



# AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DELLO STRETTO

## LAVORI DI AMPLIAMENTO BANCHINE MARCONI, PELORO E RIZZO DEL PORTO DI MESSINA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA



SCALA:

-

17

006

PR

005

-0

GEO

ELAB./TAV.:

R05

TITOLO:

RELAZIONE GEOTECNICA

PROGETTAZIONE:

Capogruppo Mandataria:



Dott. Ing. Marco Tartaglia

Mandante:



Dott. Ing. Niccolò Saraca

Mandante:



Dott. Ing. Antonino Sutera

Mandante:



Dott. Ing. Alfredo Ingletti

REVISIONI	REV. n°	DATA	EMISSIONE	MOTIVAZIONE
	0	04/12/2020		

R.U.P.:

Ing. Massimiliano MACCARONE

VISTI/APPROVAZIONI:

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		17	006	PR	005	-0	GEO

## **AUTORITA’ DI SISTEMA PORTUALE DELLO STRETTO**

### **“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del Porto di Messina”**

#### **Progetto di fattibilità Tecnica ed Economica**

#### **Relazione Geotecnica**

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	17	006	PR	005	-0	GEO

## Indice

1	Premessa .....	1
1.1	Descrizione dell’intervento in progetto .....	1
2	Documenti di riferimento.....	5
2.1	Normativa.....	5
2.2	Elaborati e documenti .....	5
3	Inquadramento geologico dell’area .....	6
3.1	Indagini disponibili .....	7
3.1.1	Indagini geognostiche Banchina 1° Settembre .....	7
3.1.2	Indagini geognostiche – Molo Norimberga.....	11
4	Modello geologico di riferimento .....	15
5	Modello geotecnico di progetto.....	16
5.1	Interpretazione delle prove SPT.....	16
5.2	Riepilogo risultati delle prove in sito e di laboratorio .....	19
6	Conclusioni .....	26

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

## 1 Premessa

La presente relazione ha lo scopo di definire il modello geotecnico dell’area del Porto di Messina nell’ambito del Progetto di fattibilità tecnico – economica per l’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo.

Il presente progetto fa seguito all’Adeguamento Tecnico Funzionale redatto dallo Scrivente RTP, adottato dal Comitato Portuale con Delibera n. 32 del 05-07-2018, che ha ricevuto il parere favorevole del CS.LL.PP con voto n. 20/2019 reso nel corso dell’adunanza del 26 luglio 2019. Con DDG N.76 del 13 luglio 2020 l’Assessorato Regionale TT.A. della Regione Sicilia ha approvato l’ATF completandone l’iter autorizzativo.

### 1.1 Descrizione dell’intervento in progetto

Le banchine esistenti interessate dall’intervento sono in parte del tipo “a giorno” (banchina Marconi) e per la restante parte del tipo a cassoni “a pressione” (banchina Peloro). Le banchine sono state oggetto in passato di un intervento di consolidamento fondazionale e di ripristino degli impalcati in c.a.

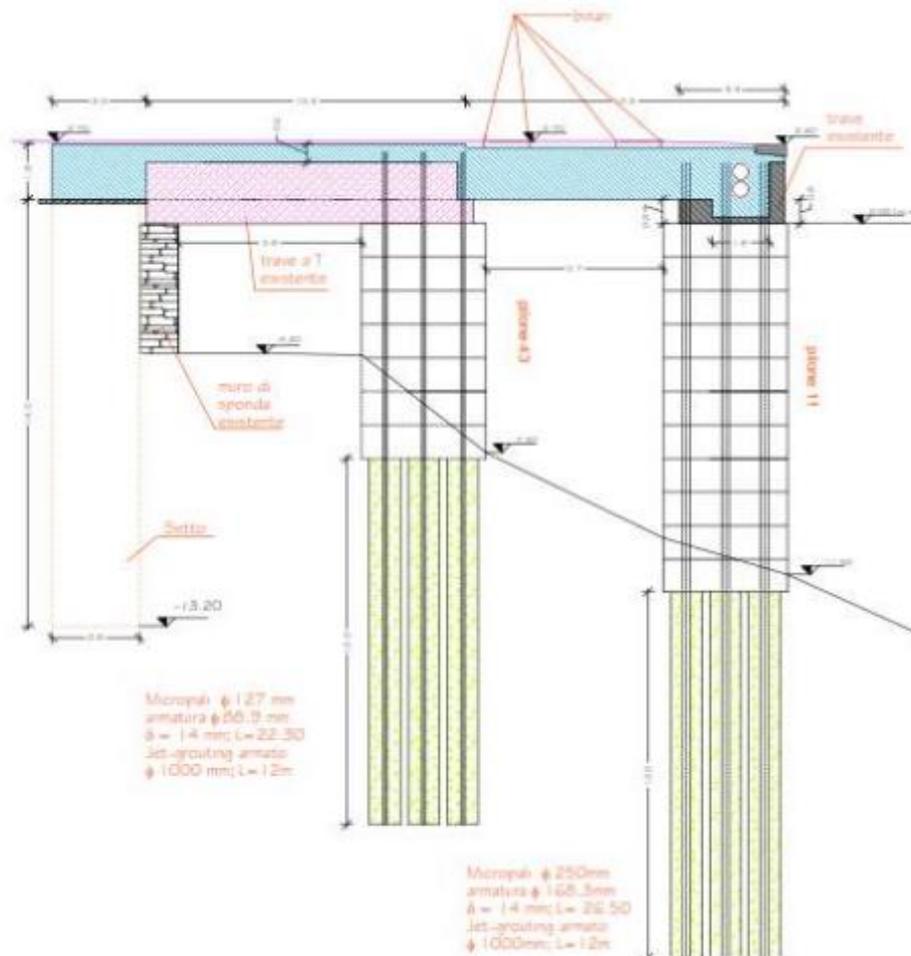


Figura 1: Sezione tipo banchina Marconi – Stato di fatto

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

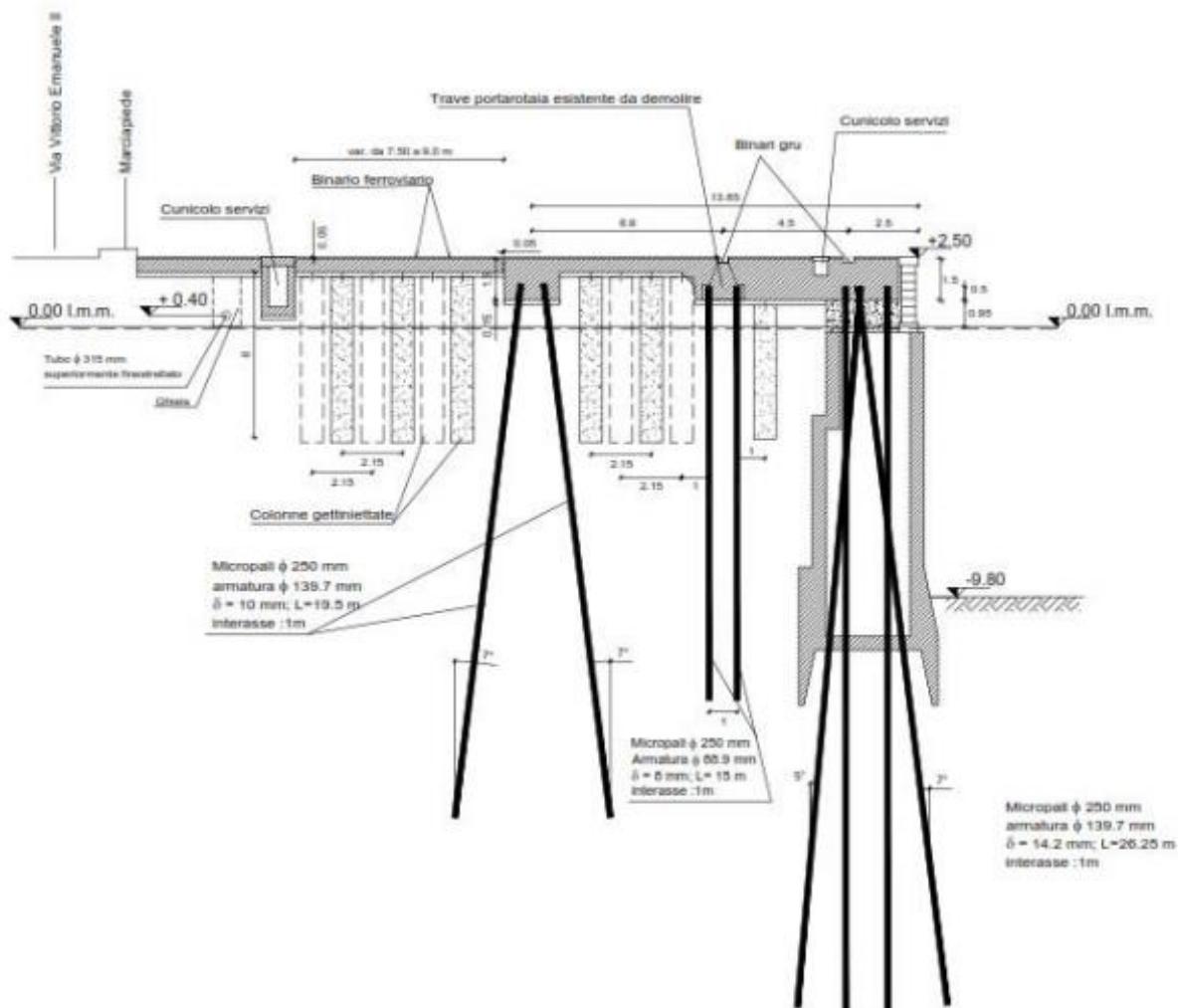


Figura 2: Sezione tipo banchina Peloro – Stato di fatto

Le analisi condotte hanno permesso di individuare la soluzione ottimale in termini di fattibilità dell’opera e, al contempo, di minimizzazione delle interferenze sulle opere esistenti. Nello specifico, la soluzione prescelta consiste nella realizzazione di una nuova banchina a giorno su pali di grande diametro ( $\phi=1200$  mm).

I pali trivellati in c.a. saranno gettati con camicia metallica secondo una maglia rettangolare ad interasse pari a circa 9 m in direzione parallela al fronte di accosto e 5.65 m ca. nella direzione perpendicolare. Sulla sommità dei pali verranno realizzati dei pulvini a pianta quadrata sui quali poggeranno le travi prefabbricate tipo PREM che costituiscono la struttura portante dell’impalcato. Superiormente le travi saranno collegate da una soletta di c.a. gettata in opera che costituirà il piano di calpestio della nuova opera. Lungo i bordi che segnano il contatto con le due banchine esistenti è prevista la realizzazione di un giunto di dimensioni tali da evitare, sia in condizioni sismiche che nelle fasi di esercizio (ad es. urto della nave), il martellamento tra le due strutture. L’intervento è completato con la realizzazione della pavimentazione, rete di raccolta delle acque meteoriche, cunicoli per il passaggio dei servizi e posa in opera dei dispositivi di accosto ed ormeggio della nuova banchina.

