione dovuta alle opere di bonifica delle aree situate nella Piana di Pisa, alla necessità proteggere il territorio dalle inondazioni del fiume Arno e dallo sviluppo delle aree industriali nella porzione settentrionale della città di Livorno.

L'area portuale in particolare è delimitata a Nord dal Canale Scolmatore d'Arno, corso d'acqua artificiale creato negli anni '50 e '60 al fine di proteggere la città di Pisa dagli eventi alluvionali più intensi, come quello del 1949. Esso trae origine con un'opera di presa a valle di Pontedera e sfocia nel Mar Tirreno dopo un percorso di circa 28 Km e dopo aver ricevuto alcuni corsi d'acqua minori quali il Fosso Tora, il Canale dei Navicelli, il Canale Industriale ed il Canale Tora o Antifosso delle Acque Chiare.

Il Canale Scolmatore d'Arno è interessato da un progetto di navigabilità volto a garantire un collegamento tra il porto di Livorno, l'interporto "A. Vespucci" di Guasticce e l'autoparco "Il Faldo", situato a Nord di Vicarello.

All'interno dell'area portuale inoltre sfociano alcuni corsi d'acqua che nascono nelle alture ad Est della città, il torrente Ugione, il Ro Cigna, il Rio dell'Acqua Puzzolente. Si tratta di corsi d'acqua che, nel loro tratto terminale all'interno del tessuto urbano della città sono stati interessati anch'essi da interventi di rettificazione, e che presentano una foce comune in corrispondenza della "Darsena Ugione".



## 6 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

### 6.1 Pericolosità sismica

Per quanto riguarda la definizione del parametro accelerazione al suolo, nella figura seguente si riportano i valori di pericolosità sismica del territorio nazionale (INGV) espresso in termini di accelerazione fondamentale del suolo  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% (SLV) in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A; Class. Ed. II.)

$a(g)$  fondamentale al suolo = 0.11 g;

$a_{max}(g) = 0.165$  g (categoria sottosuolo C, categoria topografica T1)

### Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

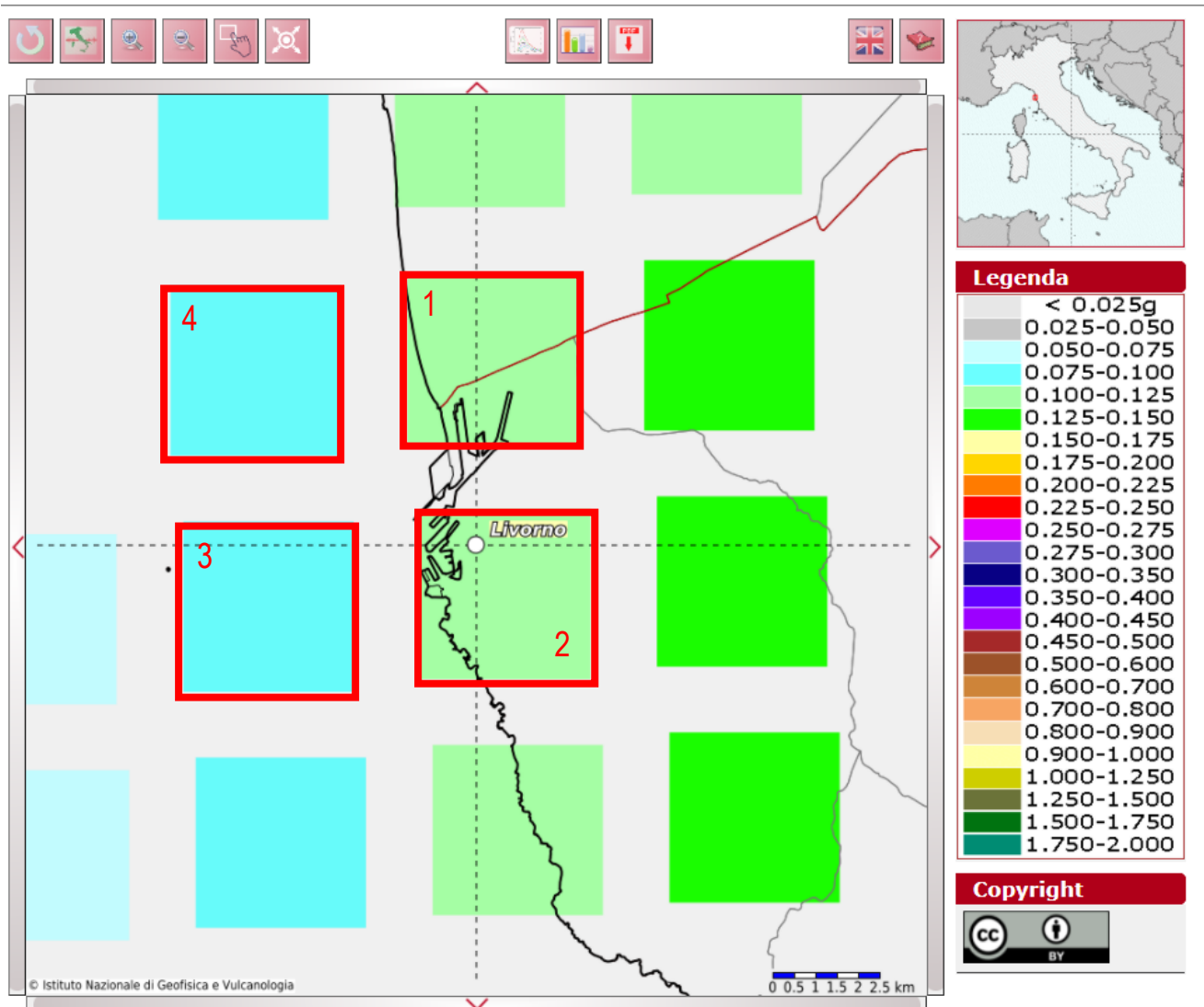


Figura 11 : Mappa dell'accelerazione fondamentale al suolo, da sito INGV

Nella figura seguente si riportano i grafici di disaggregazioni relativi ai n.4 punti indicati in Figura 11.

L'analisi dei grafici di disaggregazione restituisce un valore di magnitudo statisticamente più probabile pari 4.75, ed una distanza epicentrale media dell'ordine di 10 km.





Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## 6.2 Categoria topografica

Per quanto riguarda le caratteristiche della superficie topografica, necessarie per la definizione del parametro ST, esse sono definite nella Tab. 3.2.III delle NTC2018:

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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

Dato che l'area di studio è rappresentata da un'area costiera antistante il Porto di Livorno, con quote fondale mediamente comprese tra **-4 e -10 m s.l.m.**; la superficie topografica è pertanto classificabile in **categoria T1** "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ".

## 6.3 Definizione dell'azione sismica locale

Secondo quanto prescritto nel capitolo 3.2.2 "Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche" del testo delle NTC2018 "Norme tecniche per le costruzioni" – Decreto del 17/01/2018, si stabilisce che:

"Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite della Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2. I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, VS,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Con:

- hi= spessore dell'i-esimo strato;
- VS,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N= numero di strati
- H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

**Tab. 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per la valutazione della  $V_{s,eq}$  sono state eseguite n. 10 verticali di indagine mediante modulo sismico Marchetti, combinato alla lama dilatometrica, in grado di determinare a profondità progressive la velocità media delle onde di taglio S nel pacchetto di terreno da piano campagna a profondità raggiunta.

Progetto:  
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:  
Progetto definitivo

Elaborato:  
RELAZIONE GEOLOGICA  
1233\_PD-B-001\_3.

Nella Tabella seguente viene ripresa una sintesi dei dati di  $V_{s,eq}$  ottenuti, riferibili ad un intervallo di profondità 0-32 m.

ID	Rid. verticale	$V_{s,eq}$ (m/s)
8	VS4	334
34	VS5	224
37	VS1	304
40	SDMT8	307
43	SDMT10	404
46	VS3	334
51	VS6	241
54	SDMT11	294
56	VS2	271

Come si evince dalla tabella di sintesi di cui sopra, e verticali di indagine hanno rilevato valori di  $V_{s,eq}$  compresi tra 224 e 344 m/s. Il sottosuolo in esame può pertanto ragionevolmente essere classificato in categoria C.

C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
---	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Per quanto riguarda una descrizione dettagliata dell'azione sismica locale si rimanda all'elaborato 1233\_PD-B-004\_0 "Relazione sismica".

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## 7 INDAGINI IN SITO (ANNO 2019)

Il raggruppamento Temporaneo di Imprese composto da Geotec S.p.A., Sonedile s.r.l., Geoter s.r.l., Get s.r.l., a far data dal mese di Luglio 2019 ha eseguito attività di indagine geognostica a mare mediante l'esecuzione di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, con esecuzione di prove geotecniche in foro, prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono CPTU, prove dilatometriche DMT con dilatometro marchetti, prove pressiometriche di tipo Menard. L'indagine in sito è terminata nel mese di Ottobre 2019.

Tutte le verticali di indagine sono state eseguite da piattaforma a mare.

L'ubicazione delle verticali di indagine eseguite ad oggi è visibile nell'elaborato progettuale "Planimetria delle indagini geotecniche e ambientali", codice elaborato "1233\_PD-B-101\_0". Descrizione dettagliata delle indagini svolte e dei risultati ottenuti è contenuta nell'elaborato progettuale "Relazione sulle indagini geognostiche", codice elaborato "1233\_PD-B-002\_0".

Di seguito si riporta una breve descrizione delle attività geognostiche svolte e completate ad oggi, di cui si ha riscontro nel documento Report - RTI Esecutore del Maggio 2020.

### 7.1 Sondaggi a carotaggio continuo

I sondaggi a carotaggio continuo sono stati eseguiti seguendo la norma A.G.I. 1977, utilizzando una sonda perforatrice tipo EGT VD 700, posizionata su piattaforma, mediante perforazione a carotaggio continuo diametro 101 mm e rivestimento del foro di sondaggio fino a fondo foro. Le carote di terreno estratte sono state riposte in cassette catalogatrici in PVC e fotografate; sulle stesse sono state eseguite prove speditive di Pocket penetrometer e Torvane.

Nel corso di ciascun sondaggio sono state eseguite alcune prove geotecniche in foro, nello specifico prove di standard penetration test (SPT), prove pressiometriche e prove di permeabilità Lefranc a carico variabile.

Sono stati inoltre prelevati alcuni campioni rimaneggiati e/o indisturbati di terreno, mediante campionatore Shellby e/o Osterberg, finalizzati all'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio.

A fine perforazione ciascun foro di sondaggio è stato cementato mediante iniezione di una boiaccia di cemento e bentonite, pompata a partire dal fondo foro a risalire, con contemporanea rimozione dei tubi di rivestimento (come da capitolato di appalto dei lavori).

Ad oggi risultano completati:

- n. 30 sondaggi a carotaggio continuo, con finalità geognostica e profondità di investigazione variabile compresa tra 30 e 100 m, nella maggioranza dei casi comunque dell'ordine di 40 m da quota fondale;
- n. 10 sondaggi a carotaggio continuo con finalità ambientale, con profondità variabile da 8 a 12 m;
- n. 45 sondaggi a carotaggio continuo mediante vibrocorer, con profondità massima 6 m da quota inizio.

Nella tabella seguente si riporta un elenco dei sondaggi completati ad oggi, la cui ubicazione è visibile nell'elaborato progettuale "1233\_PD-B-101\_0". Per un'analisi dettagliata delle caratteristiche di ciascuna verticale di indagine si rimanda alla documentazione fotografica e ai log stratigrafici redatti da Geotec Spa, utilizzati dalla scrivente per redarre il modello geologico del terreno e le Sezioni Stratigrafiche di cui all'elaborato 1233\_PD-B-102\_0.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

ID	N. Sondaggio	Profondità (m da fondale)	Tipologia prove geotecniche in foro e prelievo campioni*
1	S1	60	3 CI, 2 CR, 9 SPT
2	S2	40	3 CI, 6 CR, 6 SPT, 5 PR
5	S3	40	6 CI, 5 SPT, 1 LF
6	S4	30	3 CI, 2 CR, 6 SPT
7	S5	40	4 CI, 4 SPT, 5 PR
9	S7	40	4 CI, 4 CR, 8 SPT
10	S8	40	1 CI, 1 CR, 6 SPT, 1LF
12	S9	40	1 CI, 3 CR, 5 SPT
14	S10	40	3 CI, 7 CR, 6 SPT
15	S11	40	4 CI, 9 SPT, 1 LF
16	S12	60	1 CI, 8 SPT, 6 LF
19	S13	60	7 CI, 6 SPT
21	S14	60	6 CI, 6 SPT
23	S15	40	3 CI, 7 SPT
24	S16	100	8 CI, 12 CR, 4 SPT
26	S17	60	2 CI, 12 CR, 10 SPT, 1 LF
28	S18	60	2 CI, 9 SPT, 6 PR
33	S19	60	4 CI, 9 SPT
36	S20	60	5 CI, 8 SPT
37	S21	40	4 CI, 8 SPT, 3 PR
39	S22	40	3 CI, 7 SPT
40	S23	60	4 CI, 13 SPT
41	S24	40	4 CI, 7 SPT
42	S25	60	8 CI, 5 SPT
46	S26	40	4 CI, 4 SPT
49	S27	40	5 CI, 7 SPT
52	S28	40	2 CI, 12 SPT
53	S29	40	5 CI, 6 SPT
56	S06	40	7 CI, 1 CR, 3 SPT, 1 LF
57	S30	40	3 CI, 9 SPT, 1 LF
61	S31A	12	
63	S32A	12	1 CR
66	S33A	14	3 CR
67	S34A	12	

\* CI = campione indisturbato, CR = campione rimaneggiato, SPT = Prova di standard penetration test, PR = prova pressiométrica, LF = prova di permeabilità Lefranc a carico variabile

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

## 7.2 Prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono

Ad oggi sono state eseguite n. 29 prove penetrometriche statiche elettriche con piezocono CPTU, di cui n.2 prove eseguite con Penetrometro Statico PAGANI TG 73-200KN montato su Autocarro MAGIRUS IVECO 4x4 160-17 e n.27 prove eseguite con Penetrometro Statico cingolato standard PAGANI TG 63-200KN, rispettando quanto previsto nella normativa ASTM D 5778.

