



AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DELLO STRETTO

PORTI DI MESSINA, MILAZZO, TREMESTIERI, VILLA SAN GIOVANNI E REGGIO CALABRIA

LAVORI DI AMPLIAMENTO DEL MOLO NORIMBERGA DEL PORTO DI MESSINA - INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DELLA RADICE OVEST E AMPLIAMENTO DEL MOLO NORIMBERGA

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA



SCALA:

1 8

0 0 7

P R

0 0 2

- 1

G E N

ELAB./TAV.:

R.02

TITOLO:

Relazione tecnica

PROGETTAZIONE:

Capogruppo Mandataria:



MODIMAR Srl - Via Monte Zebio 40 - ROMA

Dott. Ing. Paolo Contini

Mandante:



Dott. Ing. Niccolò Saraca

Mandante:



Dott. Ing. Antonino Sutera

Mandante:



Dott. Ing. Alfredo Ingletti

REVISIONI	REV. n°	DATA	MOTIVAZIONE
	1	28/04/2023	INTEGRAZIONE PROGETTO DI AMPLIAMENTO DEL MOLO E AGGIORNAMENTO TITOLO PFTE
	0	27/01/2021	EMISSIONE

R.U.P.:

Ing. Massimiliano MACCARONE

VISTI/APPROVAZIONI:

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

AUTORITA' DI SISTEMA PORTUALE DELLO STRETTO

PORTI DI MESSINA, MILAZZO, TREMESTIERI, VILLA SAN GIOVANNI E REGGIO CALABRIA

“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del Porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga

Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica

Relazione Tecnica

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18	007	PR	002	-1	GEN

Indice

1	Premessa.....	1
2	Normativa di riferimento.....	2
3	Caratteristiche dell’opera	3
3.1	Vita nominale delle opere strutturali	3
3.2	Classe d’uso	3
3.3	Periodo di riferimento per l’azione sismica	3
3.4	Classificazione sismica	3
4	Caratterizzazione sismica.....	4
5	Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni	6
6	Caratteristiche dei materiali	8
6.1	Calcestruzzo.....	8
6.2	Acciaio per cemento armato	10
6.3	Acciaio micropali	10
6.4	Acciaio per tiranti	10
6.5	Acciaio per carpenteria metallica.....	10
7	Descrizione delle strutture esistenti.....	11
8	Descrizione dell’intervento.....	13
8.1	Intervento di consolidamento della radice ovest del molo	13
8.1.1	Descrizione delle strutture – soluzione A	14
8.1.2	Descrizione delle strutture – soluzione B	16
8.2	Intervento di ampliamento del molo	19
9	Criteri di verifica delle strutture	23
10	Dimensionamento preliminare delle strutture.....	25
10.1	Intervento di consolidamento della radice ovest del molo	25
10.1.1	Considerazioni sulla soluzione progettuale da adottare	26
10.2	Intervento di ampliamento del molo	27
10.2.1	Criteri di verifica dei pali	27
11	Arredi portuali.....	30
11.1	Intervento di consolidamento della radice ovest del molo	30
11.2	Intervento di ampliamento del molo	31

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18	007	PR	002	-1	GEN

1 Premessa

La presente relazione ha per oggetto l’intervento di consolidamento della parte radicale ovest e di ampliamento del molo Norimberga del Porto di Messina necessario al fine di migliorare la ricettività del porto nei confronti delle navi Ro-Ro e Ro-Pax dell’ultima generazione.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18	007	PR	002	-1	GEN

2 Normativa di riferimento

Il presente progetto è stato redatto in conformità alla vigente normativa nazionale riportata sinteticamente nel seguito:

- L. 5/11/1971 n. 1086 – Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso e da struttura metallica
- L. 2/2/1974 n. 64 – Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche
- D.M. 14/1/2008 – Norme tecniche per le costruzioni
- Circ. 2/2/2009 n. 617 – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni”
- D.M. 17/1/2018 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- Circ. 21/1/2019 n. 7 – Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”»
- UNI EN 1993-5:2007 – Eurocodice 3 - Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 5: Pali e palancole
- EAU 2004 – “Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbour and Waterways”

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

3 Caratteristiche dell’opera

3.1 Vita nominale delle opere strutturali

La vita nominale (V_N) di un’opera, intesa come il numero di anni nel quale è previsto che l’opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali, è posta per le strutture marittime di progetto pari a 50 anni (Tab 2.4.1 del NTC 2018 - *“Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari”*).

3.2 Classe d’uso

La classe d’uso dell’opera in rapporto alle conseguenze di un’interruzione di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche è stata assunta pari a II (*“Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d’uso III o in Classe d’uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.”*).

3.3 Periodo di riferimento per l’azione sismica

Il periodo di riferimento (V_R), in relazione al quale sono valutate le azioni sismiche sulla struttura, è ottenuto moltiplicando la vita nominale ($V_N = 50$ anni) per il coefficiente d’uso associato alla relativa classe d’uso ($C_U = 1.00$) da cui si ricava che il periodo di riferimento è pari a 50 anni.

3.4 Classificazione sismica

Il Comune di Messina è classificato in zona sismica 1 (Delibera di Giunta Regionale n. 408 del 19/12/2003).