L’intervento previsto è rappresentato planimetricamente nella successiva Figura 3; in Figura 4 e Figura 5 è mostrata una sezione dell’intervento in progetto.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO



Figura 3: Foto aerea del Porto di Messina – Ipotesi d’ampliamento delle banchine esistenti

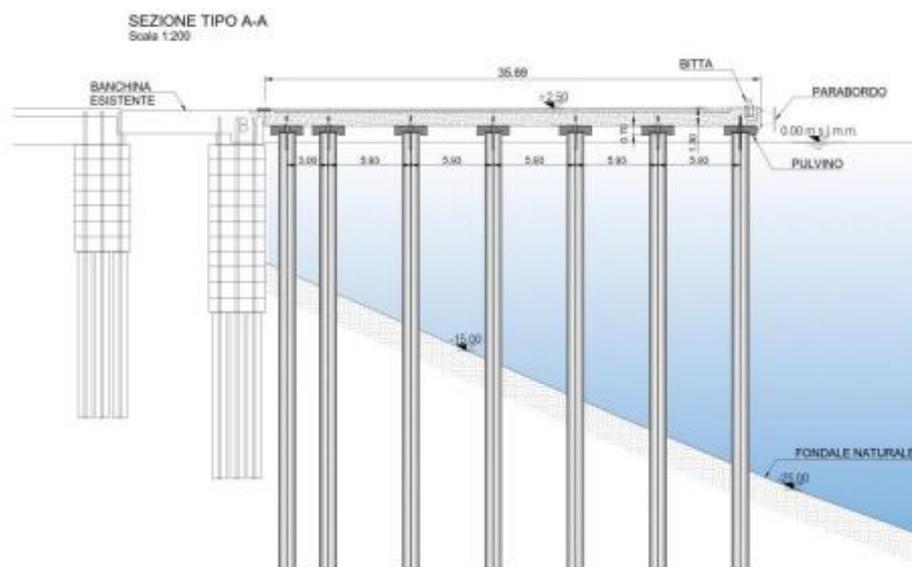


Figura 4: Sezione tipo A – A – Stato di progetto ampliamento della banchina esistente

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

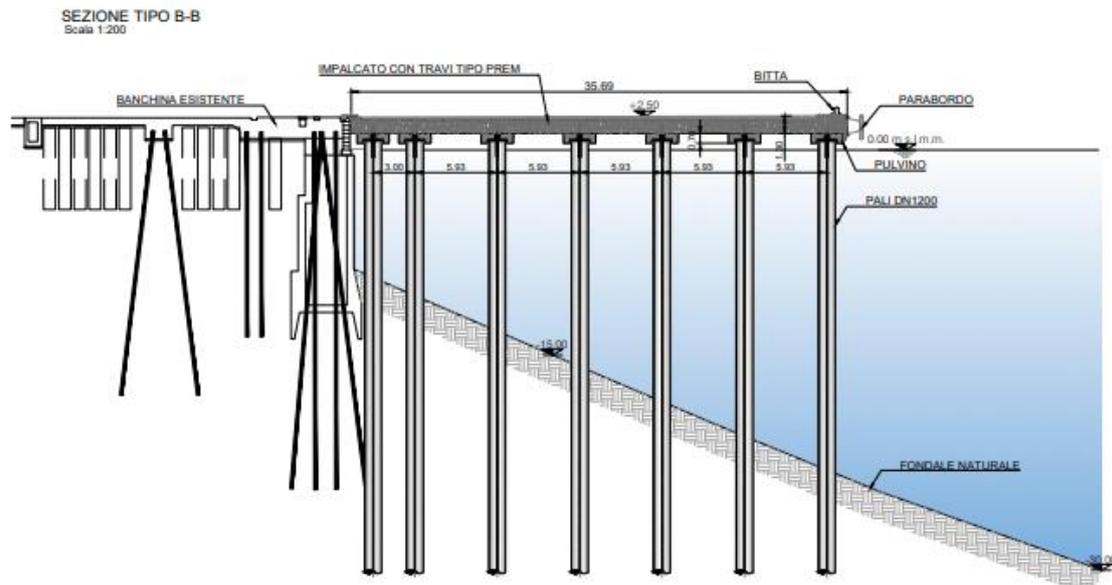


Figura 5: Sezione tipo B - B – Stato di progetto ampliamento della banchina esistente

A partire dall'inquadramento geologico dell'area, mediante l'interpretazione dalle prove in situ e di laboratorio dei piani di indagine disponibili nelle zone limitrofe (banchina 1° settembre e Molo Norimberga), è stato definito il modello geotecnico di riferimento propedeutico al dimensionamento e verifica delle opere in progetto secondo gli stati limite ultimo e di esercizio previsti dalla Norma (NTC 2018).

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	17	006	PR	005	-0	GEO

## 2 Documenti di riferimento

### 2.1 Normativa

- [1] Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (DM 17/01/2018 - G.U. n° 08 del 20.02.2018).
- [2] Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”. Circolare N. 7 del C.S.LL.PP. - 21/01/2019.

### 2.2 Elaborati e documenti

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è redatta con riferimento ai seguenti elaborati del presente PFTE:

- [3] 17 006 PR 001 \_0 GEN\_ ANALISI DELLE ALTERNATIVE
- [4] 17 006 PT 001 \_0 PLA\_ SOLUZIONE 1

Di seguito sono elencati ulteriori documenti a cui si è fatto riferimento all’interno della relazione in oggetto

- [5] 049\_Ger021\_00\_Relazione Geologica per il progetto esecutivo del Nuovo Terminal Passeggeri del Porto di Messina
- [6] Verbale di accettazione N. 06/A del 14/05/2013. Indagini geognostiche, prelievo di campioni e prove in sito. Affidamento delle indagini volte alla caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni della banchina I° settembre nel Porto Messina.
- [7] Rapporto di prova N. 0913. Indagini sismiche Down - Hole. Indagini volte alla caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni della banchina I° settembre nel Porto Messina.
- [8] Certificati di prova dal N. 5633 al N. 5644/2013 e dal N. 5665 al N. 5675. Prove geotecniche di laboratorio su terre. Caratterizzazione geotecnica progetto rettifica banchina I° settembre nel Porto di Messina.
- [9] Relazione geologico tecnica. Perizia per l’esecuzione di indagini geognostiche supplementari nel Molo Norimberga – Porto di Messina.
- [10] Indagini geognostiche. Perizia per l’esecuzione di indagini geognostiche supplementari nel Molo Norimberga – Porto di Messina.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

### 3 Inquadramento geologico dell’area

L’area di intervento è ubicata nella parte centrale della vasta area portuale di Messina al margine orientale del tessuto urbano della città in corrispondenza delle attuali banchine Marconi, Peloro e Rizzo (Figura 6). Si tratta di un’area di intensa urbanizzazione caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante il cui assetto è stato modificato negli anni dall’azione antropica con consistenti opere di sbancamento e rinterro, senza tuttavia alterare l’equilibrio generale della costa.



Figura 6: Vista aerea del sito di progetto (da Google Earth)

Dal punto di vista geologico, l’intera fascia portuale risulta costituita da depositi clastici noti come “Sabbie e Ghiaie di Messina” ascrivibili all’epoca del Miocene medio – Quaternario su cui poggiano a loro volta i depositi marini terrazzati di età pleistocenica ed i depositi di piana litorale. Nello specifico, così come evidenziato nei sondaggi geognostici, nell’area in esame si riscontrano i depositi di origine fluviale costituiti in prevalenza da sabbie ben classate, sabbie limose e limi molto sabbiosi.



Figura 7: Stralcio foglio 601 della Carta Geologica d’Italia

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
		Data: 04 dicembre 2020					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		17	006	PR	005	-0	GEO

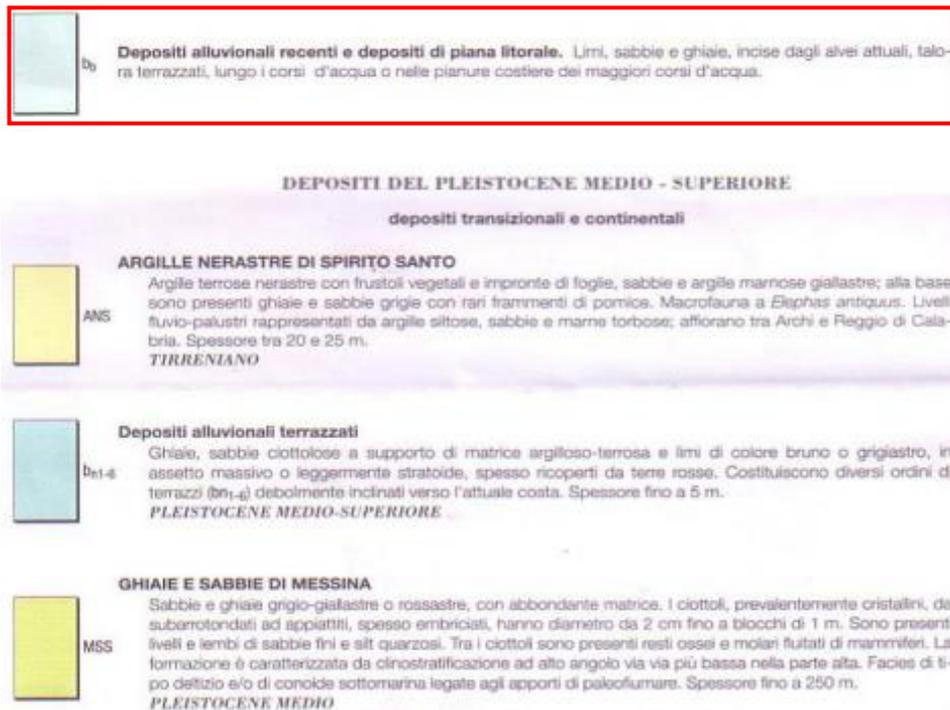


Figura 8: Unità geologiche individuate nell’area portuale di Messina

Sotto il profilo idrogeologico non si riscontrano né segni di instabilità da imputare a movimenti orizzontali o verticali, né situazioni di pericolosità idraulica. L’assenza di fenomeni di dissesto trova riscontro nel Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico (PAI) afferenti al bacino del Torrente Fiumedinisi e Capo Peloro.

### 3.1 Indagini disponibili

La caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sito di progetto, sono state desunte dai risultati di precedenti campagne di indagini eseguite a supporto di altri progetti, tra cui quelle più prossime e più pertinenti alle finalità del presente progetto prese in esame sono:

- Campagna di indagini a corredo del progetto di rettifica della banchina 1° settembre
- Campagne di indagini per gli interventi di ampliamento e consolidamento del Molo Norimberga.