Per la prova è stata utilizzata una punta elettrica con piezocono del tipo G1-CPL2IN e relativo sistema di acquisizione D1-PEN8 forniti dalla TECNOPENTA S.r.l. le cui caratteristiche sono sintetizzate di seguito:

### Modello: PIEZOCONO G1- CPL2IN

#### Punta conica:

Diametro : 35.70 mm

Altezza nominale : 30.90 mm

Angolo di apertura : 60°

Area nominale : 1000.00 mm<sup>2</sup>

Altezza filtro : 5.00 mm

Diametro interno filtro : 27.00 mm

Distanza tra filtro e base cono : 4.00 mm

Altezza quadring : 3.50 mm

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle prove eseguite; per i dettagli relativi alle singole prove si rimanda ai diagrammi redatti da Geoter.

ID	N. CPTU	Profondità (m da fondale)	Prove di dissipazione delle sovra-pressioni neutrali
1	1	15	
3	2	16.8	
4	3	26.48	
9	4	31.2	
10	28	25.6	
11	5	28.02	
13	6	29.4	12.26
14	7	18.4	
17	8	22.22	18.42
18	9	28.44	
20	10	17.22	
22	11	15.3	
24	29	33.3	10.1
27	12	20.9	

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

29	13	40.4	15.60
34	14	19.1	13.5
37	15	33.8	
38	16	38.2	9.56
39	17	27.4	16.4
41	18	24.10	17.2
44	19	15.3	
45	20	29.2	
46	21	30.9	
47	22	26.6	12.82
48	23	37	
50	24	14.7	
51	25	36.9	
55	26	31.3	12.5
56	27	36.3	11.3

Si rimanda al Documento "Report Prove Penetrometriche CPTU, Prove dilatometriche DMT e sismiche Vs"-RTI Esecutore del 06/05/2020 per quanto riguarda i dettagli dell'indagine e il report dei risultati.



Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

### 7.3 Prove Dilatometriche

Ad oggi sono state eseguite n. 9 prove dilatometriche DMT con dilatometro Marchetti eseguite con sonda perforatrice Massenza MI6, rispettando quanto previsto nella normativa ASTM (2001) "D 6635-01 Standard Test Method for Performing DMT", Book of Standards Volume 04.09 e CEN-Eurocode 7 (1999) - "Flat dilatometer test (DMT)", Part 3, Section 9.

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle prove eseguite; per i dettagli relativi alle singole prove si rimanda ai diagrammi redatti da Geoter.

ID	N. DMT	Profondità (m da fondale)	Prove di dissipazione delle sovra-pressioni neutrali
1	(DMT)1	60	45.8
5	(DMT)2	14	15.2
23	(DMT)4	40	25.0
25	(DMT)5	34	18.4
32	(DMT)6	40	21.2
35	(SDMT)7	14.6	
40	(SDMT)8	40	24.0
43	(SDMT)10	18.4	
54	(SDMT)11	40	18.24

Si rimanda al Documento "Report Prove Penetrometriche CPTU, Prove dilatometriche DMT e sismiche Vs"- RTI Esecutore del 06/05/2020 per quanto riguarda i dettagli dell'indagine e il report dei risultati.

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

#### 7.4 Misure di Vs

Sono state inoltre eseguite n. 10 verticali di letture sismiche delle Vs, con modulo sismico Marchetti combinato alla lama dilatometrica (SDMT7-ID35, SDMT8-ID40, SDMT10-ID43, SDMT11-ID54) e con solo modulo sismico (ID8, ID34, ID37, ID46, ID51, ID56). Rispettando quanto previsto dalle normative ASTM (2008) "D 7400-08 Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing".

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle prove eseguite; per i dettagli relativi alle singole prove si rimanda ai diagrammi redatti da Geoter.

ID	N. Prova	Profondità (m da fondale)	Numero misure Vs
8	(VS)4	33.5	47
34	(VS)5	36	61
35	(VS_SDMT)7	13.5	7
37	(VS)1	34	32
40	(VS_SDMT)8	32	27
43	(VS_SDMT)10	30	24
46	(VS)3	33.5	61
51	(VS)6	34	53
54	(VS_SDMT)11	35	37
56	(VS)2	32.5	32

Si rimanda al Documento "Report Prove Penetrometriche CPTU, Prove dilatometriche DMT e sismiche Vs"- RTI Esecutore del 06/05/2020 per quanto riguarda i dettagli dell'indagine e il report dei risultati.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

## 8 MODELLO GEOLOGICO

### 8.1 INQUADRAMENTO LITOSTRATIGRAFICO DELL'AREA DEL "TERRAZZO DI LIVORNO"

Il territorio circostante l'area in esame risulta particolarmente interessante dal punto di vista stratigrafico, coinvolgendo sia l'area della piana del terrazzo di Livorno a Sud-Est sia il settore meridionale della pianura alluvionale di Pisa; i due contesti geomorfologici distinti sono separati da un lineamento geomorfologico di tipo "scarpata erosiva" ben visibile nella Carta Geologica e geomorfologica. Per questo motivo l'area è stata oggetto di diversi studi stratigrafici corredati da tests paleontologici e datazioni  $^{14}\text{C}$ . Di questi, per la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico e del modello geologico del sottosuolo, vengono considerati nello specifico due studi.

Il primo lavoro, pubblicato sul Bollettino della Società Paleontologica Italiana da Dall'Antonia, Ciampalini, Michelucci, Zanchetta, Bossio e Bonadonna (2004) si basa su uno studio multidisciplinare condotto su 15 sondaggi guida effettuati lungo la linea di costa (n.12 sondaggi) e nel primo entroterra livornese (n.3 sondaggi), come visibile nella seguente mappa estratta dalla pubblicazione in oggetto.



Figura 12: Ubicazione dei 15 sondaggi considerati nello studio di Dall'Antonia et al.

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

Lo studio multidisciplinare in chiave litologica, paleontologica e geocronologica delle carote estratte (le analisi risultano fatte su un centinaio di campioni) ha rivelato una ampia variabilità, nell'area di studio, della litologia e associazioni di fauna. Tuttavia, in linea generale, esso individua n.7 unità stratigrafiche per l'area di Livorno, **dalla più antica alla più recente**:

UNITA' 1: Questa unità stratigrafica è datata Pleistocene Inferiore e comprende due sub-unità, la prima caratterizzata da **sabbie limose e argille azzurre-grigie** con limi argillosi e la seconda in cui sono incluse alternanze di limi-sabbiosi, sabbie medie-fini ed argille con sabbie grossolane;

UNITA' 2: questa unità, datata **Pleistocene Inferiore**, è caratterizzata da **sabbie grossolane e ghiaie sparse** con passaggi a sabbie più fini fino alle argille;

UNITA 3: Questa unità, datata **Pleistocene superiore**, è ben evidente e posta alla base del Terrazzo di Livorno ed è costituita da una **sabbia con clasti calcarenitici spesso cementata** in forma di calcarenite (panchina) con abbondanti conchiglie marine (molluschi); essa è correlata ad un deposito trasgressivo datato circa 125.000 anni fa;

UNITA' 4: Attribibile sempre al **Pleistocene superiore** (circa 40.000 anni fa) essa consiste in un'alternanza di **limi-argillosi grigi-azzurri e sabbie** e sembra essere posizionata tra il Terrazzo di Livorno e la Pianura di Pisa.

UNITA' 5: Questa unità viene suddivisa in **due unità** delle quali l'unità inferiore comprende limi e argille sabbiose con spessori di ghiaie o sabbie grossolane mentre l'unità superiore è composta da sabbie e sabbie limose con vari livelli di sabbie più grossolane. Per questa unità l'ambiente deposizionale varia da piano alluvionale con caratteristiche di trasporto di materiale anche a depositi di corrente.

UNITA' 6: Questa unità è composta da **limi sabbiosi e limi argillosi con sabbie con presenza di molluschi e gasteropodi** di acqua fresca e nei livelli superiori anche forme di molluschi terrestri; l'età risulta anteriore all'Olocene.

UNITA' 7: L'unità più superficiale è composta nella parte inferiore da sabbia grossolana localmente con ghiaia, attribuita alla trasgressione versiliana, e nella parte superiore da limi sabbiose e sabbia limose ricche in **resti di Posidonia oceanica**. Si tratta di un deposito Olocenico che nella componente più recente, ovvero nel livello più superficiale, indicherebbe una deposizione avvenuta anche in epoca storica (circa 1.000 anni fa).

Le correlazioni stratigrafiche delle singole unità sono visibili nello schema seguente (estratto dalla pubblicazione in oggetto), dove è riportata una sezione stratigrafica che, nel tratto A-N, può ritenersi sostanzialmente coincidente con la linea di costa attuale.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

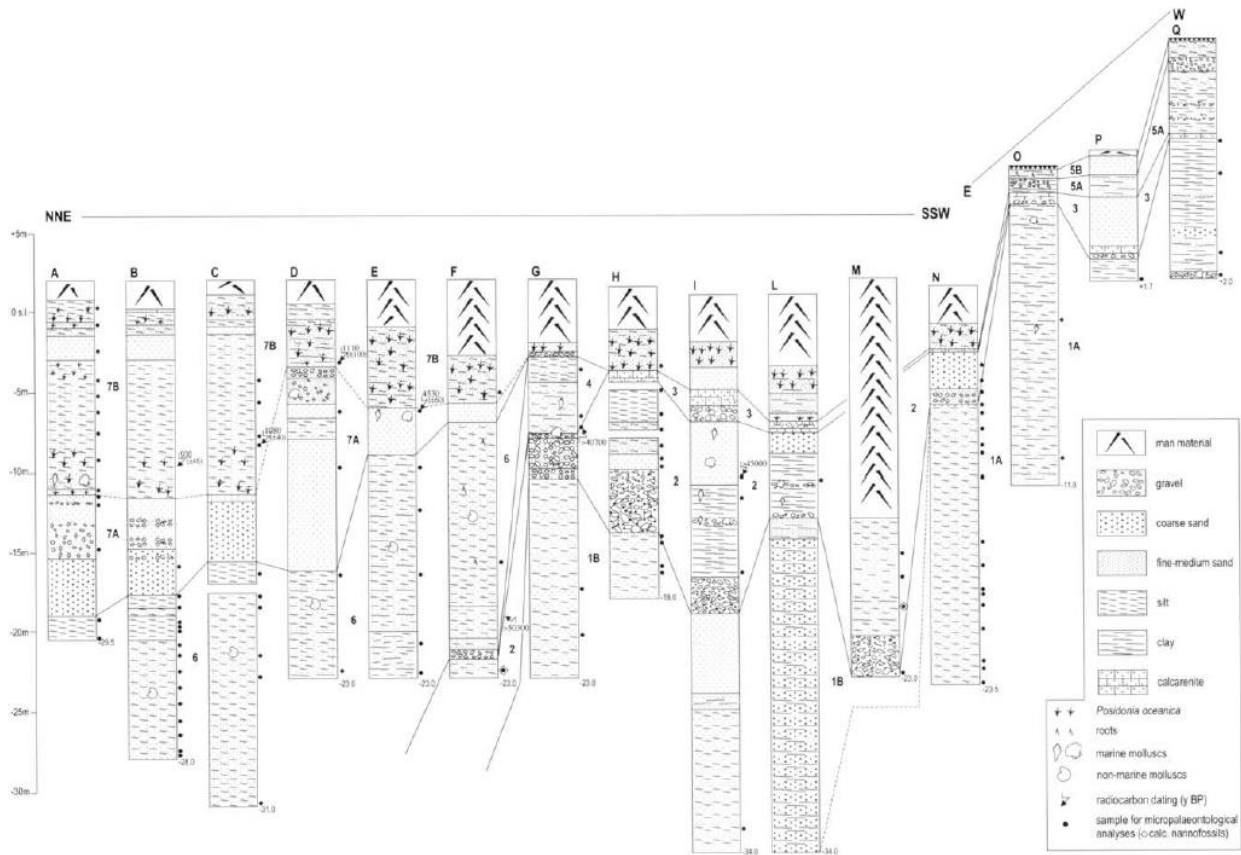
Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.



Text-fig 4 - Lithology of single borehole and stratigraphical correlation of the 7 units recognized (1A = Subunit 1A; 1B = Subunit 1B; 2 = Unit 2; 3 = Unit 3; 4 = Unit 4; 5A = Subunit 5A; 5B = Subunit 5B; 6 = Unit 6; 7A = Subunit 7A; 7B = Subunit 7B).

Figura 13: Correlazioni stratigrafiche dei 15 sondaggi considerati nello studio di Dall'Antonia et al.

Il secondo studio, redatto dall'Area della ricerca del CNR nel 2018 "Relazione stratigrafica, micropaleontologica e sedimentologica del sottosuolo della Torre del Marzocco (Livorno) e caratterizzazione geocronologica dei reperti lignei rinvenuti", si basa sui campioni raccolti in n.9 sondaggi eseguiti nell'area Torre del Marzocco:

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

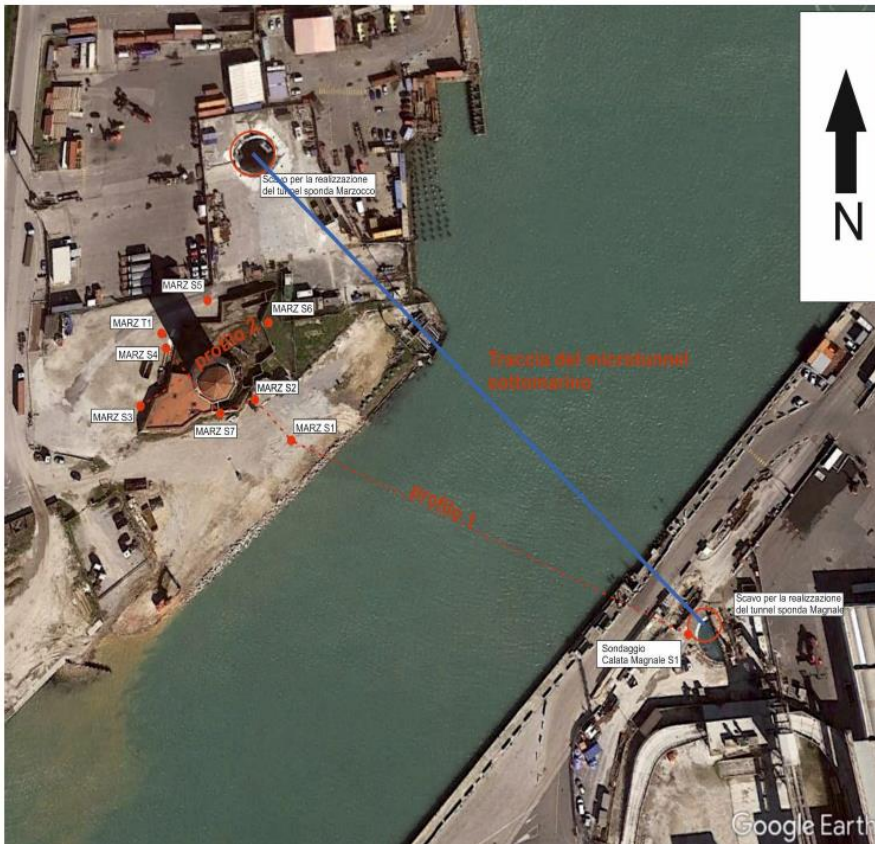


Figura 14: Ubicazione dei n.9 sondaggi - Studio CNR del 2018

Questo studio individua **quattro unità principali**, dalla più antica alla più recente:

UNITA' 1: Questa unità stratigrafica è datata **Pleistocene inferiore** ed è costituita principalmente da un'alternanza di livelli di **sabbia fine limosa molto fossilifera** di colore grigio, e livelli di **limo argilloso molto consistente e fossilifero** anche esso di colore grigio. Le associazioni a microfossili sono indicative di un ambiente marino costiero, con batimetrie variabili (tra circa 0 e 20m di profondità). Profondità relativamente maggiori, sempre nei limiti dell'ambiente neritico interno (non oltre i 50m di profondità), possono essere ipotizzate per i livelli limoso-argillosi.