Nei paragrafi seguenti si illustrano in dettaglio gli esiti delle campagne disponibili e la relativa rielaborazione.

#### 3.1.1 Indagini geognostiche Banchina 1° Settembre

Nell’ambito del progetto di rettifica della banchina 1° settembre è stata eseguita una campagna di indagine (i cui esiti sono riepilogati nei documenti citati [6], [7], [8]), che comprende:

- Quattro sondaggi a carotaggio continuo (denominati S1-S2-S3-S4) di profondità variabile dai 15 m ai 35 m;
- Prove penetrometriche dinamiche (SPT);
- Prova sismica in foro Down – Hole nel sondaggio S4;
- Prove geotecniche di laboratorio su provini indisturbati.

In Figura 9 è mostrata la planimetria con l’ubicazione dei sondaggi su ortofoto. A seguire sono riportati nell’ordine:

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

- I campioni prelevati nei sondaggi a carotaggio continuo con l’indicazione delle prove di laboratorio geotecnico per la caratterizzazione meccanica delle terre;
- I risultati registrati nelle prove SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- La sintesi delle stratigrafie estrapolate dai sondaggi a CC;
- I risultati della caratterizzazione fisica dei terreni sui provini in termini di contenuto d’acqua naturale  $w_N$ , peso dell’unità di volume naturale  $Y_N$ , peso specifico dei grani  $G_s$ , composizione granulometrica e contenuto di fine  $FC$ ;
- I risultati della caratterizzazione fisica dei terreni sui provini in termini di diametro massimo delle particelle  $D_{MAX}$ , diametro delle particelle in corrispondenza del 60 – 50 – 30 – 10 % di passante ai setacci  $D_{60} - D_{50} - D_{30} - D_{10}$ , coefficiente di uniformità  $U$  e di curvatura  $C$ ;
- I risultati dell’interpretazione delle prove di taglio diretto per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio drenati  $c'$  e  $\phi'$ ;
- Calcolo delle proprietà indice dei campioni indisturbati in termini di grado di saturazione  $S$ , indice dei vuoti  $e$ .



Figura 9: Planimetria sondaggi geognostici – Banchina 1° settembre

<b>PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI</b> <b>PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - CAMPIONI DI LABORATORIO</b>					
Campione	Sondaggio	Profondità [m]	Tipo	Descrizione granulometrica	Prova di laboratorio
C1	S2	3.00 ÷ 3.40	Q5	Sabbie	TD - Prove fisiche
R1	S2	4.50 ÷ 4.80	Q1	Sabbie	
R2	S2	10.50 ÷ 10.80	Q1	Sabbie	
C2	S2	13.00 ÷ 13.40	Q5	Sabbie	TD - Prove fisiche
C1	S3	4.00 ÷ 4.40	Q5	Sabbie	
R1	S3	7.00 ÷ 7.30	Q1	Sabbie	
R2	S3	12.40 ÷ 12.80	Q1	Sabbie	

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - CAMPIONI DI LABORATORIO						
Campione	Sondaggio	Profondità [m]	Tipo	Descrizione granulometrica	Prova di laboratorio	
C2	S3	13.00 ÷ 13.40	Q5	Sabbie	TD - Prove fisiche	
R1	S4	4.00 ÷ 4.30	Q1	Sabbie		
C1	S4	9.00 ÷ 9.50	Q5	Sabbie	TD - Prove fisiche	
R2	S4	14.00 ÷ 14.50	Q1	Sabbie		

Tabella 1: Campioni prelevati nei fori di sondaggio per le prove di laboratorio geotecnico

PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE								
SPT	Sondaggio	Profondità [m]	Tipo	Descrizione granulometrica	N1	N2	N3	N <sub>SPT</sub>
SPT1	S2	2.00 ÷ 2.50	P.A.	Sabbie	3	6	7	13
SPT2	S2	9.00 ÷ 9.50	P.A.	Sabbie	4	8	10	18
SPT3	S2	14.50 ÷ 14.95	P.A.	Sabbie	5	9	12	21
SPT1	S3	2.00 ÷ 2.45	P.A.	Sabbie	4	4	6	10
SPT2	S3	9.50 ÷ 9.95	P.A.	Sabbie	5	7	9	16
SPT3	S3	14.50 ÷ 14.95	P.A.	Sabbie	6	7	10	17
SPT1	S4	5.50 ÷ 5.95	P.A.	Sabbie	2	5	4	9
SPT2	S4	10.00 ÷ 10.45	P.A.	Sabbie	5	Rif	Rif	Rif

Tabella 2: Prove penetrometriche dinamiche nei sondaggi S2 – S3 – S4

PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - STRATIGRAFIE DI SONDAGGIO									
Strato	Sondaggio S1 z=22 m		Sondaggio S2 z=15m		Sondaggio S3 z=15m		Sondaggio S4 z=35m		Rif. Campioni
	Z <sub>1</sub> [m]	Z <sub>2</sub> [m]	Z <sub>1</sub> [m]	Z <sub>2</sub> [m]	Z <sub>1</sub> [m]	Z <sub>1</sub> [m]	Z <sub>1</sub> [m]	Z <sub>1</sub> [m]	
Banchina in c.a.	-	-	-	-	-	-	0	1	
Rp	0	1	-	-	-	-	1	5	
Sg	1	20	0	15	0	15	5	13	S2-C1 ÷ S3-C1 ÷ S3-C2 ÷ S4-C1
Sb	20	22					13	35	

Tabella 3: Stratigrafie dei sondaggi geognostici (per la descrizione delle unità stratigrafiche si rimanda al successivo Cap. 4)

PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE FISICHE SUI TERRENI										
Campione	Profondità [m]	Tipo	w [%]	Y [kN/m <sup>3</sup> ]	G <sub>s</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	FC [%]
S2 - C1	3.00 ÷ 3.40	Indisturbato	7.7	20.93	2.70	39.12	48.23	11.06	1.60	12.61
S3 - C1	4.00 ÷	Indisturbato	9.5	21.18	2.67					27.74

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		17	006	PR	005	-0	GEO

**PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI**  
**PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE FISICHE SUI TERRENI**

Campione	Profondità [m]	Tipo	w [%]	Y [kN/m <sup>3</sup> ]	G <sub>s</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	FC [%]
	4.40									
S3 - C2	13.00 ÷ 13.40	Indisturbato	8.1	21.45	2.70	29.56	45.33	19.68	5.42	25.12
S4 - C1	9.00 ÷ 9.50	Indisturbato	10.4	20.54	2.69	23.12	60.49	13.82	2.58	16.42

Tabella 4: Interpretazione indagini fisiche di laboratorio (Parte I)

**PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI**  
**PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI**

D <sub>max</sub> [mm]	D <sub>60</sub> [mm]	D <sub>50</sub> [mm]	D <sub>30</sub> [mm]	D <sub>10</sub> [mm]	U	C	Descrizione litologica
4.75	2.00	1.18	0.425	0.0391	51	2	Sabbie con ghiaia limose debolmente cementate
4.75							Sabbie con ghiaia limose argillose debolmente cementate
2.00	1.18	0.43	0.18	0.0079	149	3	Sabbie con ghiaia limose debolmente argillose debolmente cementate
4.75	1.18	0.43	0.18	0.029	41	1	Sabbie ghiaiose limose debolmente cementate

Tabella 5: Interpretazione indagini fisiche di laboratorio (Parte II)

**PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI**  
**PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE MECCANICHE SUI TERRENI**

Campione	Tipo	Y <sub>SAT</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	σ' <sub>vo</sub> [kPa]	Provino	σ' <sub>N</sub> [kPa]	τ [kPa]	m	q	R <sup>2</sup>	c' [kPa]	φ' [°]
S2 - C1	Ind.	20.90	33.78	1	98.07	104.17	0.7775	30.28	0.99	30.28	37.87
				2	196.14	187.50					
				3	294.21	256.67					
S3 - C1	Ind.	22.10	49.60	1	98.07	63.32	0.6168	8.0233	0.97	8.02	31.67
				2	196.14	139.37					
				3	294.21	184.29					
S3 - C2	Ind.	22.49	163.67	1	196.14	178.61	0.915	14.479	0.99	14.48	42.46
				2	294.21	304.14					
				3	588.42	547.78					
S4 - C1	Ind.	21.69	106.66	1	98.07	88.06	0.8894	5.1	0.99	5.10	41.65
				2	196.14	188.06					
				3	294.21	262.5					

Tabella 6: Interpretazione delle prove di taglio diretto eseguite su campioni indisturbati – Parametri di resistenza al taglio in tensioni efficaci

**PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI**  
**PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE FISICHE SUI TERRENI**

G <sub>s</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ]	w <sub>N</sub> [%]	Y <sub>N</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	Y <sub>d</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	Y <sub>s</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	S [%]	e [ ]	n [%]	Y <sub>sat</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]
2.70	20.93	20.93	17.31	27.00	100	0.56	35.90	20.90

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

PROGETTO ESECUTIVO NUOVO TERMINAL PASSEGERI PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE FISICHE SUI TERRENI								
$G_s$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$w_N$ [%]	$\gamma_N$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	S [%]	e [ ]	n [%]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]
2.67	9.50	21.18	19.34	26.70	67	0.38	27.56	22.10
2.70	8.10	21.45	19.84	27.00	61	0.36	26.51	22.49
2.69	10.40	20.54	18.61	26.90	63	0.45	30.84	21.69

Tabella 7: Interpretazione delle prove di taglio diretto eseguite su campioni indisturbati – Parametri fisici

### 3.1.2 Indagini geognostiche – Molo Norimberga

I risultati della campagna geognostica eseguita sulla Banchina I° settembre assieme alle relative prove in situ e di laboratorio, permettono di caratterizzare lo strato intermedio delle Sabbie grigio - scure (Sg), la cui profondità massima in tali sondaggi si attesta intorno agli 8.00 ÷ 13.00 m dal piano campagna. Allo scopo di approfondire il quadro geologico – geotecnico conoscitivo dei terreni interessati dall’opera in progetto e, nello specifico del substrato di base (Sb), si è fatto altresì riferimento alle indagini geognostiche eseguite in corrispondenza del Molo di Norimberga (elab.[9] e [10]). In particolare sono state considerate le seguenti indagini:

- 12 sondaggi a carotaggio continuo (denominati S1-S12) di profondità variabile dai 12 m ai 30 m;
- Prove penetrometriche dinamiche (SPT) nei fori di sondaggio;
- Prove geotecniche di laboratorio su provini rimaneggiati e ricostruiti in laboratorio.

In Figura 10 è mostrata la planimetria con l’ubicazione dei sondaggi che distano 600 m ca. in linea d’aria dalla zona in esame. A seguire sono riepilogati:

- I campioni prelevati nei sondaggi a carotaggio continuo con l’indicazione delle prove di laboratorio geotecnico per la caratterizzazione meccanica delle terre;
- I risultati registrati nelle prove SPT eseguite nei fori di sondaggio;
- I risultati della caratterizzazione fisica dei terreni sui provini in termini di contenuto d’acqua naturale  $w_N$ , peso dell’unità di volume naturale  $\gamma_N$ , peso specifico dei grani  $G_s$ , composizione granulometrica e contenuto di fine FC;
- I risultati dell’interpretazione delle prove di taglio diretto per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio drenati  $c'$  e  $\phi'$ ;
- Calcolo delle proprietà indice dei campioni indisturbati in termini di grado di saturazione S, indice dei vuoti e.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO



Figura 10: Planimetria sondaggi geognostici – Molo Norimberga

INDAGINI SUPPLEMENTARI - MOLO DI NORIMBERGA						
PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - CAMPIONI DI LABORATORIO						
Campione	Sondaggio	Profondità [m]	Tipo	Descrizione granulometrica	U.G.	Prova di laboratorio
1	S3	14	Q1	Argilla con sabbia limosa	Sg	TD - Prove fisiche
2	S4	13	Q1	Sabbia debolmente argilloso - limosa	Sg	TD - Prove fisiche
1	S7	12	Q1	Sabbia debolmente argilloso - limosa	Sg	TD - Prove fisiche
1	S8	8.2	Q1	Sabbia debolmente argilloso - limosa	Sg	TD - Prove fisiche
2	S10	18	Q1	Sabbia debolmente argilloso - limosa	Sg	TD - Prove fisiche
1	S11	12	Q1	Sabbia debolmente argilloso - limosa	Sg	TD - Prove fisiche

Tabella 8: Campioni prelevati nei fori di sondaggio per le prove di laboratorio geotecnico – Molo di Norimberga

INDAGINI SUPPLEMENTARI - MOLO DI NORIMBERGA									
PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE									
SPT	Sondaggio	Profondità [m]	Tipo	U.G.	N1	N2	N3	N <sub>SPT</sub>	Z <sub>falda</sub> [m]
SPT1	S1	2.7	P.A.		6	14	29	43	2.7
SPT2	S1	12	P.A.		5	6	9	15	2.7
SPT3	S1	15	P.A.	Sg	8	16	25	41	2.7
SPT1	S2	2.5	P.A.		6	7	10	17	2.7
SPT2	S2	3.8	P.A.		7	14	21	35	2.7
SPT3	S2	13.5	P.A.	Sg	6	8	10	18	2.7
SPT1	S3	3.5	P.A.		6	8	14	22	2.7
SPT2	S3	13	P.A.	Sg	3	4	6	10	2.7
SPT3	S3	15	P.A.	Sg	5	17	19	36	2.7
SPT1	S4	3.7	P.A.		Rif	Rif	Rif	Rif	2.7
SPT2	S4	11.5	P.A.	Sg	6	8	10	18	2.7
SPT3	S4	16	P.A.	Sg	9	18	24	42	2.7
SPT1	S5	1.8	P.A.		7	40	22	62	2.7

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
		Data: 04 dicembre 2020					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		17	006	PR	005	-0	GEO

INDAGINI SUPPLEMENTARI - MOLO DI NORIMBERGA									
PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE									
SPT	Sondaggio	Profondità [m]	Tipo	U.G.	N1	N2	N3	N <sub>SPT</sub>	Z <sub>falda</sub> [m]
SPT2	S5	10	P.A.		8	15	27	42	2.7
SPT3	S5	15	P.A.	Sg	10	14	29	43	2.7
SPT1	S6	12	P.A.	Sg	5	15	21	36	2.7
SPT2	S6	15	P.A.	Sg	8	18	23	41	2.7
SPT1	S7	2.7	P.A.		6	9	14	23	2.7
SPT2	S7	10	P.A.	Sg	3	4	10	14	2.7
SPT3	S7	15	P.A.	Sg	10	15	33	48	2.7
SPT1	S8	3.7	P.A.		13	14	38	52	2.7
SPT2	S8	11	P.A.	Sg	11	10	12	22	2.7
SPT3	S8	12	P.A.	Sg	12	18	28	46	2.7
SPT1	S9	5.2	P.A.		2	4	7	11	2.7
SPT2	S9	10.5	P.A.		5	6	9	15	2.7
SPT3	S9	15	P.A.	Sg	8	14	23	37	2.7
SPT1	S10	16.5	P.A.	Sg	12	15	20	35	2.7
SPT2	S10	20	P.A.	Sg	13	18	25	43	2.7
SPT1	S11	15	P.A.	Sg	4	6	12	18	2.7
SPT2	S11	19	P.A.	Sg	11	34	26	60	2.7
SPT1	S12	2.7	P.A.		6	7	10	17	2.7

Tabella 9: Prove penetrometriche dinamiche nei sondaggi S1 - S12 – Molo di Norimberga

INDAGINI SUPPLEMENTARI - MOLO DI NORIMBERGA										
PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE FISICHE SUI TERRENI										
Camp.	Prof. [m]	Tipo	W [%]	Y [kN/m <sup>3</sup> ]	G <sub>s</sub> [Mg/m <sup>3</sup> ]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]	FC [%]
S3_1	14	Rimaneggiato	30.51	18.04	2.67	1.41	31.81	12.35	54.51	66.86
S4_2	13	Rimaneggiato	17.51	18.54	2.68	1.68	84.20	10.68	3.41	14.09
S7_1	12	Rimaneggiato	28.31	18.31	2.68	0.00	87.24	7.01	5.74	12.75
S8_1	8.2	Rimaneggiato	34.51	17.14	2.65	0.00	74.60	12.25	10.10	22.35
S10_2	18	Rimaneggiato	18.21	19.14	2.68	1.40	83.77	7.75	7.06	14.81
S11_1	12	Rimaneggiato	16.51	19.01	2.68	25.20	66.12	4.91	3.02	7.93

Tabella 10: Interpretazione indagini fisiche di laboratorio – Molo di Norimberga

INDAGINI SUPPLEMENTARI - MOLO DI NORIMBERGA					
PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE MECCANICHE SUI TERRENI					
Campione	Tipo	Y <sub>SAT</sub> [k/m <sup>3</sup> ]	σ'v0 [kPa]	c' [kPa]	φ' [°]
S3_1	Ricostruito in lab	18.65	146.40	14.00	19.73
S4_2	Ricostruito in lab	19.89	151.93	9.00	24.73

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

<b>INDAGINI SUPPLEMENTARI - MOLO DI NORIMBERGA</b>					
<b>PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE MECCANICHE SUI TERRENI</b>					
Campione	Tipo	$\gamma_{SAT}$ [k/m <sup>3</sup> ]	$\sigma'_{v0}$ [kPa]	c' [kPa]	$\phi'$ [°]
S7_1	Ricostruito in lab	18.95	132.63	15.00	22.29
S8_1	Ricostruito in lab	17.93	89.92	10.00	17.62
S10_2	Ricostruito in lab	20.15	206.97	12.00	23.45
S11_1	Ricostruito in lab	20.23	146.45	0.00	129.11

Tabella 11: Interpretazione delle prove di taglio diretto eseguite su campioni indisturbati – Parametri di resistenza al taglio in tensioni efficaci – Molo di Norimberga

<b>INDAGINI SUPPLEMENTARI - MOLO DI NORIMBERGA</b>								
<b>PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE - PROVE FISICHE SUI TERRENI</b>								
$G_s$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	$w_N$ [%]	$\gamma_N$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_d$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_s$ [kN/m <sup>3</sup> ]	S [%]	e [ ]	n [%]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]
2.67	30.51	18.04	13.82	26.70	87	0.93	48.23	18.65
2.68	17.51	18.54	15.78	26.80	67	0.70	41.13	19.89
2.68	28.31	18.31	14.27	26.80	86	0.88	46.75	18.95
2.65	34.51	17.14	12.74	26.50	85	1.08	51.91	17.93
2.68	18.21	19.14	16.19	26.80	74	0.66	39.58	20.15
2.68	16.51	19.01	16.32	26.80	69	0.64	39.12	20.23

Tabella 12: Interpretazione delle prove di taglio diretto eseguite su campioni indisturbati – Parametri fisici – Molo di Norimberga

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	17	006	PR	005	-0	GEO

## 4 Modello geologico di riferimento

Facendo riferimento in via prioritaria alle analisi desumibili dalla campagna di indagini della Banchina I° settembre per la maggior vicinanza agli interventi di progetto, incrociando le stratigrafie di sondaggio sia nella direzione della linea di costa (allineamento S2 – S3), sia lungo la perpendicolare alla banchina portuale (allineamento S1 – S4) è possibile definire con una certa approssimazione il modello stratigrafico da prendere come riferimento per le analisi preliminari, finalizzate al predimensionamento delle nuove opere di banchina oggetto del presente PFTE.

Le unità stratigrafiche individuate complessivamente nei sondaggi sono le seguenti:

- **Strato di banchina.** Si tratta delle opere in c.a. delle strutture di impalcato e pavimentazione delle banchine portuali.
- **Riporti eterogenei ed eterometrici [Rp].** Si tratta di materiali di origine antropica, estremamente eterogenei sia in termini granulometrici e strutturali.
- **Sabbie di colore grigio scuro [Sg].** Si tratta di sabbie ghiaiose da poco a mediamente limose, frequentemente alternate da ciottoli di dimensioni anche decimetriche.
- **Sabbie medio – fini di colore grigio – scuro [Sb].** Si tratta dello strato in posto appartenente ai depositi della piana litorale; la formazione di base è rappresentata principalmente da sabbie limose e sabbie ghiaiose.

Lo spessore degli strati è variabile procedendo dalla terraferma verso il mare come conferma la stratigrafia desunta dal sondaggio S1 che evidenzia un maggiore approfondimento della formazione di base fino a 20 m ca. rispetto ai 13 m del sondaggio S4. Nei sondaggi S2 ed S3 spinti ad una profondità di 15 m dal piano campagna, le suddette formazioni non sono state neanche intercettate. Il contatto stratigrafico con lo strato intermedio delle sabbie grigio - scure risulta quindi decrescente verso mare, mentre il rapporto tra lo strato intermedio e i riporti antropici superficiali appare variabile e non sempre facilmente definibile.

In linea generale, i terreni granulari risultano saturi d’acqua con granulometria da fine a media spesso intercalati da livelli ghiaiosi e talvolta da blocchi lapidei di dimensioni modeste. La componente fine risulta variabile e si attesta intorno al 20% del totale come si evince dalle prove fisiche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati nell’unità delle Sg. Sulla base del sistema USCS (Unified Soil Classification System), la percentuale passante al setaccio 200 è inferiore al 50% del totale, superando tuttavia la percentuale del 12%. Si tratta appunto di Ghiaie limose e di Sabbie limose.