UNITA' 2: È costituita da livelli decimetrici di **calcarenite o conglomerato**, talvolta frammentati e accumulati in una sabbia ocra. Corrisponde ai depositi trasgressivi del Pleistocene superiore (Tirreniano) molto diffusi nel sottosuolo della città di Livorno e sono attribuibili ad un ambiente deposizionale marino litorale o transizionale "panchina".

UNITA' 3: In questa unità sono riconoscibili livelli metrici di **limo sabbioso e sabbia limosa** di colore grigio con abbondanti **resti di Posidonia oceanica**; è confermata un'età corrispondente alla trasgressione Versiliana dell'Olocene. In particolare i livelli più superficiali si sarebbero depositati probabilmente in epoca storica.

UNITA' 4: Questa unità, formatasi in epoca storica, è costituita da **materiale antropico** principalmente **lapideo**, ha un aspetto caotico e spessore molto variabile.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

Nella figura seguente è visibile una sezione di correlazione delle quattro unità stratigrafiche riconosciute.

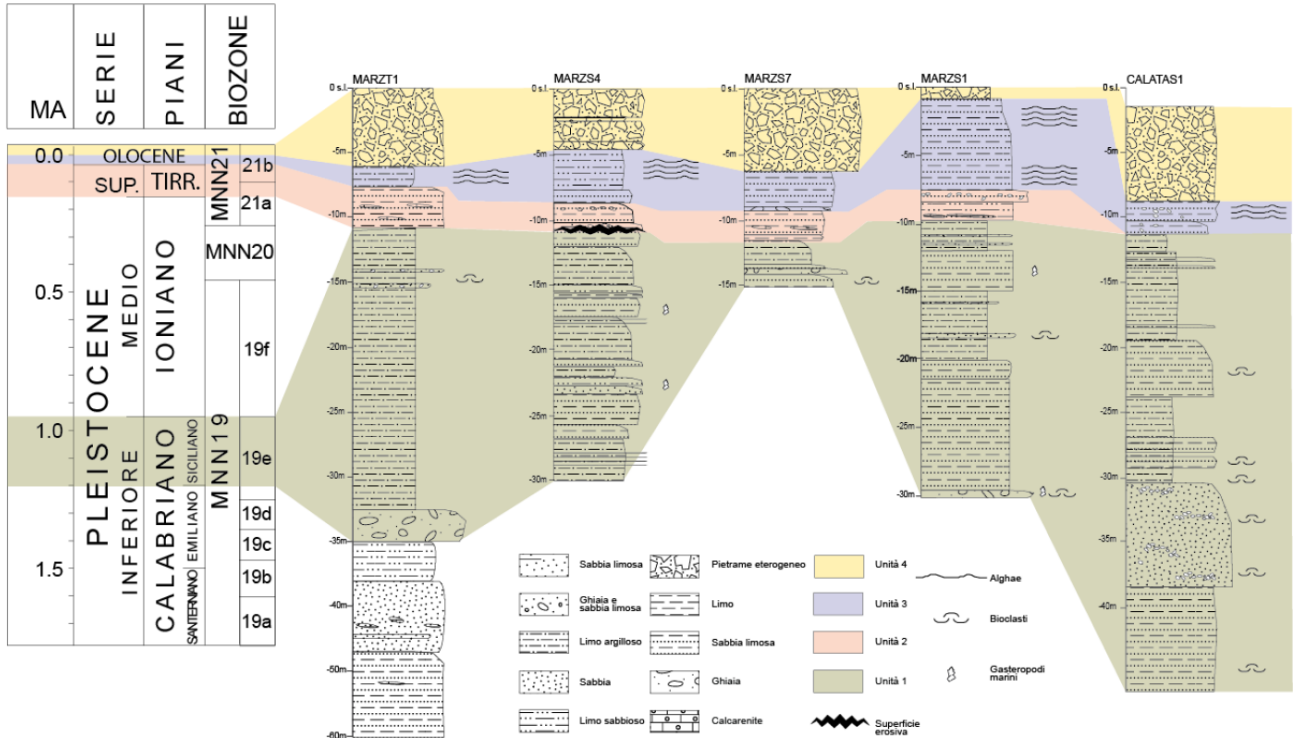


Figura 15: Correlazioni stratigrafiche di alcuni sondaggi considerati nello studio del CNR del 2018

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## 8.2 MODELLO GEOLOGICO DEL TERRENO

L'indagine a mare eseguita nell'ambito della progettazione preliminare e definitiva, completata nel mese di Ottobre 2019, ha messo in evidenza **la presenza più o meno continua di alcune delle unità indicate nell'inquadramento litostratigrafico** generale dell'area costiera su cui sorgerà la nuova Piattaforma Europa. Di fatto l'ambito di studio si trova in una zona di transizione tra un'area caratterizzata da ambiente deposizionale alluvionale o di colmata, corrispondente al margine meridionale della Pianura alluvionale di Pisa, e il dominio del "Terrazzo di Livorno" dove predominavano ambienti deposizionale di tipo litorale e costiero e dove è presente un livello più o meno continuo di panchina (sabbie calcarenitiche). Questi diversi domini deposizionali si traducono in termini litologici in orizzonti stratigrafici discretamente eterogenei sul piano sia orizzontale sia verticale.

Inoltre l'indagine eseguita in sito conferma quanto emerso anche dagli studi stratigrafico/sedimentologici e micropaleontologici pregressi, citati nel paragrafo 8.1 e utilizzati ai fini dell'inquadramento litostratigrafico preliminare, **ovvero le importanti variazioni in termini potenza delle unità stratigrafiche riconosciute.**

Nello specifico nell'area di indagine si possono riconoscere tre unità stratigrafiche principali, che a loro volta presentano al loro interno diversi orizzonti litologici con granulometria discretamente variabili, così schematizzabili:



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

**Orizzonte superiore (Olocene):** Limo da sabbioso a debolmente sabbioso, grigio, con resti di bivalvi e di fanerogame di posidonia oceanica; localmente ghiaioso e con limitati orizzonti di ghiaia sabbioso-limosa superficiale. Questo orizzonte si presenta generalmente da sciolto a poco addensato e con **spessori medi dell'ordine di 3-4 m, che possono raggiungere anche i 6-7 m in alcune zone**; esso rappresenta inoltre un confine litostratigrafico abbastanza netto, formatosi in un ambiente transizionale vicino alla linea di riva e in presenza di una piana costiera poco inclinata. Questo orizzonte è presente in modo continuo, anche se con spessori variabili, in tutta l'area di indagine. L'eterogeneità litologica e di spessore dell'unità conferma quanto già indicato dalle indagini pregresse che hanno interessato i settori ad est del settore oggetto del presente studio (vasca di contenimento per sedimenti di dragaggio del porto di Livorno - 2010).

Il tetto di questa unità corrisponde al fondale marino mentre il letto è posto a quota variabile da -10.0 a -16.5 m s.l.m., ma può risultare localmente assente (vedi sezione D e sezione B nell'area di dragaggio canale di ingresso esterno); essa può corrispondere all'Unità 3 definita dallo studio del CNR del 2018.

Nella figura seguente è visibile una foto del litotipo caratteristico di questo orizzonte:



Figura 16: Sondaggio ID10-S08; esempio di facies con elementi di ghiaia e resti di posidonia



Figura 17: Sondaggio ID02-S02; esempio di facies con resti di fanerogame di posidonia oceanica

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

**Orizzonte intermedio (Pleistocene superiore):** Sabbia medio-fine limosa color oca generalmente con clasti calcarenitici (panchina) passante localmente lateralmente a ghiaia sabbioso-limosa. Si tratta di depositi connessi alla trasgressione tirreniana, formati in ambiente marino litorale o transazionale; in particolare i clasti poligenici derivano dalla disgregazione della (Panchina). **Questo orizzonte si presenta generalmente moderatamente addensato e con spessori medi di ordine metrico (da 1 a 3 m), che localmente può arrivare a spessori maggiori di 5 m o risultare localmente assente;** i livelli ghiaioso-sabbiosi si presentano invece in genere più spessi con spessore di ordine plurimetrico. Come accennato in precedenza, dati i diversi domini deposizionali cui insiste l'area di intervento, questo orizzonte presenta caratteristiche costituzionali e di giacitura discretamente eterogenee, risultando pseudo-litoide (calcarenite) nella parte nord-orientale della *Diga Nord a scogliera* (Sondaggio ID26-S17) e sabbioso-limoso con o senza clasti poligenici calcarenitici nella parte centra della *Diga Nord e Sud a palancole e scogliera e nella Diga Nord tratto testata*. Nel margine Sud-orientale della *Diga Nord a scogliera* e nel margine settentrionale della *Diga Nord tratto testata*, al posto della sabbia calcarenitica è presente ghiaia sabbioso-limosa. Nel margine meridionale della *Nuova diga della Meloria a scogliera* questo orizzonte è assente, pertanto vi è contatto diretto tra l'Orizzonte superiore olocenico e l'orizzonte inferiore pleistocenico medio.

Il tetto di questa unità è posto a quota variabile da -10.0 a -16.5 m s.l.m. mentre il letto è posto a quota da circa -15 a circa -19 m s.l.m.; essa può corrispondere all'Unità 2 definita dallo studio del CNR del 2018.

Nella figura seguente è visibile una foto del litotipo caratteristico di questo orizzonte:



Figura 18: Sondaggio ID26-S17; calcarenite semi-litoide e contatto con l'Orizzonte superiore al tetto



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.



Figura 19: Sondaggio ID10-S08; sabbia fine con clasti calcarenitici (color nocciola/ocra/avana)

**Orizzonte inferiore (Pleistocene medio):** Sabbie da medie a fini limose, alternate a livelli limoso-sabbiosi e argilloso-limosi, di colore grigio piombo e con orizzonti plurimetrici di ghiaia eterometrica sabbioso-limosa. Questo orizzonte si presenta da moderatamente addensato ad addensato nei livelli incoerenti a generalmente consistente nei livelli coesivi. Dal punto di vista deposizionale i sedimenti sabbioso limosi con resti di bivalvi sono ascrivibili ad un ambiente deposizionale costiero con batimetrie variabili da 0 a 20 m; diversamente, per i sedimenti più fini argilloso-limosi sono ipotizzabili batimetrie più profonde (non oltre i 50 m di profondità). Diversamente, i sedimenti ghiaioso-sabbiosi poligenici risultano correlabili a episodi di deposizione fluviale di antichi paleoalvei o conoidi fluviali che trasportarono materiale dall'antico entroterra livornese-pisano. **Questa unità può corrispondere all'Unità 1 definita dallo studio del CNR del 2018.**

In generale in tutta l'area di indagine della Fase 1 questo orizzonte può essere suddiviso in almeno tre sub-orizzonti litostratigrafici, di seguito elencati dal superiore (più recente) all'inferiore (più antico):

**Sub-Orizzonte 1, da circa -15/-19 m s.l.m. a circa -19/-30 m s.l.m.:** Sabbia fine limoso-argilla alternata a livelli limoso-sabbiosi/argillosi con resti di bivalvi, generalmente moderatamente addensata, color grigio piombo; localmente passante lateralmente a ghiaia medio-fine poligenica e argilla limosa con intercalazioni di sabbia fine.