La campagna di indagine eseguita in corrispondenza del Molo Norimberga ha permesso di confermare il modello geologico di riferimento sia in termini litologici, sia in termini di rapporto e potenza degli strati. Il contatto tra le sabbie Sg con i riporti recenti e sfabbricidi Rp non sempre risulta chiaramente definibile, mentre le carote estratte in corrispondenza dello strato sabbioso intermedio ha evidenziato la presenza di livelli di calcareniti cementate di spessore centimetrico molto tenaci.

Nell’Allegato 2 sono mostrate le sezioni geologiche ricostruite lungo gli allineamenti A – A’ e B – B’ di Figura 10, per utile confronto con la sezione geologica ricostruita in corrispondenza del sito in esame a partire dalle indagini sulla banchina I° settembre (Allegato 1).

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	17	006	PR	005	-0	GEO

## 5 Modello geotecnico di progetto

Sulla base delle considerazioni riportate nel precedente capitolo sulla stratigrafia dell’area e mediante l’interpretazione delle prove in situ e di laboratorio, viene ricostruito il modello geotecnico del sito al fine di eseguire un primo dimensionamento delle opere in progetto.

In riferimento al piano di indagine relativo al nuovo terminal passeggeri (o banchina 1° settembre) si evidenzia che le prove penetrometriche dinamiche SPT e le prove di laboratorio terre sono riferite allo strato intermedio delle sabbie grigio – scure. Pertanto, per una caratterizzazione geotecnica di dettaglio delle unità geotecniche non direttamente indagate si rimanda agli studi geotecnici dei successivi livelli di progettazione, anche sulla base della proposta del nuovo piano di indagine da eseguire nell’area.

Per il substrato sabbioso di base si è fatto utilizzo dei risultati della campagna di indagine Molo Norimberga. Le analisi geotecniche sono state basate sull’interpretazione dei dati provenienti dalle prove in situ SPT e dalle prove di taglio diretto eseguite sui campioni prelevati nei fori di sondaggio. Il prelievo dei campioni indisturbati (Indagini terminal passeggeri) è stato reso possibile grazie alla presenza nello strato delle Sg di una componente limo – argillosa superiore al 5%, una ridotta presenza di trovanti e livelli di sabbie debolmente cementate. Tuttavia, i risultati delle prove di taglio diretto devono essere interpretati con estrema cautela al fine di non sovrastimare i parametri di resistenza al taglio, in particolar modo, l’intercetta di coesione  $c'$ . Per i parametri di resistenza estrapolati dalle prove di taglio su campioni (Indagini Molo Norimberga) si rappresenta che i provini ricostruiti in laboratorio non possono essere considerati rappresentativi della struttura e del grado di addensamento del terreno in posto.

### 5.1 Interpretazione delle prove SPT

I parametri geotecnici che sono stati valutati a partire dal numero dei colpi  $N_{SPT}$  sono i seguenti:

- 1) Densità relativa  $D_R$  [%];
- 2) Angolo di resistenza al taglio in tensioni efficaci  $\phi'$  [°];
- 3) Modulo elastico operativo  $E'$  [MPa];
- 4) Modulo elastico a basse deformazioni  $E'_0$  [MPa].

#### 1) Densità relativa

Formula di Skempton (1986). Questa correlazione è valida solo per le sabbie e prevede di calcolare il numero di colpi  $(N1)_{60}$  normalizzati ad una tensione verticale efficace di 100 kPa. Il coefficiente  $C_N$  viene fornito di seguito per sabbie fini.

$$C_N = \frac{2}{1 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}}$$

$$D_R = \sqrt{\frac{N_{60} \cdot C_N}{60}}$$

Formula di Meyerhof (1957). Questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo ed esprime la densità relativa in funzione della tensione verticale efficace in  $[\text{kg}/\text{cm}^2]$  e del  $N_{SPT}$ :

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		17	006	PR	005	-0	GEO

$$D_R = 21 \cdot \sqrt{\frac{N_{60}}{\sigma'_{v0} + 0.7}}$$

Formula di Bazaraa (1967). Questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo; l’espressione per ricavare la densità relativa varia a seconda del valore della tensione verticale efficace  $\sigma'_v$  espressa in kg/cm<sup>2</sup>:

$$\sigma'_{v0} \leq 0.732 \frac{kg}{cm^2} \Rightarrow D_R = \frac{N_{60}}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{v0})}$$

$$\sigma'_{v0} > 0.732 \frac{kg}{cm^2} \Rightarrow D_R = \frac{N_{60}}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_{v0})}$$

Formula di Yoshida e Kokusho (1988). Questa correlazione è valida per tutti i tipi di terreni in funzione della tensione verticale efficace:

$$\text{Sabbia 75\% - Ghiaia 25\%} \Rightarrow D_R = 0.18 + N_{60}^{0.57} \cdot \left(100 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}\right)^{-0.14}$$

## 2) Angolo di resistenza al taglio

Formula di Peck, Hanson & Thorburn (1974). Espressione molto utilizzata nei paesi anglosassoni per misurare l’angolo di resistenza al taglio. La correlazione è valida per tutti i tipi di suolo. Si ricava l’angolo in funzione di  $N_{SPT}$ :

$$\Phi' = 27.1 + 0.3 \cdot \left(\frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}}\right) \cdot N_{60} - 0.0054 \cdot \left[\left(\frac{3}{2 + \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}}\right) \cdot N_{60}\right]^2$$

Formula di Schmertmann (1975). Questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l’angolo è calcolato in funzione della tensione verticale efficace  $\sigma'_{v0}$  e della pressione atmosferica  $p_0$ .

$$\Phi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{p_a}} \right)^{0.34}$$

Formula di De Mello (1971). Questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo e l’angolo si ricava in funzione di  $N_{SPT}$  e  $\sigma_{v0}$ :

$$\Phi' = 19 - 0.38 \cdot \frac{\sigma'_v}{p_a} + 8.73 \cdot \log(N_{60})$$

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	17	006	PR	005	-0	GEO	

Formula di Meyerhof (1965). Questa correlazione è valida solo per i terreni sabbiosi con percentuale di limo < 5% e trova le condizioni ottimali a profondità inferiori a circa 5 m, nel caso di strati sopra falda, ed inferiori a 8 m, nel caso di terreni in falda. L’angolo è calcolato in funzione del numero di colpi:

$$\Phi' = 29.47 + 0.46 \cdot N_{60} - 0.004 \cdot N_{60}^2$$

### 3) Modulo elastico operativo

Formula di Stroud (1989). Questa correlazione è utilizzata solo per le sabbie e ghiaie. Il modulo elastico è calcolato in funzione di  $N_{SPT}$ :

$$\text{Sabbie OC e ghiaie} \Rightarrow E' = (2 \div 16) \cdot N_{60}$$

$$\text{Sabbie NC} \Rightarrow E' = 0.9 \cdot N_{60}$$

Formula di Burland e Burbidge (1985). Questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo ed il modulo si ricava in funzione di  $N_{SPT}$ :

$$N' = 4 \Rightarrow E' = (1.6 \div 2.4) \cdot N_{60}$$

$$N' = 10 \Rightarrow E' = (2.2 \div 3.4) \cdot N_{60}$$

$$N' = 30 \Rightarrow E' = (3.7 \div 5.6) \cdot N_{60}$$

$$N' = 60 \Rightarrow E'' = (4.6 \div 7.0) \cdot N_{60}$$

Formula di Jamiolkoski (1988). Questa correlazione calcola il modulo di Young corrispondente a tensioni dell’ordine del 25% di quelle a rottura in funzione della densità relativa  $D_R$  e di  $N_{SPT}$ :

$$\text{Terreni OC} \Rightarrow E'_{25} = (52.5 - 35 \cdot D_R) \cdot N_{60}$$

Formula di WEBB. Questa correlazione è utilizzata per le sabbie con fine plastico.

$$\text{Sabbia con fine plastico} \Rightarrow E' = 3.32 \cdot N_{60} + 16$$

### 3) Modulo elastico a basse deformazioni

Formula di Otha e Goto (1978). Questa correlazione è valida solo per le ghiaie e le sabbie. Si calcola la velocità delle onde di taglio per poi determinare il valore del modulo di taglio iniziale  $G_0$  nota la densità del terreno allo stato naturale. Di conseguenza, mediante il coefficiente di Poisson si ricava il modulo di Young dalle relazioni della teoria dell’elasticità:

$$V_s = 67.3 \cdot N_{60}^{0.171} \cdot z^{0.199} \cdot f_a \cdot f_s$$

con

z profondità dal piano campagna [m];

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	17	006	PR	005	-0	GEO

$f_a$  parametro funzione dell’età geologica del deposito;

$f_s$  parametro funzione della litologia indagata.

## 5.2 Riepilogo risultati delle prove in sito e di laboratorio

Nelle successive Figura 11 - Figura 13 sono mostrati i risultati ottenuti applicando le formule empiriche di letteratura poc’anzi mostrate a partire dai dati NSPT registrati nei sondaggi S2 – S3 – S4 (banchina 1° settembre). In Figura 14 sono, invece, mostrati i risultati delle prove di taglio sui provini prelevati.

I parametri di resistenza e di deformabilità dei terreni sono definiti mediante i loro valori caratteristici. Secondo la NTC 2018, il valore caratteristico di un parametro geotecnico rappresenta un valore ragionato e cautelativo della grandezza in oggetto. Nel seguito, sulla base del tipo e del numero di prove a disposizione si è fatto riferimento ai valori medi estrapolati dall’intervallo di variabilità di ogni singolo parametro analizzato. Si evidenzia, tuttavia, che la definizione dei valori caratteristici è anche funzione della tipologia di opera in progetto, soprattutto alla luce dei meccanismi di interazione tra le strutture e i terreni nell’ambito del volume significativo nel sottosuolo.

Come si evince dai grafici:

- La densità relativa si aggira intorno al 40%, in linea con i risultati ottenuti sui campioni in funzione dell’indice dei vuoti. Si tratta per lo più di terreni da poco a mediamente addensati. I valori più alti della densità relativa sono da attribuirsi ai livelli sabbiosi cementati.
- L’angolo di resistenza al taglio è pari a circa 30°. La coesione della sabbia grigio – scura è posta pari a 0 coerentemente all’interpretazione dei dati  $N_{SPT}$  per terreni incoerenti.
- Il modulo elastico si attesta intorno a 30 MPa.
- Il modulo dinamico mostra un incremento lineare con la profondità da 600 MPa a 1.25 GPa.
- L’angolo di resistenza al taglio ricavato dalle prove di taglio diretto varia nell’intervallo 30 – 40°, mentre il valore di coesione risulta estremamente variabile da un minimo di 5 kPa ad un massimo di 30 kPa presumibilmente da attribuire ai livelli più cementati.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

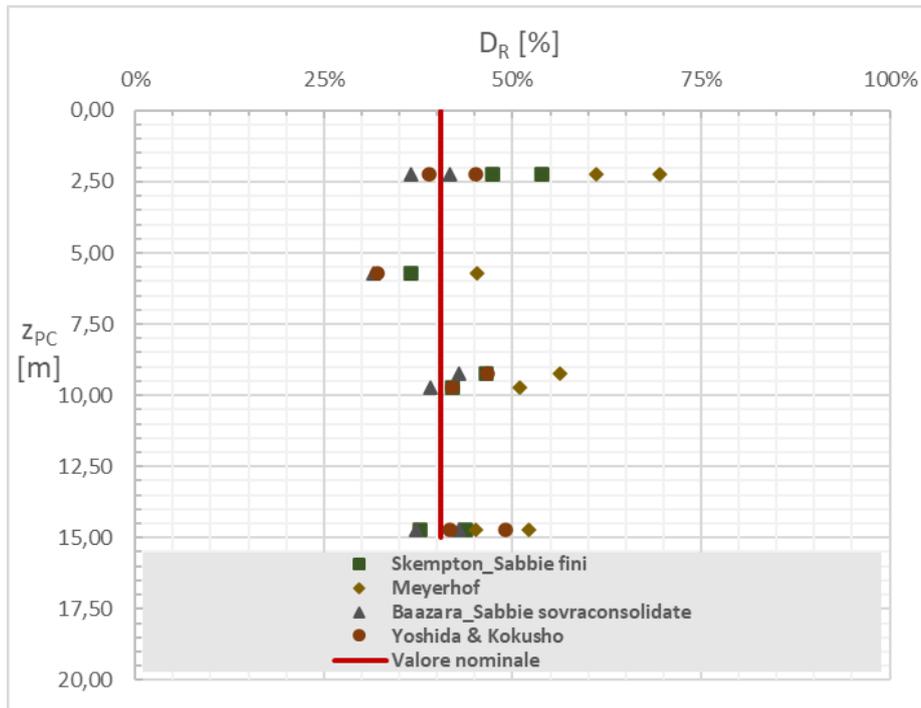


Figura 11: Calcolo densità relativa da interpretazione SPT

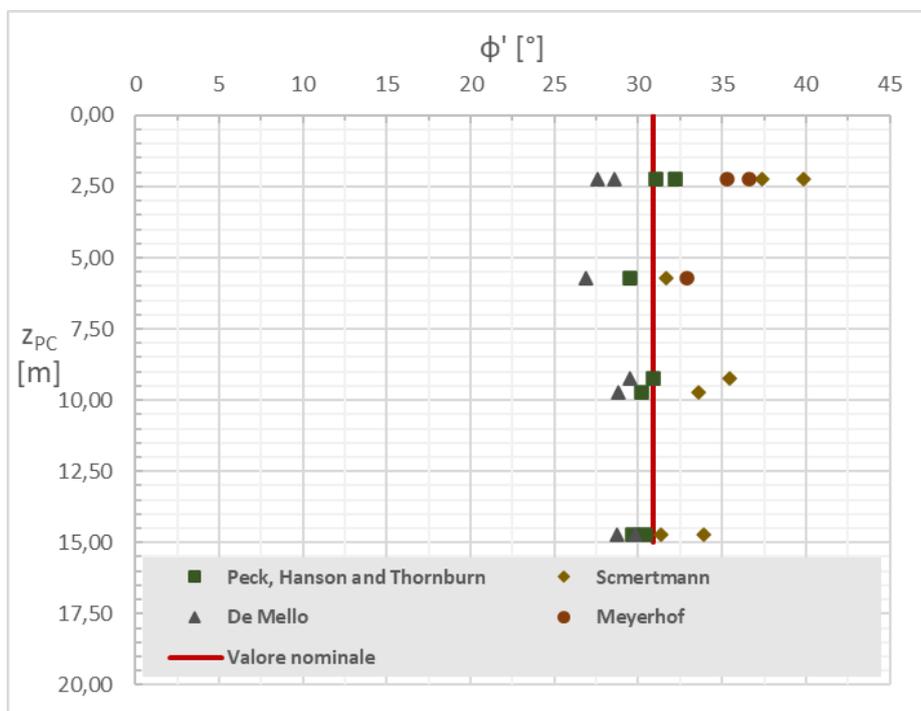


Figura 12: Calcolo angolo di resistenza al taglio da interpretazione SPT

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

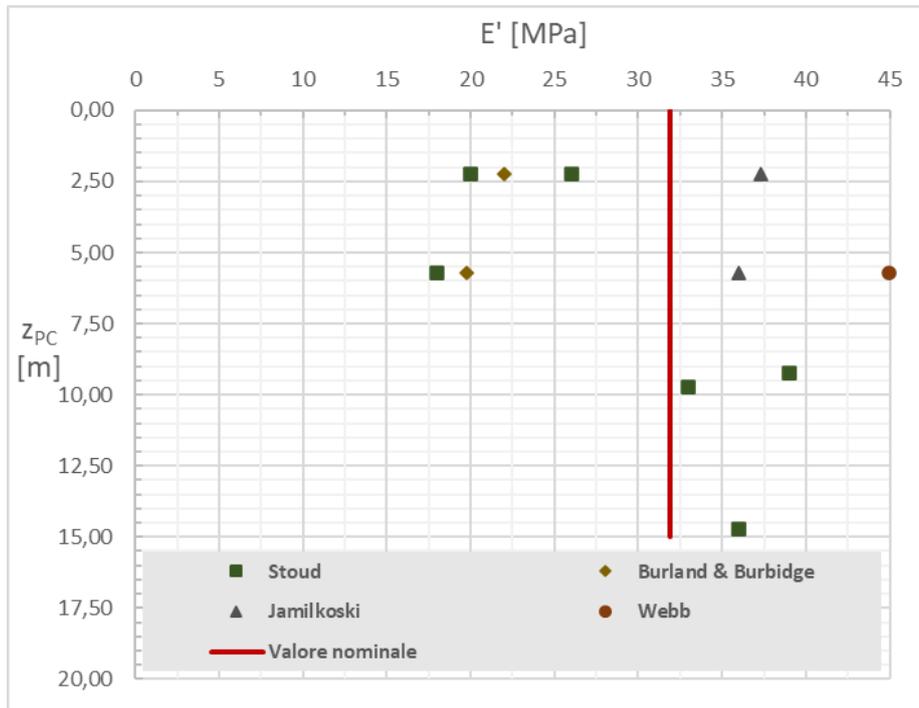


Figura 13: Calcolo modulo elastico operativo da interpretazione SPT

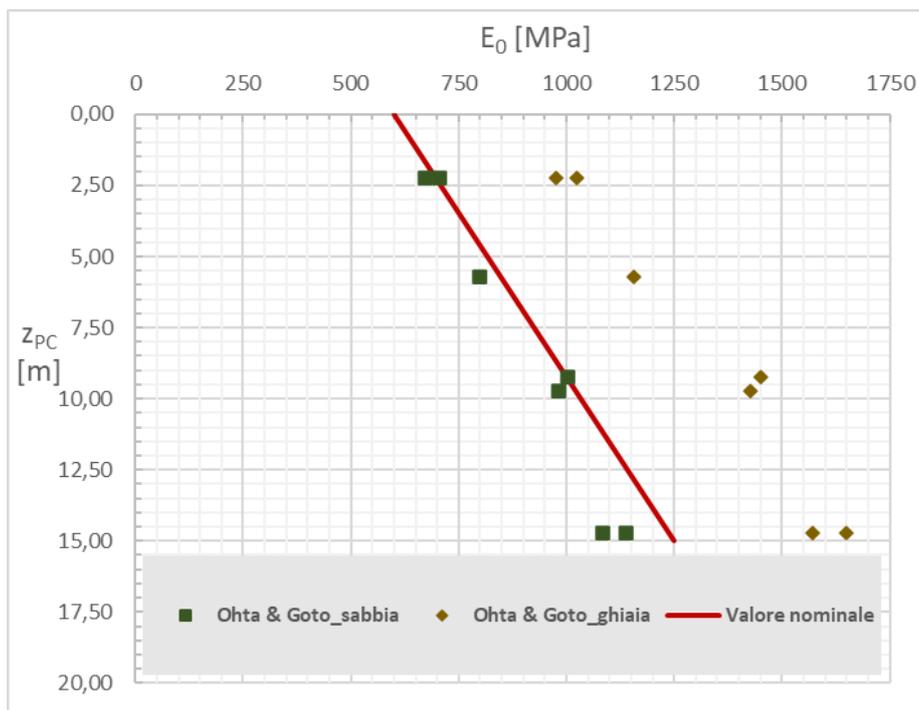


Figura 14: Calcolo modulo a basse deformazioni da interpretazione SPT

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

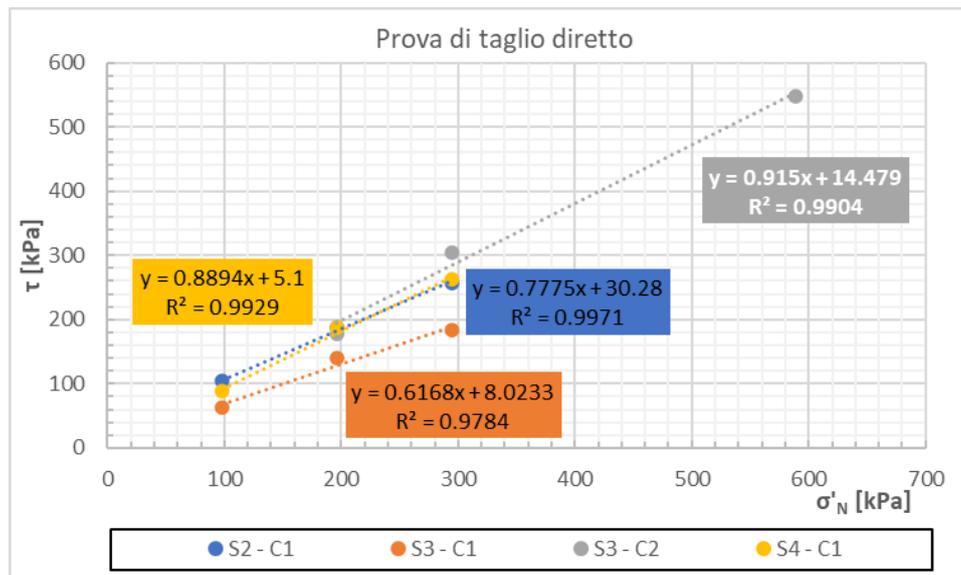


Figura 15: Analisi dei risultati della prova di taglio diretto eseguita su campioni indisturbati

In appendice al presente capitolo sono analizzati i risultati ottenuti dalle prove in situ e di laboratorio eseguite per la caratterizzazione del Molo Norimberga. A seguire alcune considerazioni inerenti al substrato delle sabbie (Sb):