Nella figura seguente è visibile una foto del litotipo caratteristico di questo orizzonte:

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

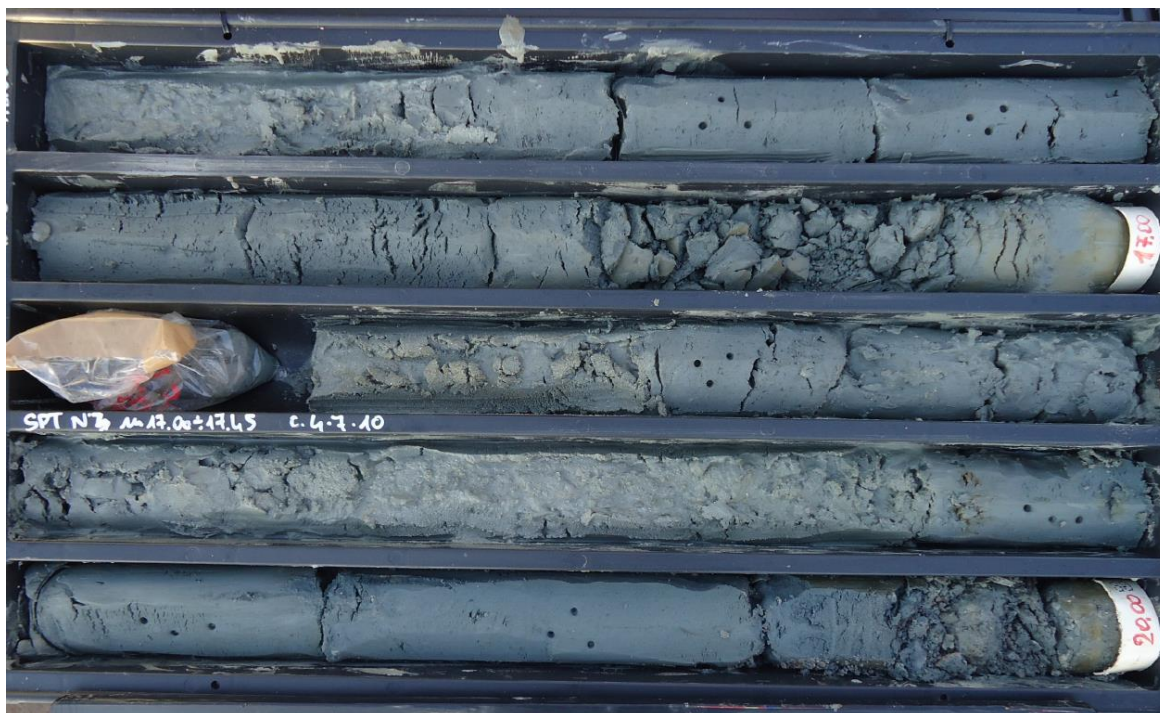


Figura 20: Sondaggio ID14-S10; sabbie e limi color grigio piombo

**Sub-Orizzonte 2, da circa -19/-30 m s.l.m. a circa -30/-39 m s.l.m.:** Alternanze di ghiaia medio-grossa-fine sabbioso-limoso da poligenica a prevalentemente calcarea e sabbie e limi argillosi, passante lateralmente a livelli più fini di limi e argille sabbiose; i livelli più grossolani ghiaioso-sabbiosi si presentano generalmente addensati, mentre i livelli limoso-argilloso/sabbiosi si presentano generalmente consistenti nelle componenti coesive e moderatamente addensati nelle componenti incoerenti.

Questo orizzonte si presenta discretamente eterogeneo nell'area della Nuova Piattaforma Europa, risultando generalmente più grossolano (ghiaioso-sabbioso/limoso) nella parte centro settentrionale della Diga a Nord a Scogliera e nella Diga Nord a Palancole e scogliera; nella Diga Nord tratto testata, nel margine meridionale della Nuova Diga della Meloria e nella Diga Sud prevalgono invece litologie più fini limoso-argillose/sabbiose.

Nelle figure seguenti è visibile una foto dei litotipi caratteristici di questo orizzonte:

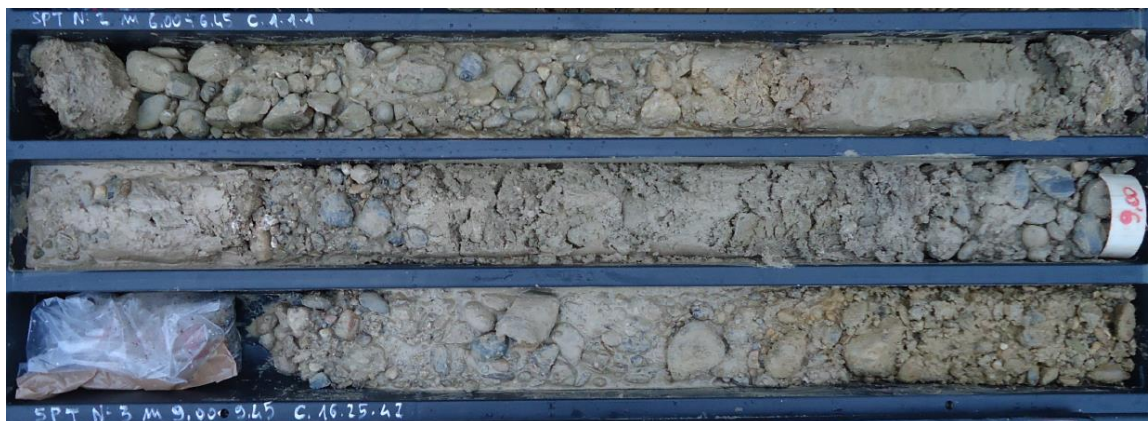


Figura 21: Sondaggio ID09-S07; alternanze di ghiaia medio-grossa e sabbia medio-fine limosa, color avana



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.



Figura 22: Sondaggio ID56-S06; argilla limosa con intercalazioni di sabbia fine, grigia

**Sub-Orizzonte 3, da circa -30/-39 m s.l.m. a circa -47/-68 m s.l.m.:** Sabbia da medio-fine a fine, con livelli argilloso-limosi e resti di bivalvi; generalmente addensata, localmente moderatamente addensata; si tratta di un orizzonte discretamente continuo e omogeneo nell' area di indagine, che presenta all'interno strati con spessore pluri-metrico argilloso-limosi/sabbiosi consistenti; in prossimità della *Diga Nord a Scogliera* lo strato argilloso sabbioso/limoso si presenta continuo con spessori variabili da 5 a 12 m.

Nella figura seguente è visibile una foto del litotipo caratteristico di questo orizzonte:



Figura 23: Sondaggio ID01-S01,; argilla sabbiosa fine, grigia

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

**Si pone l'attenzione sul fatto che l'Orizzonte più superficiale di riporto, di cui si dà riscontro nell'inquadramento litostratigrafico dell'area del "Terrazzo di Livorno", risulta sostanzialmente assente nel bacino di realizzazione della nuova PE.**

Le quote assolute riferite al l.m.m. dei diversi orizzonti individuati nel modello geologico, hanno valore indicativo in quanto sia la potenza dei singoli strati che la giacitura risulta discretamente variabile all'interno dell'area di progetto della Piattaforma Europa; questo è dovuto sia alla notevole estensione dell'area sia, come già menzionato in premessa, alla collocazione dell'area in una zona di transizione tra un'area caratterizzata da ambiente deposizionale alluvionale o di colmata, corrispondente al margine meridionale della Pianura alluvionale di Pisa, e il dominio del "Terrazzo di Livorno" dove predominavano ambienti deposizionale di tipo litorale e costiero.

Alla luce di questa premessa, per dare un quadro più completo e chiaro dell'assetto litostratigrafico e del modello geologico del sottosuolo sono state redatte n. 6 sezioni geologiche (sezioni A-A,B-B,C-C,D-D,E-E,F-F), riportate in n. 3 Tavole (Codice elaborato 1233\_PD-B-102\_0, 1233\_PD-B-103\_0 e 1233\_PD-B-104\_0). Queste sezioni rappresentano una integrazione alle sezioni redatte in fase di progettazione preliminare, e sono così sintetizzabili:

Sezione A-A: traccia compresa tra la Diga Nord a massi naturali (WBS 2b), la Diga Nord Darsena (WBS3) e l'argine colmata ingresso e bacino interno (WBS 4a e 4b), con direzione parallela alla WBS 2b da SW verso NE.

Sezione B-B: traccia longitudinale al canale di ingresso con dragaggio a -16 e -17 m s.l.m, con direzione da SSW a NE.

Sezione C-C: traccia con direzione da NW a SE, che attraversa la Diga Nord a massi naturali (WBS 2 b), l'argine di colmata (WBS 4a ) e il canale di ingresso con dragaggio a -16 m slm.

Sezione D-D: traccia con direzione da WNW a ESE, che attraversa il canale di dragaggio a -17 m slm in prossimità del suo margine meridionale.

Sezione E-E: traccia con direzione da WNW a ESE, che attraversa il canale di dragaggio a -17 m slm in prossimità del suo margine meridionale.

Sezione F-F: traccia coincidente con l'Argine colmata ingresso e l'Argine colmata bacino interno (WBS 4a e 4b).

Come già indicato, in fase di progettazione preliminare erano state redatte n. 4 sezioni geologiche (Codice elaborato 1233\_PP-B-102\_0), così sintetizzabili:

Sezione 1: traccia su parte del sedime della Diga Nord a scogliera, tra il Sondaggio ID26-S17 e il sondaggio ID02-S02

Sezione 2: traccia su parte del sedime della Diga Nord e della Nuova Diga della Meloria, tra il Sondaggio ID02-S02 e la prova penetrometrica CPTU ID55 – CPTU26.

Sezione 3: traccia su sedime della Diga Nord e della Diga Sud a palancole e scogliera, tra il Sondaggio ID01-S01 e il sondaggio ID12-S09

Sezione 4: traccia ortogonale al sedime della Diga Nord a scogliera e parallela al sedime della Diga Nord e Diga Sud a Palancole e Scogliera, compresa tra il sondaggio ID26-S17 e il sondaggio ID16-S12.

Nella figura seguente è riportata traccia di tutte le sezioni geologiche redatte :

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

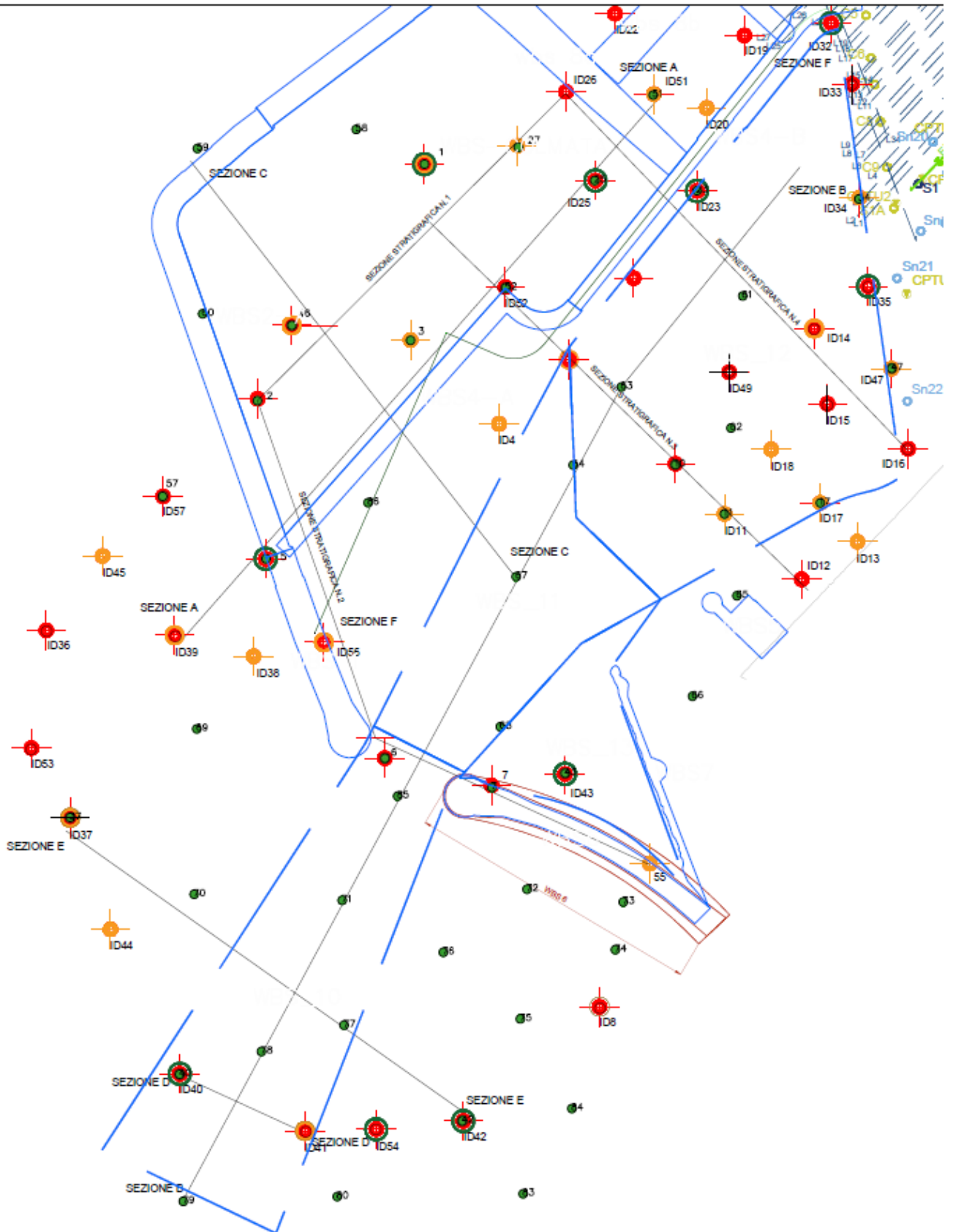


Figura 24 Schema planimetrico con traccia delle sezioni geologiche



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

Nella Figura 25 è visibile un'indicazione degli orizzonti geologici indicati nel modello geologico all'interno delle sezioni geologiche; nelle sezioni viene anche indicato, rispettivamente con una linea tratteggiata e con una linea continua, la base dell'orizzonte superiore Olocenico (limi con resti di bivalvi) e la base dell'orizzonte intermedio, generalmente più addensato e ascrivibile al Pleistocene Superiore.

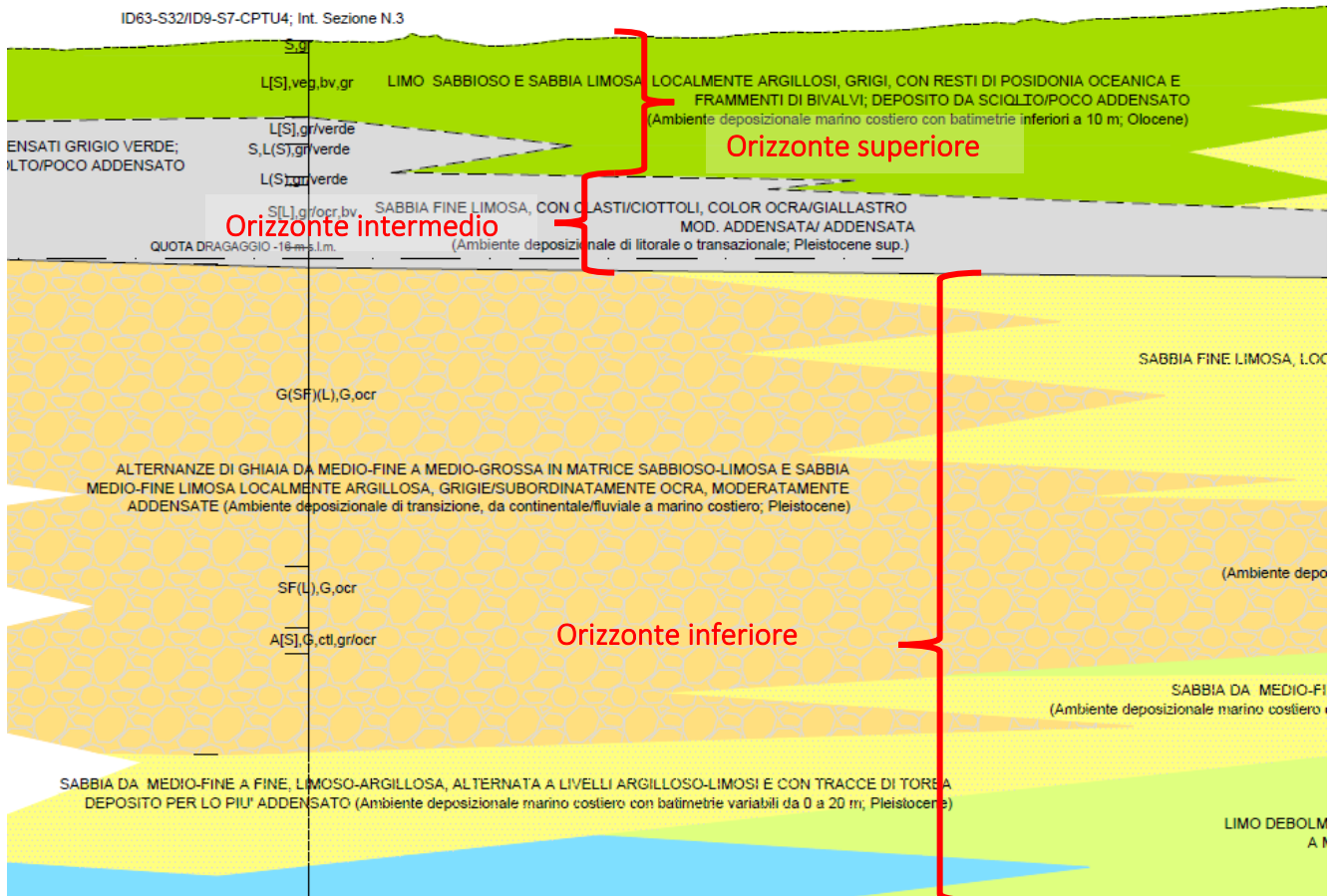


Figura 25: Indicazione degli orizzonti geologici di cui al modello geologico nelle sezioni stratigrafiche – Elaborato 1233\_PD-B-102\_0



Base dell'Orizzonte Superiore (Olocene), caratterizzato prevalentemente da limi da sciolti a poco addensati con resti di bivalvi e di posidonia oceanica



Base dell'Orizzonte Intermedio (Pleistocene superiore), caratterizzato prevalentemente dalla presenza di sabbia medio-fine da moderatamente addensata ad addensata di color ocra/avana con clasti calcarenitici (panchina)

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

### 8.3 INDIVIDUAZIONE DEL TETTO DEL SUBSTRATO GEOLOGICO NATURALE COSTITUTIVO DELL'AREA

Per "tetto del substrato geologico naturale costitutivo dell'area" si intende il limite superiore del primo orizzonte geologico per il quale si possa escludere qualunque contaminazione antropica.

Nello specifico, l'individuazione del tetto del substrato geologico naturale costitutivo dell'area è stata fatta sia sulla base di un criterio stratigrafico, sia sulla base dell'età del deposito.

Con riferimento allo studio del CNR-2008, il primo criterio di tipo stratigrafico porta ad escludere, per ovvi motivi, l'orizzonte antropico superficiale (Unità 4), che peraltro risulta sostanzialmente assente nell'area in esame.

Il secondo criterio, di tipo cronologico, porta precauzionalmente ad escludere anche l'orizzonte inferiore generalmente costituito da limo-sabbioso con abbondanti resti di Posidonia (Unità 3), depositosi in epoca Olocenica ma i cui livelli più superficiali si sono depositi in epoca storica e che in larga parte dell'area rappresenta il primo livello della successione e quindi il più vulnerabile alla contaminazione.

Non si può escludere infatti che, data la natura generalmente da poco stabile a mobile dei sedimenti superficiali di fondale che costituiscono questa unità, caratterizzata da un grado di addensamento generalmente basso, non vi sia stato un rimescolamento all'interno del deposito tra gli orizzonti più profondi di età pre-storica (ovvero Olocenica, da circa 12.000-10.000 anni fa a 3.500 anni a.c.) e gli orizzonti più superficiali depositatisi in epoca storica (da 3.500 a.c. ad oggi). In sintesi, per l'orizzonte più superficiale e recente, appare cautelativo non escludere a priori la possibilità di una contaminazione di tipo antropico.

Nell'area di studio il tetto del "substrato geologico naturale costitutivo dell'area" può quindi, in linea generale, essere ragionevolmente individuato alla base dell'Unità Olocenica di cui sopra (Unità 3), ovvero al tetto dell'unità depositatasi nel Pleistocene superiore (Unità 2), costituita generalmente da Sabbia medio-fine, da moderatamente addensata ad addensata, di color ocra/avana, con clasti calcarenitici/poligenici "panchina" passante localmente lateralmente a ghiaia sabbioso-limosa.

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto definitivo	RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.

### 8.3.1 Profondità tetto del substrato geologico naturale costitutivo dell'area

L'indagine a mare eseguita nell'ambito del progetto preliminare della Fase 1, conclusasi in data 24/10/2019, ha sostanzialmente confermato la presenza più o meno continua di alcune delle unità indicate nell'inquadramento generale di cui sopra, tuttavia notevolmente complicata dal contesto deposizionale specifico dell'area.

Essa infatti si trova in una zona di transizione tra un'area caratterizzata da ambiente deposizionale alluvionale o di colmata, corrispondente al margine meridionale della Pianura alluvionale di Pisa, e il dominio del "Terrazzo di Livorno" dove predominavano ambienti deposizionale di tipo litorale e costiero e dove è presente un livello più o meno continuo di panchina (sabbie calcarenitiche).

Nell'ambito sedimentologico della Piattaforma Europa, le indagini geognostiche hanno confermato la sostanziale assenza dell'orizzonte antropico superficiale. Il primo orizzonte stratigrafico direttamente a contatto con possibili impatti di origine antropica è quindi rappresentato dall'orizzonte superiore olocenico, generalmente ricco in resti di posidonia oceanica, cui segue alla base l'orizzonte del pleistocenico sabbioso-ghiaioso con clasti calcarenitici, color ocra/avana.

Al fine di valutare lo spessore dei diversi orizzonti litostratigrafici che costituiscono il sottosuolo in esame, sono state ricostruite delle sezioni geologiche lungo le tracce indicate nello schema planimetrico di Figura 24 redatte sulla base di tutte le verticali di indagine disponibili (quindi sia sondaggi geognostici da piattaforma, prove CPTU/DMT e sondaggi con vibrocorer). Nella figura vengono indicate in fucsia le tracce delle sezioni redatte in fase di progettazione preliminare e in rosso le tracce delle nuove sezioni redatte in sede di progettazione definitiva.

Nelle figure successive vengono riportati alcuni estratti da suddette sezioni, dove viene marcata la base dell'orizzonte olocenico superiore, che può essere considerato come il tetto del "substrato geologico naturale costitutivo dell'area". In particolare si osserva come, nelle sezioni A e B aventi un andamento longitudinale rispetto al progetto della nuova PE, il tetto del **substrato geologico naturale (da ora SGN)** abbia una giacitura in contropendenza rispetto all'andamento del fondale, ovvero tenda a diminuire la sua profondità procedendo dal Nord-Est (area portuale) a Sud-Ovest.

Osservando la Sezione A, la profondità media del tetto del SGN risulta dell'ordine di 4 m, con un range di profondità variabile da un minimo di circa 1-2 m nel margine sud-occidentale della sezione ad un massimo di circa 6/7 m in prossimità del margine nord-orientale, verso l'area portuale.

Nella Sezione B, il tetto del SGN risulta pressochè sub-affiorante nei settori sud-occidentali, con valori medi di circa 1-3 m nei settori centrali e con valori massimi dell'ordine di 4/6 m nei settori prossimi all'area portuale esistente.

La sezione D, essendo posta in prossimità del margine sud-occidentale dell'"autostrada del mare" (asse di dragaggio a -17 m s.l.m.), evidenzia un andamento sub-affiorante del tetto del SGN.

Le sezioni E C, conferma valori del tetto del SGN variabili media variabili da 1-2 m a 4 m, localmente valori più alti dell'ordine di 6-7 m.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

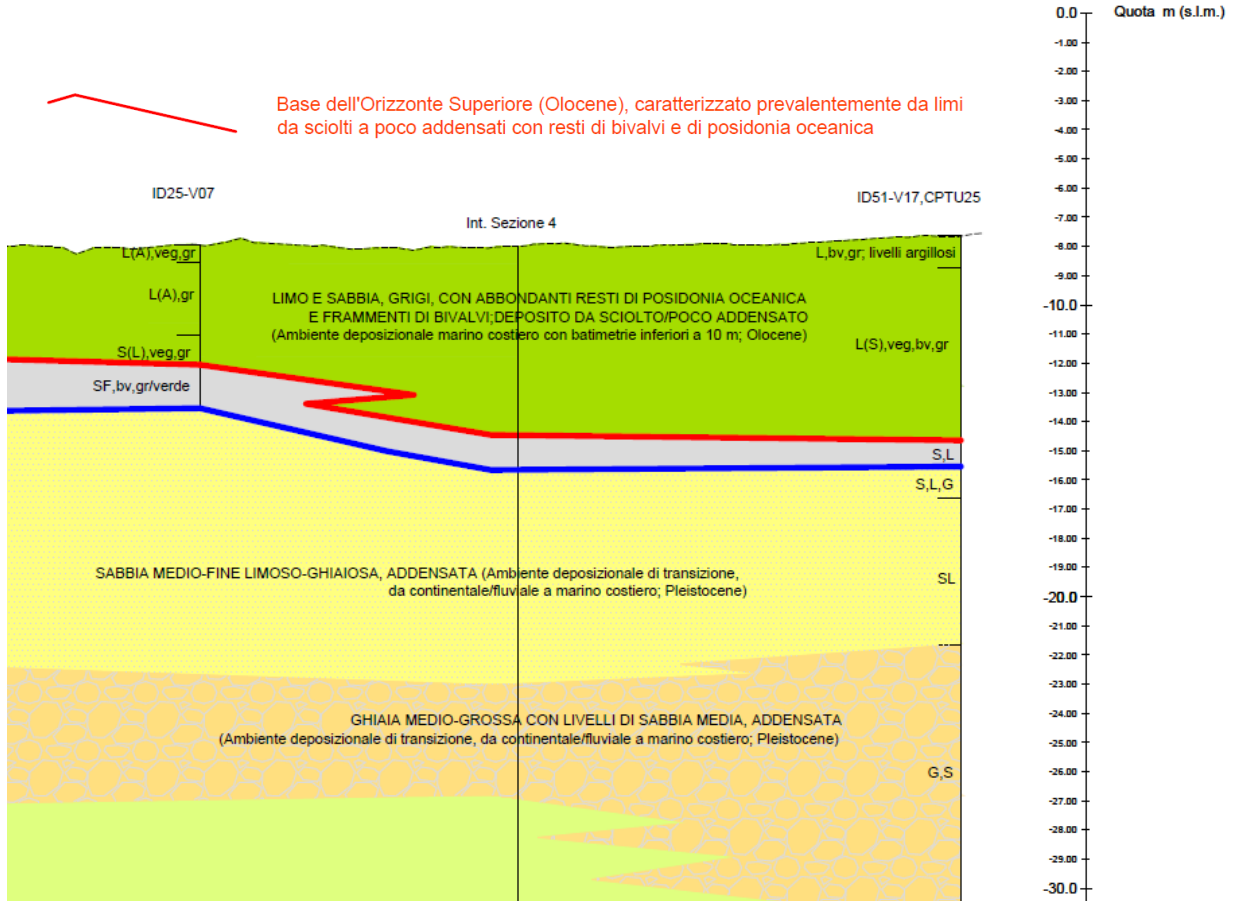
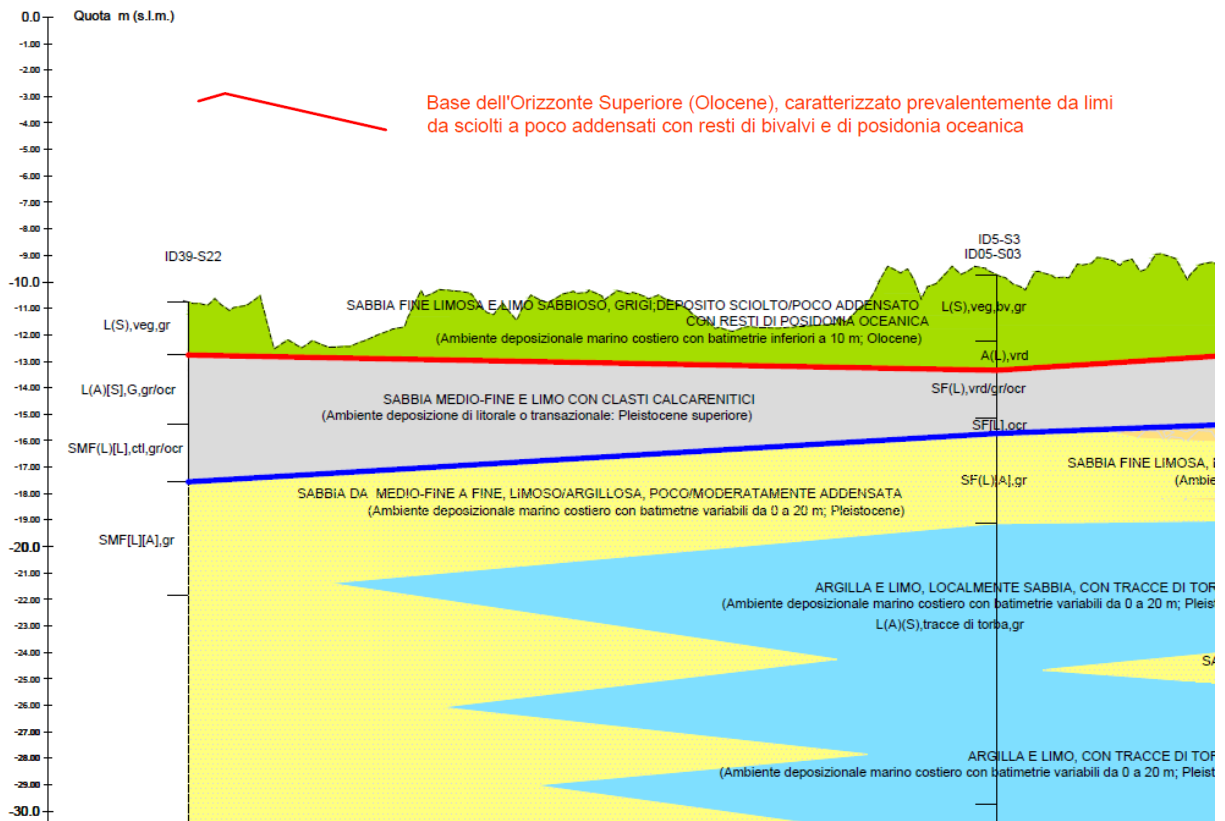