- I valori di densità relativa risultano molto dispersi nell'intervallo 30 ÷ 80 %. Il suo valore medio si aggira intorno al 60%.
- L'angolo di resistenza al taglio medio è pari a circa 35°.
- Il modulo elastico operativo è anch'esso molto disperso nel range 50 ÷ 300 MPa, con una tendenza a crescere lineare con la profondità. Il valore medio si attesta intorno a 135 MPa seppur appare prudentiale adottare il valore minimo dell'intervallo.
- Il modulo dinamico è anch'esso molto disperso. Le correlazioni adottate determinano un modulo dinamico molto alto (fino a 30 ÷ 40 GPa) a dimostrazioni di importanti rigidità dello strato.
- I risultati delle precedenti prove di taglio diretto (Tabella 11) non sono prese in considerazione perché ritenute poco attendibili.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

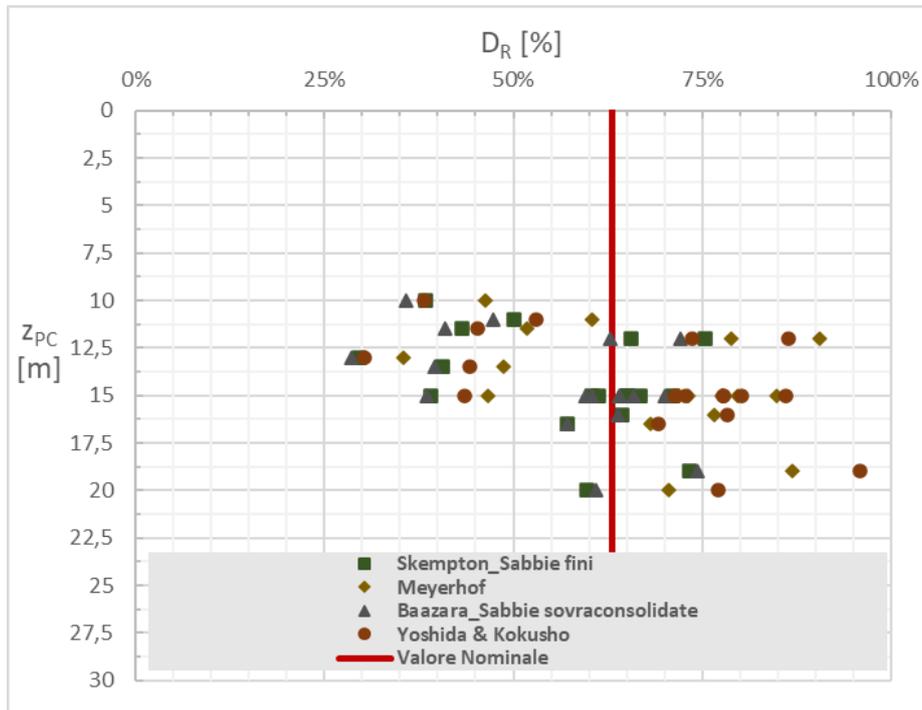


Figura 16: Calcolo densità relativa da interpretazione SPT – Molo di Norimberga

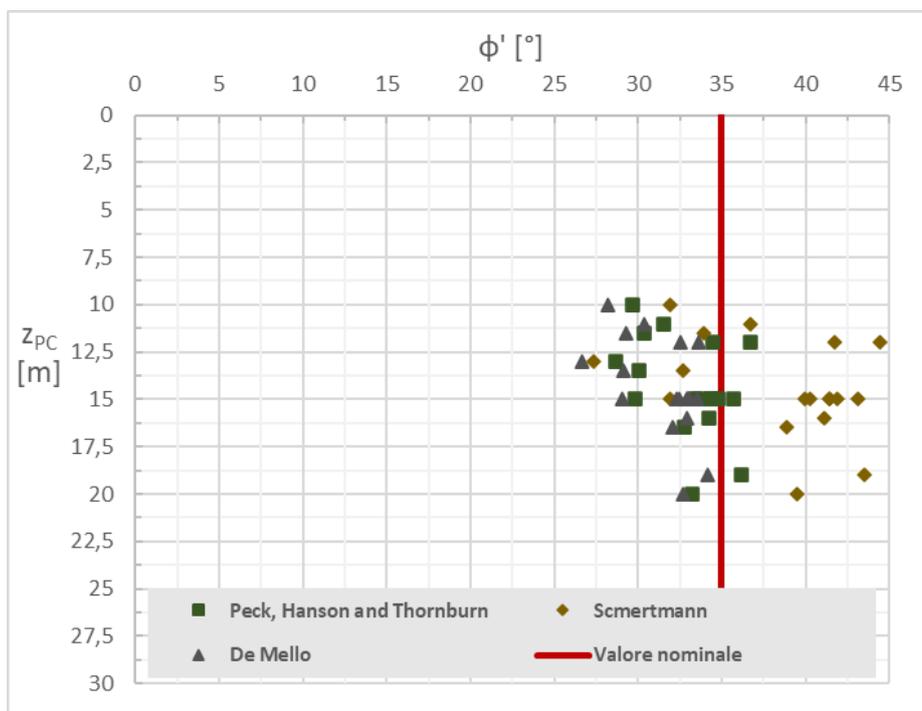


Figura 17: Calcolo angolo di resistenza al taglio da interpretazione SPT – Molo di Norimberga

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 04 dicembre 2020					
		17	006	PR	005	-0	GEO

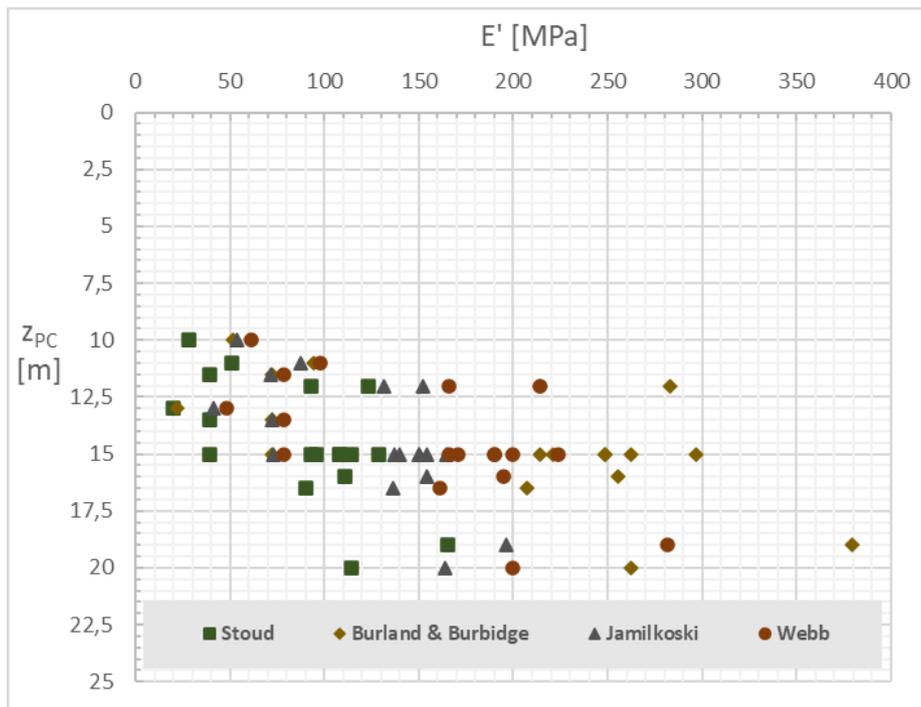


Figura 18: Calcolo modulo elastico operativo da interpretazione SPT – Molo di Norimberga

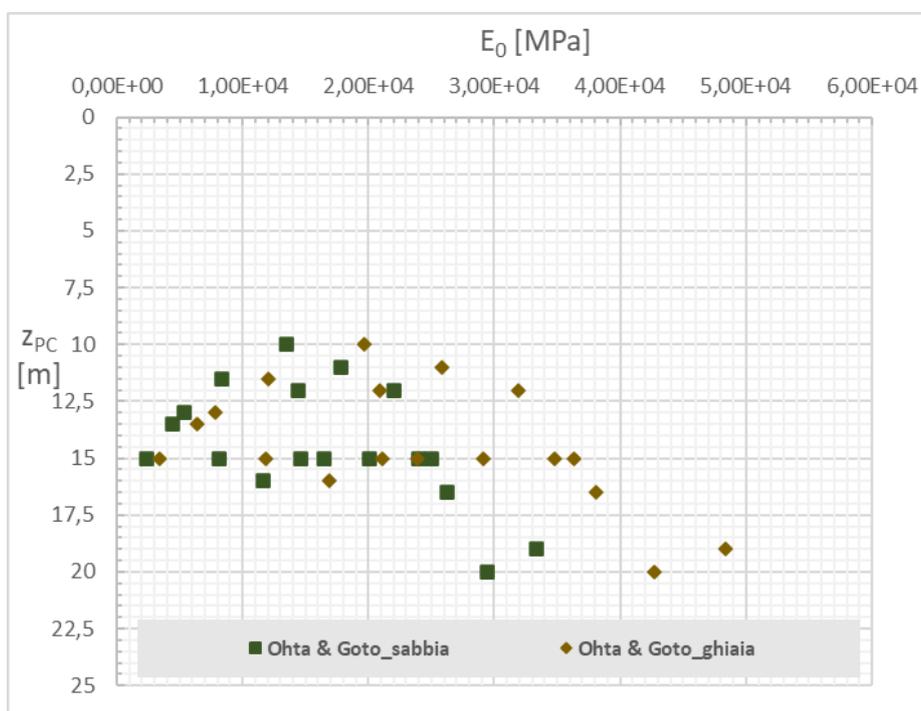


Figura 19: Calcolo modulo a basse deformazioni da interpretazione SPT – Molo di Norimberga

In conclusione, ai fini del predimensionamento dell’opera oggetto del presente PFTE, nella successiva tabella sono sintetizzati i parametri fisico – meccanici delle unità geotecniche individuate a partire dal modello geologico di riferimento. Ai fini del dimensionamento dei pali trivellati di grande diametro, si ravvisa che lo strato di base delle sabbie grigio – scure (Sb) è caratterizzato sulla base delle prove eseguite in corrispondenza del Molo Norimberga.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina” Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
		Data: 04 dicembre 2020					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		17	006	PR	005	-0	GEO

In tabella è anche riportato l’angolo di dilatanza ricavato mediante la formula di Bolt (1986) a partire dalla densità relativa e pressione efficace di confinamento nell’ipotesi di uno stato deformativo assialsimmetrico.

<b>SINTESI MODELLO GEOTECNICO DI PROGETTO</b>								
Strato	U.G.	$\gamma_N$ [k/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{SAT}$ [k/m <sup>3</sup> ]	$E'$ [MPa]	$\nu$	$c'$ [kPa]	$\phi'$ [°]	$\psi$ [°]
1	Banchina in c.a.	-	-	-	-	-	-	-
2	Rp	-	-	-	-	-	-	-
3	Sg	21.70	21.70	30	0.35	5	30	5
4	Sb	18.50	19.00	50	0.35	0	35	5

Tabella 13: Modello geotecnico di progetto

Nell’Allegato 1 è mostrato il modello lito – stratigrafico con indicazione delle unità geotecniche di cui alla precedente tabella.