Figura 26: Estratti dalla Sezione geologica A, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa)

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

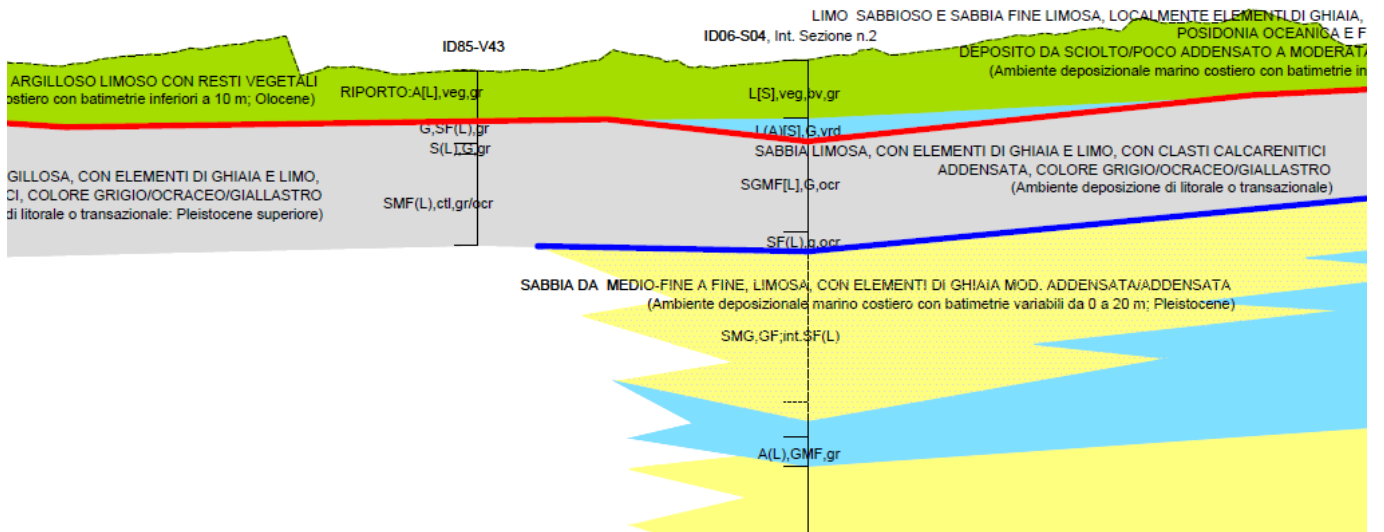
Livello progettazione:

Progetto definitivo

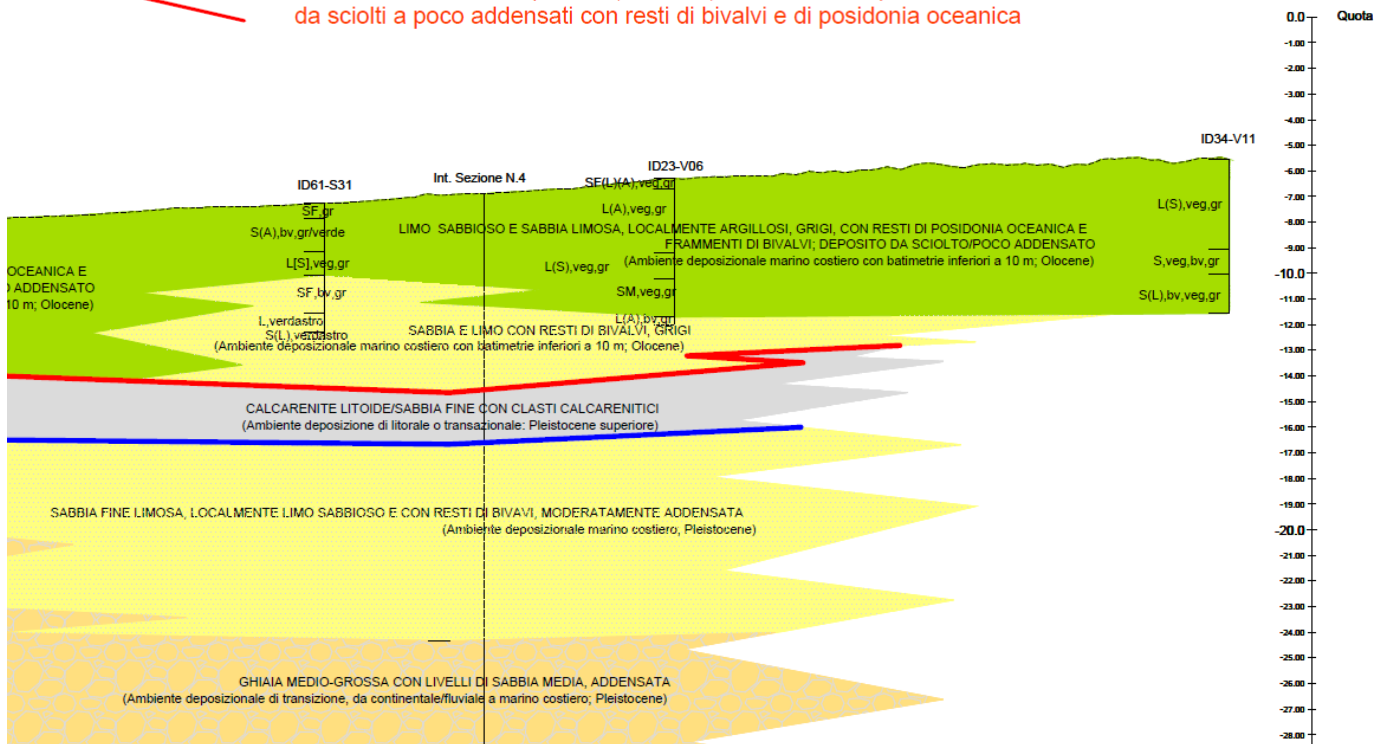
Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.



Base dell'Orizzonte Superiore (Olocene), caratterizzato prevalentemente da limi da sciolti a poco addensati con resti di bivalvi e di posidonia oceanica



Base dell'Orizzonte Superiore (Olocene), caratterizzato prevalentemente da limi da sciolti a poco addensati con resti di bivalvi e di posidonia oceanica

Figura 27: Estratti dalla Sezione geologica B, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa)



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

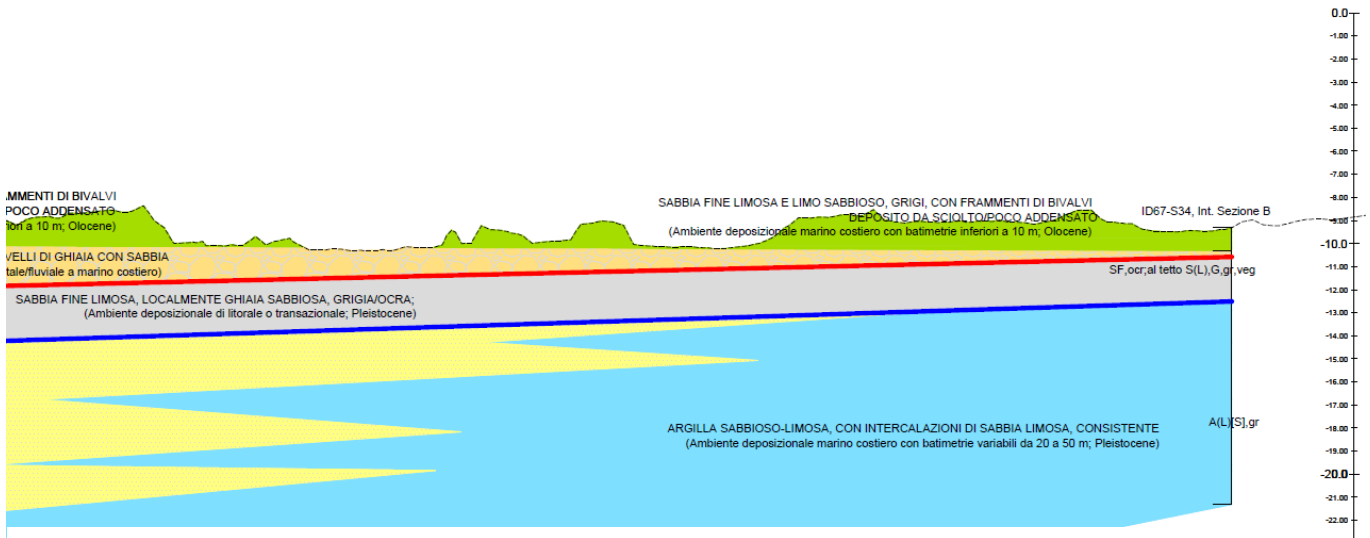
Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

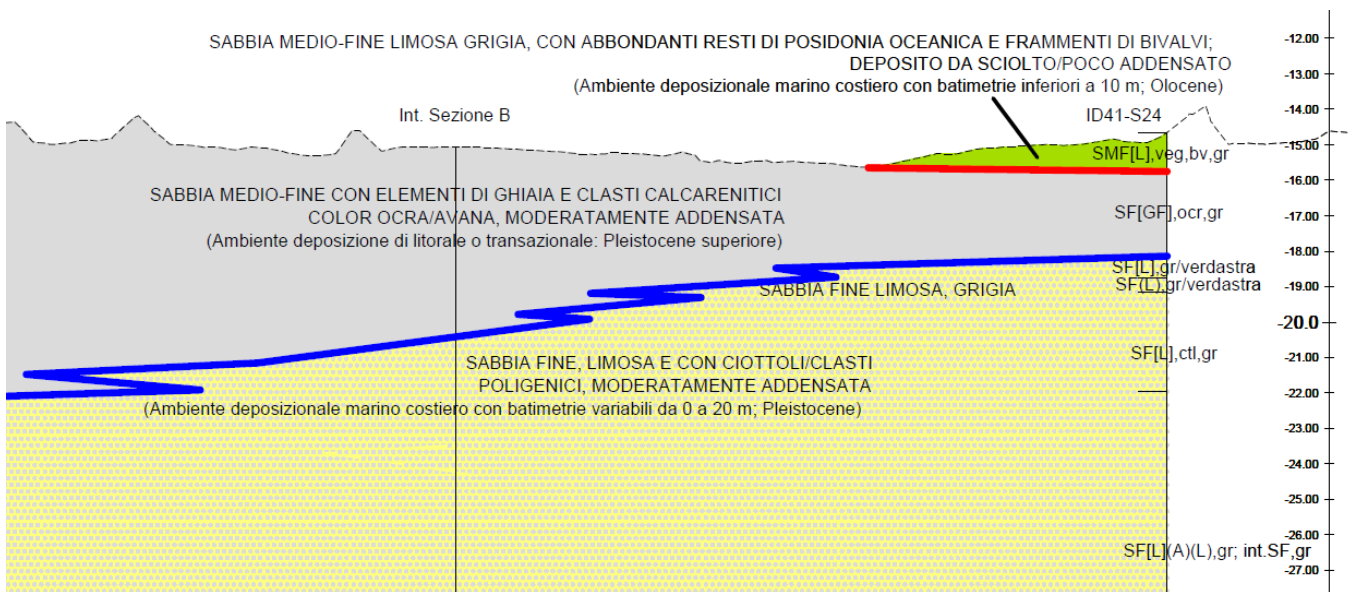
RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.