Nell’Allegato 2 sono mostrate le sezioni geologiche – geotecniche estrapolate in corrispondenza del Molo Norimberga.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo del porto di Messina”	Titolo elaborato: Relazione Geotecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 04 dicembre 2020					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	17	006	PR	005	-0	GEO

## 6 Conclusioni

Nella presente relazione è stato illustrato lo studio di caratterizzazione geotecnica dei terreni del sito di progetto nell’ambito del PFTE dell’intervento di ampliamento delle banchine Marconi, Peloro e Rizzo. L’interpretazione dei dati disponibili dalla campagna di indagine eseguita nelle vicinanze dell’area di intervento a permesso di ricostruire i principali lineamenti stratigrafici delle formazioni intercettate nel sottosuolo e di determinare i parametri fisico – meccanici per ciascuna unità geotecnica.

I parametri di resistenza e di deformabilità dei terreni sono stati calcolati mediante correlazioni empiriche da prove NSPT e dall’interpretazione dei risultati delle prove di taglio diretto su campioni indisturbati.

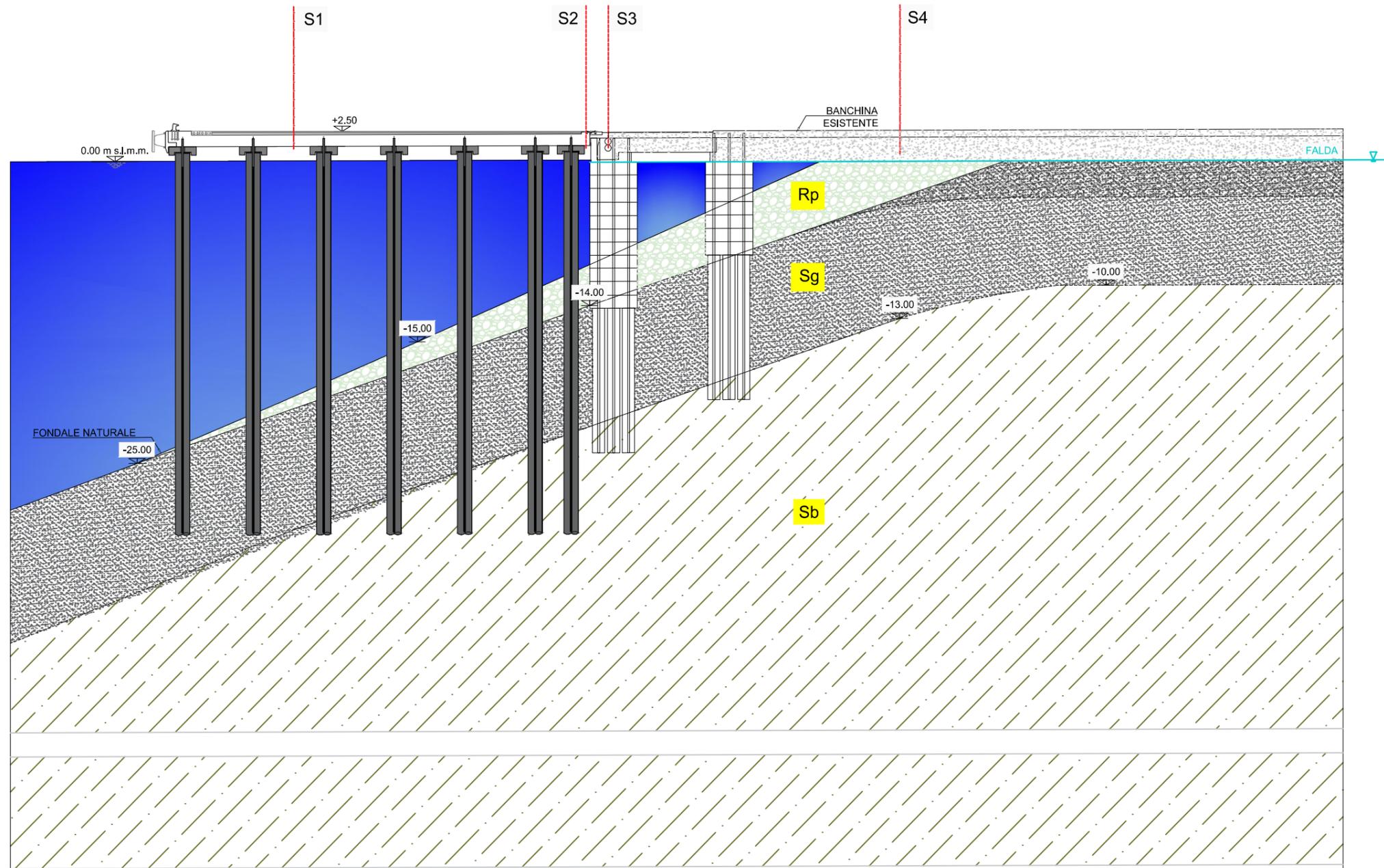
Sulla base del preliminare modello geotecnico è possibile eseguire la verifica delle opere in progetto secondo il metodo semi – probabilistico agli Stati limite (NTC 2018).

SEZIONE GEOTECNICA

STATO DI PROGETTO - SEZ. A-A  
SCALA 1:40

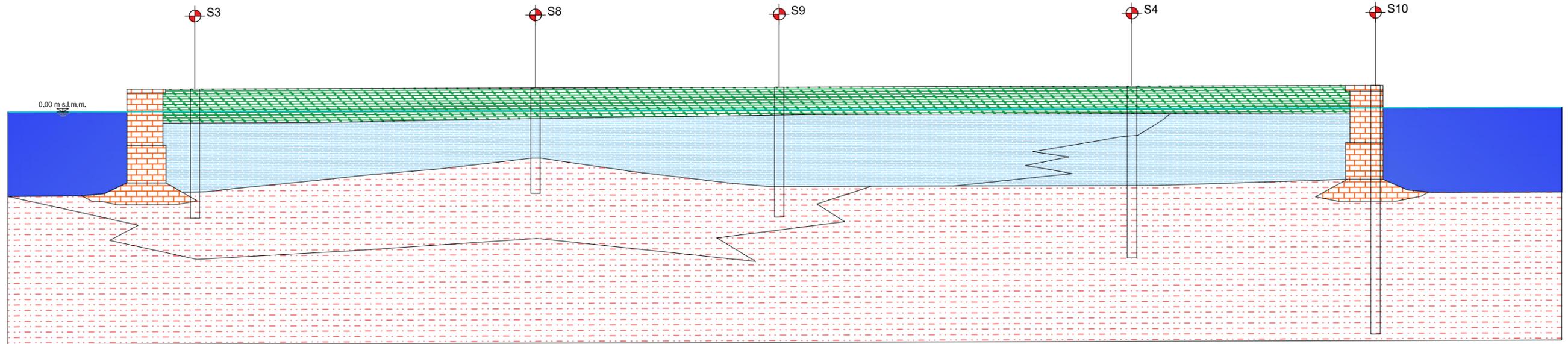
**LEGENDA**

- CONTATTO INCERTO
- RIPORTO
- SABBIE GRIGIO SCURE
- SABBIE MEDIO - FINI
- S1 Sondaggi banchina 1° settembre



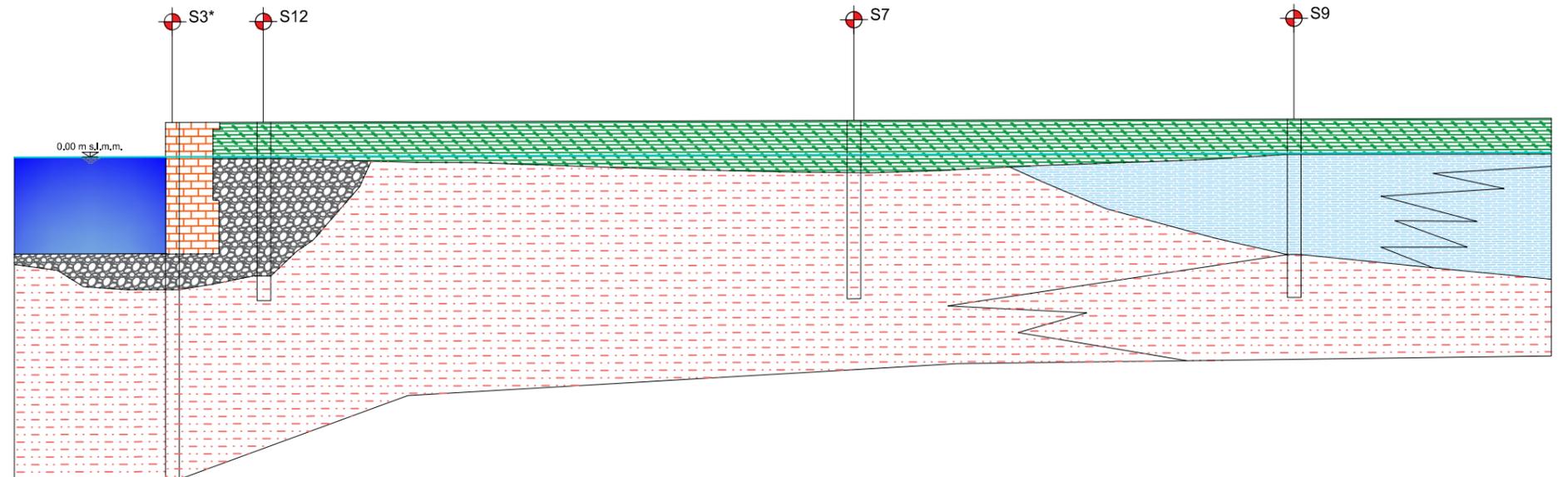
SEZIONE GEOTECNICA

SEZ. A-A' - BANCHINA NORIMBERGA  
SCALA 1:50



SEZIONE GEOTECNICA

SEZ. B-B' - BANCHINA NORIMBERGA  
SCALA 1:50



UNITA' GEOTECNICA	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$c'$ [kPa]	$\phi$ [kPa]
Blocchi litoidi in matrice fine	19.00	0.00	37.00
Riperti recenti (sfabbricidi)	17.50	0.00	26.00
Sabbie grossolane Sabbie fini e limi	18.50	20.00	32.00
Sabbie e ghiaie addensate Sabbie limose	20.00	0.00	35.00

**LEGENDA**

- Banchina
- Blocchi litoidi in matrice fine
- Riperti recenti (sfabbricidi)
- Sabbie grossolane
- Sabbie fini e limi
- Sabbie e ghiaie addensate
- Sabbie limose