Base dell'Orizzonte Superiore (Olocene), caratterizzato prevalentemente da limi da sciolti a poco addensati con resti di bivalvi e di posidonia oceanica

Figura 28: Estratto dalla Sezione geologica C, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa)



Base dell'Orizzonte Superiore (Olocene), caratterizzato prevalentemente da limi da sciolti a poco addensati con resti di bivalvi e di posidonia oceanica

Figura 29: Estratto dalla Sezione geologica D, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa)

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

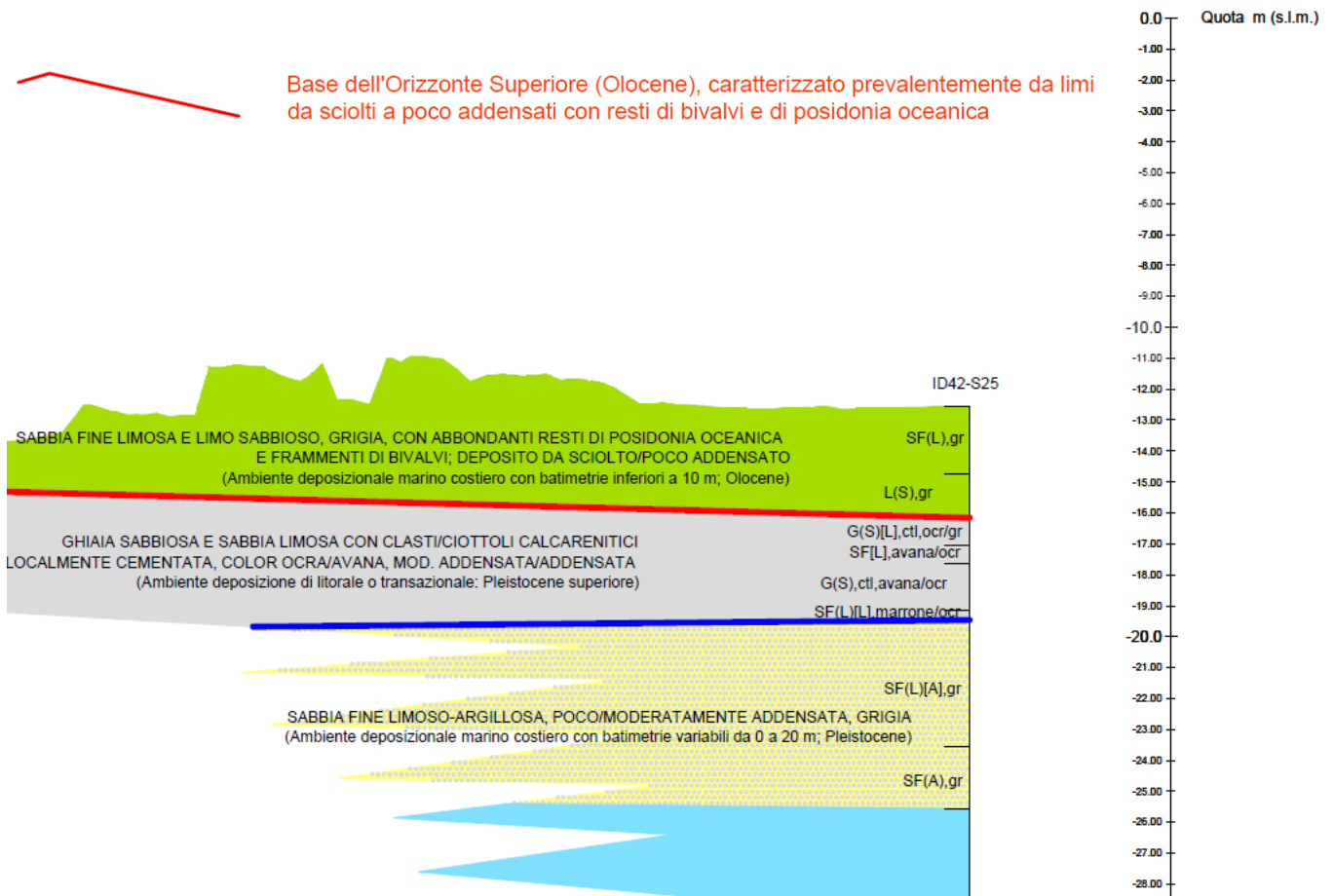


Figura 30: Estratto dalla Sezione geologica E, con evidenza del tetto del SGN (linea rossa)

<b>Progetto:</b> Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	<b>Livello progettazione:</b> Progetto definitivo	<b>Elaborato:</b> RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------

Sulla base di dati geognostici, nell'area di progetto il tetto del SGN giace ad una profondità media di circa 3-4 m, con settori posti in direzione Sud-Ovest dove può avere profondità inferiore al metro o risultare addirittura sub-affiorante. In alcuni settori, prossimi all'area portuale di Livorno, il tetto del substrato geologico naturale giace a profondità massime dell'ordine di 6-7 m.

Ne consegue che le indagini ambientali previste per il Piano di Caratterizzazione e finalizzate a verificare la potenziale contaminazione negli strati superficiali possono essere considerati ampiamente rappresentativi se raggiungono profondità dell'ordine di 6 m dal fondale.

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

#### 8.4 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE DEI TERRENI

Durante le fasi di indagine mediante perforazione a carotaggio continuo, all'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite in totale n. 17 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile, finalizzate alla valutazione del Coeff. di permeabilità medio dei sedimenti indagati.

Dai risultati ottenuti è quindi possibile associare ai diversi orizzonti individuati nel modello geologico, seppure in linea generale e con un certo margine di approssimazione, un dato medio di permabilità.

La tabella seguente riepiloga i risultati delle prove, individuando la natura litologia del tratto di prova e l'orizzonte stratigrafico di riferimento.

ID	SCC	Prof. rivestimenti e foro di prova	$K_{\text{medio}}$ (m/s)	Natura litologica tratto di prova	Orizzonte geologico di riferimento
2	S02	11.0-12.0 m	$2.3 \times 10^{-5}$	Ghiaia sabbioso-limosa	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 1)
5	S03	6.0-6.0 m	$3.0 \times 10^{-6}$	Sabbia fine limosa/argillosa	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 1)
5	S03A	11.5-13.0 m	$4.2 \times 10^{-6}$	Limo argilloso/sabbioso	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 2)
10	S08	6.0-6.0 m	$1.6 \times 10^{-6}$	Sabbia medio-fine limosa	Orizz. intermedio
15	S11	6.0-6.5m	$2.4 \times 10^{-5}$	Sabbia fine limosa	Orizz. Superiore
16	S12	3.0-4.5	$9.6 \times 10^{-7}$	Sabbia limosa limosa/limo	Orizz. Superiore
16	S12	10.5-12.0	$4.2 \times 10^{-6}$	Sabbia limosa, argilla limosa	Orizz. Intermedio e sub-orizzonte 1
16	S12	18.0-19.5	$8.1 \times 10^{-6}$	Sabbia fine limosa	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 1)
16	S12	27.5-29.0	$6.0 \times 10^{-6}$	Argilla limosa e sabbia	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 1)
16	S12	40.5-42.0	$1.7 \times 10^{-5}$	Sabbia debolmente limosa	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 2)
16	S12	47.0-48.5	$1.6 \times 10^{-5}$	Sabbia limosa	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 3)
16	S12	28.0-29.5	$2.7 \times 10^{-6}$	Limo passante a sabbia fine	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 2)
16	S12	41.5-43.0	$1.6 \times 10^{-6}$	Argilla sabbiosa	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 3)
16	S12	47.5-49.0	$1.6 \times 10^{-6}$	Argilla debolmente sabbiosa	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 3)
16	S12	4.0-5.0	$6.6 \times 10^{-6}$	Sabbia debolmente limosa	Orizz. superiore
16	S12	10.0-11.0	$5.8 \times 10^{-6}$	Limo con sabbia	Orizz. Inferiore

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

					(sub-orizzonte 1) (sub-orizzonte 1)
16	S12	9.0-10.0	$1.6 \times 10^{-6}$	Sabbia debolmente limosa	Orizz. Inferiore (sub-orizzonte 1)

Come si può notare dalla tabella di sintesi delle permeabilità, a litologie marcatamente diverse non corrisponde una altrettanta diversificazione nei valori di Coeff. di permeabilità e questo è probabilmente relazionabile alla medio-alta percentuale pelitica nei sedimenti, che andando a saturare i vuoti anche nelle litologie più granulari (sabbia, ghiaia) influisce sul valore finale di porosità efficace del mezzo e quindi sui processi di circolazione idrica nello stesso.



Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## 8.5 COMPOSIZIONE GRANULOMETRICA DEI SEDIMENTI

Allo stato attuale sono disponibili i risultati delle curve di distribuzione granulometrica valutate su tutti i punti di indagine sia ambientale che geotecnica, nei campioni prelevati negli intervalli di profondità compresi tra 0 e al massimo 12-15 m, per un totale di 164 campioni.

Dato che ai fini della gestione dei sedimenti per ripascimento è importante conoscere la percentuale di pelite ( $\phi < 0.063$  mm), ovvero della frazione granulometrica riferibile alla componente limosa e argillosa nel sedimento, è stata eseguita una analisi statistica di tale percentuale dividendo l'intervallo di profondità 0-12 m in orizzonti di profondità prestabiliti 0-50 cm, 50-100 cm, 100-200 cm, 200-400 cm, e a seguire con intervalli di 200 cm fino a fine carotaggio. Complessivamente sono state analizzate n .164 curve granulometriche.

La tabella seguente sintetizza, per ciascun orizzonte, la percentuale media di componente pelitica suddivisa per i diversi orizzonti selezionati, nonché la distribuzione granulometrica all'interno dei sedimenti (Ghiaia, sabbia, peliti (limo e argilla)).

Profondità orizzonte (cm da fondale)	Peliti % $\phi < 0,063$ mm	% Non pelitica	Peliti (limo e argilla)	Sabbia		Ghiaia
			% $\phi < 0,063$ mm	% $0,063 < \phi < 1$ mm	% $1 < \phi < 2$ mm	% $\phi > 2$ mm
0-50	38.0	62.0	38.0	47.1	2.7	12.3
50-100	37.8	62.2	37.8	47.2	2.7	12.3
100-200	37.7	62.3	37.7	47.0	2.7	12.5
200-400	39.2	60.8	39.2	47.9	2.4	10.5
400-600	38.9	61.1	38.9	47.8	2.4	10.9
600-800	40.1	59.9	40.1	48.9	2.3	8.7
800-1000	40.4	59.6	40.4	50.2	2.2	7.2
1000-1500	45.7	54.3	45.7	42.3	2.1	9.9
400 - Fine carotaggio	40.7	59.3	40.7	48.2	2.3	8.8

Da questo studio risulta che la percentuale pelitica, per tutti gli orizzonti, risulta mediamente superiore al 10% e inferiore al 50%, attestandosi mediamente su valori dell'ordine del 38% per i sedimenti presenti nell'intervallo di profondità 0-6 m, e dell'ordine del 40-45% per i sedimenti più profondi.

Risulta inoltre evidente, soprattutto per gli orizzonti presenti nell'intervallo di profondità 0-6 m, come esista una discreta uniformità nella distribuzione granulometrica.

Nel complesso quindi, il sedimento di futuro scavo o dragaggio risulta costituito sempre da una frazione sabbiosa prevalente (circa il 50 % della composizione granulometrica), una subordinata frazione pelitica (limo e argilla; mediamente 40 %), ed una restante e minoritaria componente ghiaiosa-ciottoli (granulometrica dell'ordine del 10 %).

Anche l'elaborazione delle granulometrie dei campioni prelevati nel corso della più recente campagna di caratterizzazione eseguita ai sensi del D.M. 173/2016, propedeutica alla gestione dei sedimenti che saranno scavati, conferma quanto osservato nell'indagine del 2019 sopra descritta. In questo caso sono stati analizzati circa 350 campioni, distribuiti fino alla massima profondità di 6 m. I sedimenti compresi nei primi 6 metri dal fondale sono caratterizzati da una distribuzione granulometrica uniforme, con una

<p>Progetto:</p> <p>Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale</p>	<p>Livello progettazione:</p> <p>Progetto definitivo</p>	<p>Elaborato:</p> <p>RELAZIONE GEOLOGICA</p> <p>1233_PD-B-001_3.</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

frazione sabbiosa prevalente (tra il 53 e il 54%), una subordinata frazione pelitica (limo e argilla; mediamente 38 %), ed una restante e minoritaria componente ghiaiosa-ciottoli (granulometrica dell'ordine del 8-9 %). Per i dettagli si veda l'elaborato 1233\_PD-B-105 "Rappresentazione della distribuzione delle classi granulometriche"

Progetto: Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Livello progettazione: Progetto definitivo	Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	-----------------------------------------------------------

## 8.6 RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE A MARE

Nei mesi di Agosto e Settembre 2019 la Società Drafinsub Survey ha eseguito dei rilievi geofisici a mare mediante sismica a riflessione tipo boomer plate (SBP), rilievi geomorfologici mediante side scan sonar (SSS) e rilievi batimetrici di dettaglio mediante sistema multibeam (SBES).

In particolare l'indagine sismica a riflessione (SBP) ha permesso di ricostruire lo spessore del primo layer dal fondo (Figura 31), ovvero la profondità in m del Layer 1 dal fondale, e lo spessore del secondo layer (Figura 32) anche in questo caso inteso come profondità della base del Layer 2.

Si pone l'attenzione sul fatto che le superfici di separazione di questi due layer, visibili con il sistema SBP, rappresentano delle superfici riflettenti a separazione di orizzonti stratigrafici a diversa rigidità. Tuttavia questi orizzonti riflettenti possono non necessariamente corrispondere agli orizzonti stratigrafici indicati nel modello geologico, essendo vincolati soprattutto alla reologia del mezzo, cui si aggiunge la problematica connessa con la presenza sia di un battente d'acqua plurimetrico/decametrico sia di sedimenti completamente saturi.

Fatte queste premesse, l'indagine sismica SBP fornisce delle utili informazioni in merito allo spessore della base dei sedimenti poco addensati che costituiscono il fondale di progetto, di età per lo più olocenica, con caratteristiche di resistenza al taglio mediocri ed elevata compressibilità; in linea generale emergono comunque questi aspetti giacitureali del primo orizzonte individuato:

- Lungo la Diga Nord (WS2), nell'area della piattaforma di colmata, nella parte settentrionale del bacino interno di dragaggio e lungo l'area di dragaggio del canale esterno, il layer superficiale meno addensato presenta spessore medio dell'ordine di 4-5 m;
- Nel margine meridionale dalle WS2 a (Diga Nord Accropode) e nella WS1 (Diga Nord), nell'area di dragaggio del canale interno e nella parte centro-meridionale del bacino di dragaggio interno, fino alle vasche di colmata esistenti a Est, lo spessore del layer superficiale risulta dell'ordine medio di circa 2 m;

La base del secondo layer (sempre riferita la fondale marino), che in prima approssimazione potremmo associare alle facies pleistoceniche più addensate, presenta una morfologia più regolare e caratterizzata da un progressivo approfondimento dalla linea di costa attuale verso il mare aperto, con una giacitura avente direzione di immersione circa Sud-Ovest e una pendenza media con un deciso punto di rottura in prossimità della Diga Nord (WBS 1), ovvero:

- nel tratto interno della nuova piattaforma (ovvero indicativamente a Est della WBS1), la pendenza della base del secondo layer risulta dell'ordine del 0.6%, con quota da fondale marino compresa tra 10 e 20 m;
- nel tratto di dragaggio del canale esterno la pendenza di questo livello raddoppia, portandosi anche a valori di 2.5% a ovest della Diga Nord (WBS 1); nel margine a mare del canale di dragaggio esterno la base di questo layer si colloca a profondità maggiori di 30 m dal fondale.

Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

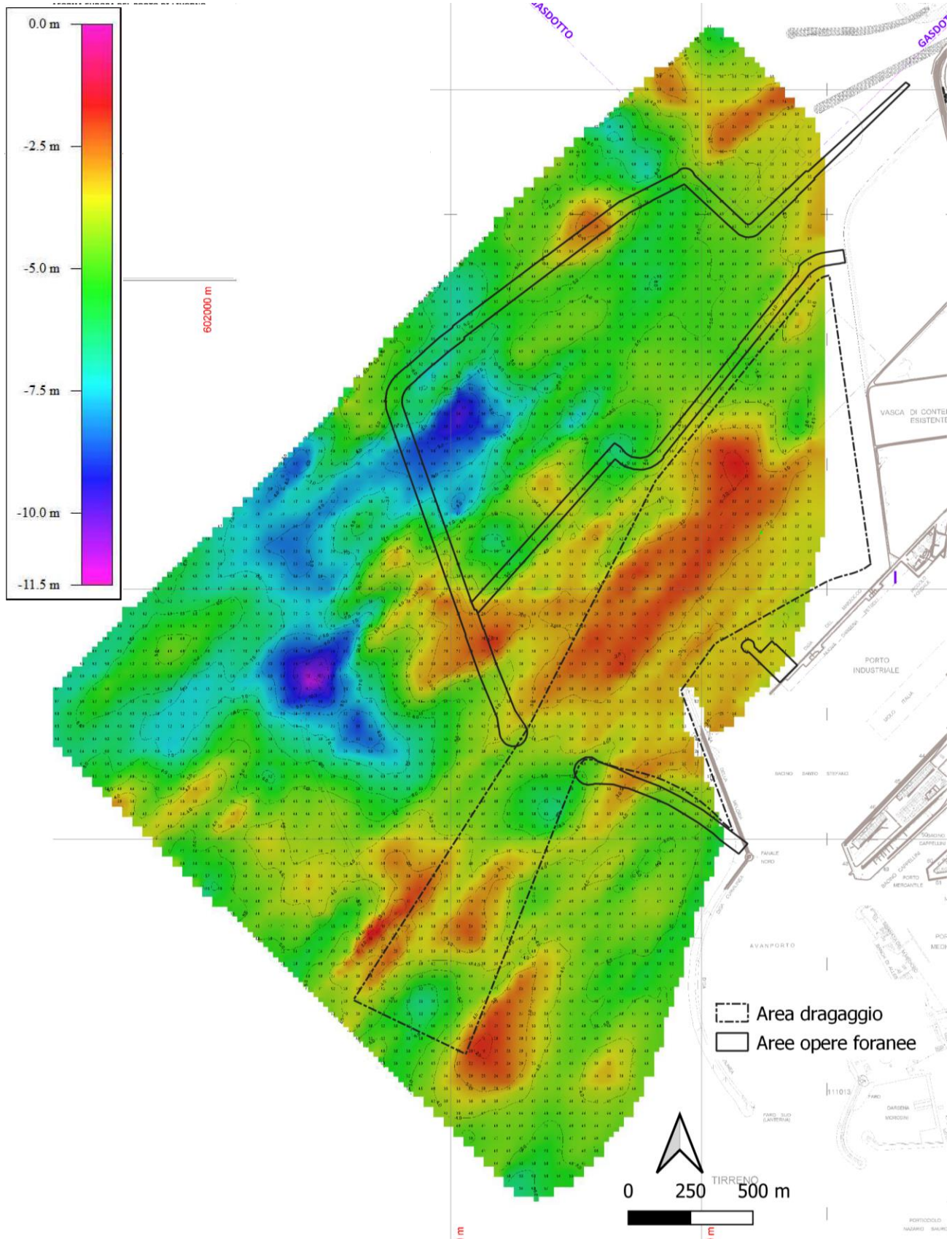


Figura 31: profondità della base del 1<sup>a</sup> layer dal fondo (da rilievo SBP)



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

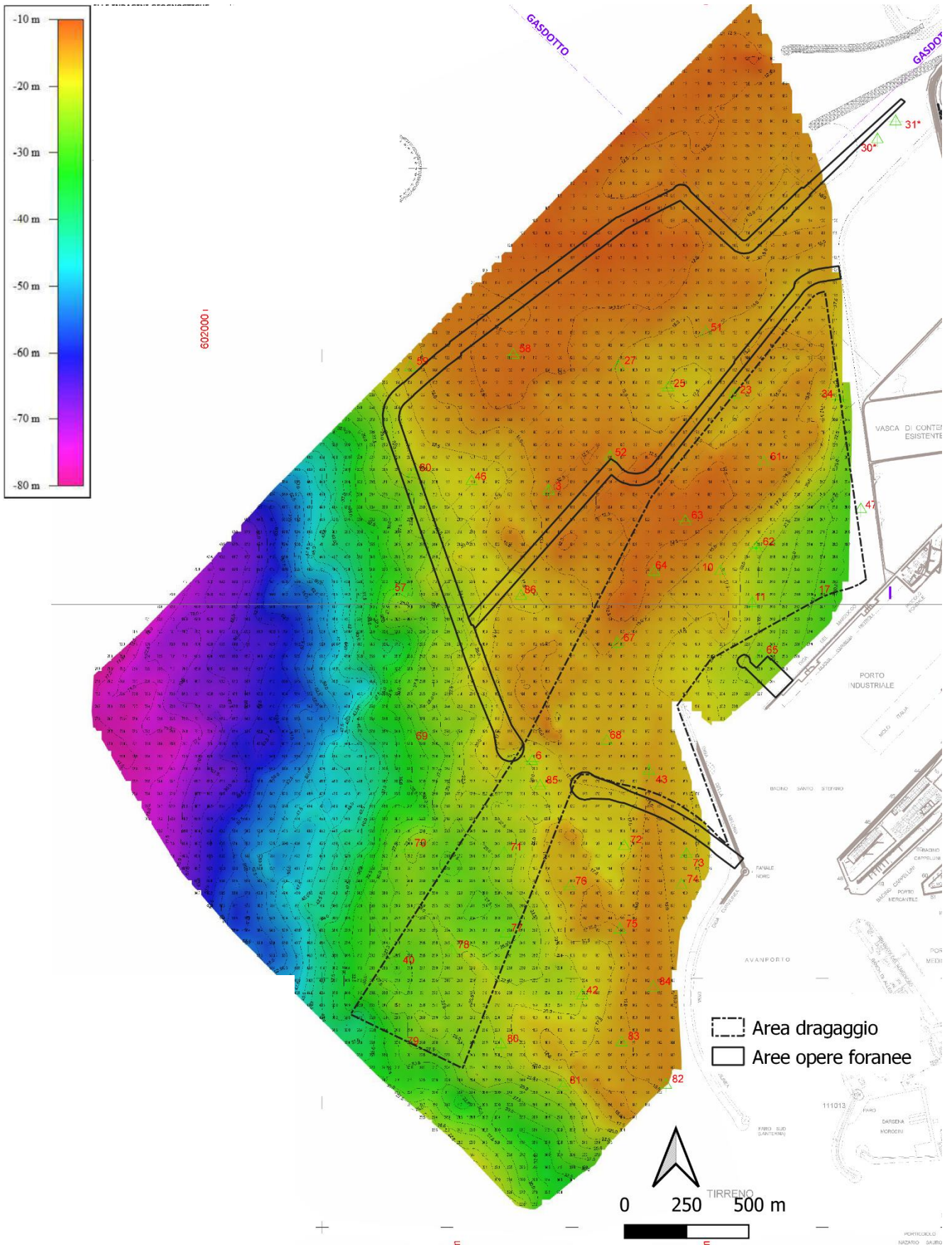


Figura 32: profondità della base del 2<sup>a</sup> layer dal fondo (da rilievo SBP)



Progetto:

Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale

Livello progettazione:

Progetto definitivo

Elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

1233\_PD-B-001\_3.

L'indagine batimetrica SBES restituisce una fondale marino con batimetrie medie, nell'area della nuova piattaforma, comprese tra circa 6 m nel margine verso la linea di costa e circa 10 m in prossimità delle WBS1 e della nuova Diga della Meloria; la carta evidenzia altresì la presenza di diverse incisioni nel fondale marino, particolarmente concentrate nell'area della WBS 4a (Argine canale ingresso), che presentano profondità generalmente di ordine metrico rispetto al livello di base circostante, portando quindi localmente la quota fondale alla -11 m circa s.l.m. Nell'area di dragaggio del canale esterno, la batimetria si attesta a quote comprese tra 12.5 e 15 m s.l.m.

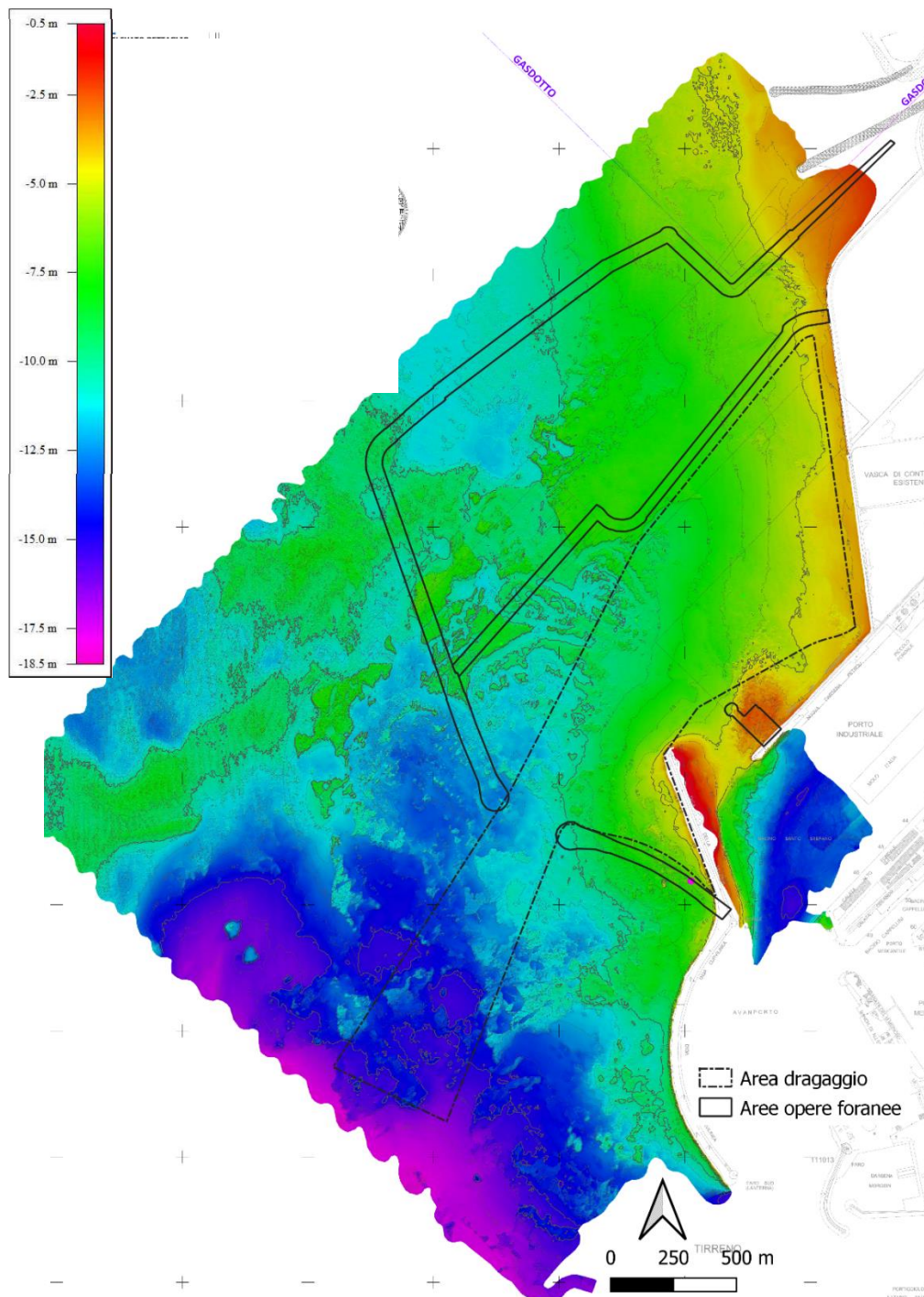


Figura 33: indagine batimetrica, isobate del fondale marino da l.m.m.

Progetto:	Livello progettazione:	Elaborato:
Progettazione preliminare e definitiva delle opere marittime di difesa e dei dragaggi previsti nella nuova prima fase di attuazione della Piattaforma Europa, compreso lo studio di impatto ambientale e la valutazione di incidenza ambientale	Progetto definitivo	RELAZIONE GEOLOGICA  1233_PD-B-001_3.

## 9 CONCLUSIONI IN MERITO ALLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO

Lo studio geologico in essere permette di produrre le seguenti considerazioni su eventuali elementi di pericolosità geologica del sito:

- L'orizzonte superficiale del sottosuolo in esame, il cui tetto corrisponde al fondale marino in essere, risulta costituito da limo da sabbioso a debolmente sabbioso, grigio, con resti di bivalvi e di fanerogame di posidonia oceanica. Lo stesso è caratterizzato da parametri di resistenza al taglio scadenti ed elevata compressibilità, come confermano anche i valori di  $N_{spt}$  registrati in fase di sondaggio, che presentano non di rado valori prossimi all'unità o affondamento per peso proprio.  
 Altresì la presenza di sostanza organica connessa con i resti algali pone numerose incognite sull'entità dei cedimenti secondari, ovvero legati ad un assestamento visco-plastico dello scheletro dei sedimenti, che potrebbero attivarsi con l'applicazione di carichi dall'alto.  
 Pertanto questi sedimenti, che presentano spessore mediamente di 3-4 m, risultano geotecnicamente non idonei all'applicazione di carichi diretti e necessitano quindi di un miglioramento geotecnico idoneo allo scopo, quale la realizzazione di colonne di ghiaia con diametro, passo e lunghezza adeguati o vibrosostituzione dei terreni di fondazione;
- Il miglioramento geotecnico permetterà altresì di minimizzare le problematiche connesse alla potenziale liquefacibilità degli strati sciolti più superficiali;
- Il modello geologico evidenzia una marcata eterogeneità stratigrafica nei terreni di fondazione delle nuove opere, anche legata alle notevoli estensioni delle aree di intervento, che ha come conseguenza una marcata eterogeneità del sottosuolo in termini di parametri di compressibilità e resistenza al taglio; la progettazione geotecnica delle opere dovrà quindi tenere in acconto eventuali problematiche connesse con l'instaurarsi di assestamenti differenziali.

In ultima analisi, fatte salve le problematiche di natura per lo più geotecnica legate alle caratteristiche di resistenza al taglio e compressibilità degli strati di fondazione più superficiali, per i quali risulta necessario operare idonei interventi di miglioramento geotecnico, si dà parere di fattibilità geologica al progetto.