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

4 Caratterizzazione sismica

I parametri sismici da utilizzare nei calcoli dell’opera in esame sono ricavati dalla normativa vigente a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. La pericolosità sismica nazionale è fornita dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/> e riportati in allegato al DM 14/1/2008 in corrispondenza dei nodi di un reticolo di riferimento con passo di 0.05°. In corrispondenza di ogni nodo del reticolo di riferimento, per ciascuna delle probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R) sono assegnati i valori dei seguenti parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Le probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R), cui riferirsi per individuare l’azione sismica, sono definite in relazione al tipo di stato limite sismico considerato, così come indicato nella tabella 3.2.I delle NTC2018. Nel caso specifico è stato preso in esame lo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), al quale corrisponde una probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R) pari al 10%. Pertanto il relativo periodo di ritorno dell’azione sismica ($T_R = -V_R/\ln[1-P_{VR}]$) è pari a 475 anni.

Per l’area di intervento i valori dei parametri sismici da utilizzare per la definizione dell’azione sismica di progetto, in relazione al periodo di ritorno considerato, sono riportati nella tabella seguente e sono stati calcolati attraverso il software “Spettri-NTC” edito dal C.S.LL.PP. attraverso le coordinate geografiche del sito in esame.

Tabella 1: Porto di Messina – Valutazione dell’azione sismica – Valori di riferimento

V_N (anni)	Stato limite (-)	T_R (anni)	F_0 (-)	T^*_c (s)	a_g (g)
50	SLV	475	2.411	0.359	0.247

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	002	-1	GEN

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 15.5505 LATTUDINE: 38.1943

Ricerca per comune REGIONE: Sicilia PROVINCIA: Messina COMUNE: Messina

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta |>

Variabilità dei parametri |>

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri |>

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Vita nominale della costruzione (in anni) - V_N info

Coefficiente d'uso della costruzione - C_U info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE	{ SLO - $P_{VR} = 81\%$	<input type="text" value="30"/>
	{ SLD - $P_{VR} = 63\%$	<input type="text" value="50"/>
Stati limite ultimi - SLU	{ SLV - $P_{VR} = 10\%$	<input type="text" value="475"/>
	{ SLC - $P_{VR} = 5\%$	<input type="text" value="975"/>

Elaborazioni

Grafici parametri azione |>

Grafici spettri di risposta |>

Tabella parametri azione |>

LEGENDA GRAFICO

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

---■--- Strategia scelta

Strategia di progettazione

Stato di Limite	Periodo di Ritorno (T_R) [anni]
SLO	30
SLD	50
SLV	475
SLC	975

Figura 1: Valutazione dell'azione sismica – fonte software “Spettri-NTCver1.0.3.xls” edito dal C.S.LL.PP.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

5 Caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni

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 dell’attuale molo Norimberga. 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.

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.

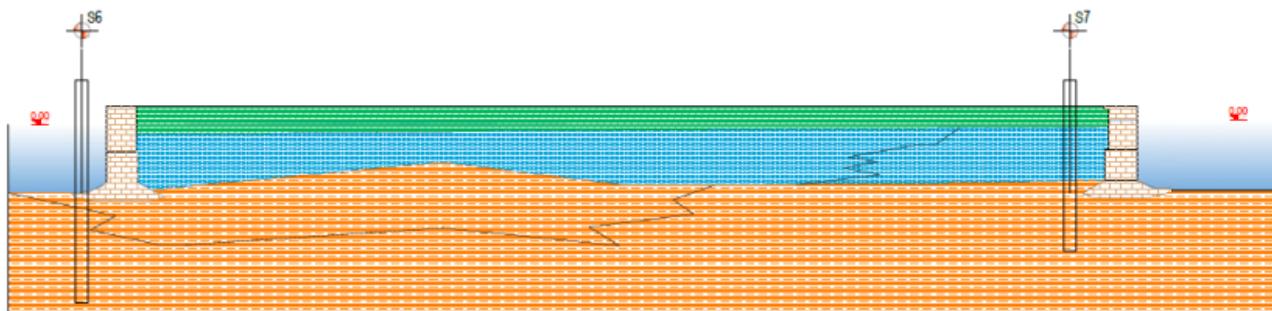
In generale, l’interpretazione delle prove in situ di tipo SPT e le prove geotecniche di laboratorio eseguite su provini ricostruiti ha permesso di estrapolare il seguente modello geotecnico di progetto:

- **Riporti eterogenei ed eterometrici [U.G. 1].** – $Y_N = 18.00 \text{ kN/m}^3$; $Y_{SAT} = 20.00 \text{ kN/m}^3$; $E' = 20 \text{ MPa}$; $c' = 0 \text{ kPa}$; $\phi' = 28^\circ$.
- **Sabbie di colore grigio scuro [U.G. 2]** – $Y_N = 21.70 \text{ kN/m}^3$; $Y_{SAT} = 21.70 \text{ kN/m}^3$; $E' = 30 \text{ MPa}$; $c' = 5 \text{ kPa}$; $\phi' = 30^\circ$.
- **Sabbie medio – fini di colore grigio – scuro [UG. 3]** – $Y_N = 18.50 \text{ kN/m}^3$; $Y_{SAT} = 19.00 \text{ kN/m}^3$; $E' = 50 \text{ MPa}$; $c' = 0 \text{ kPa}$; $\phi' = 35^\circ$.

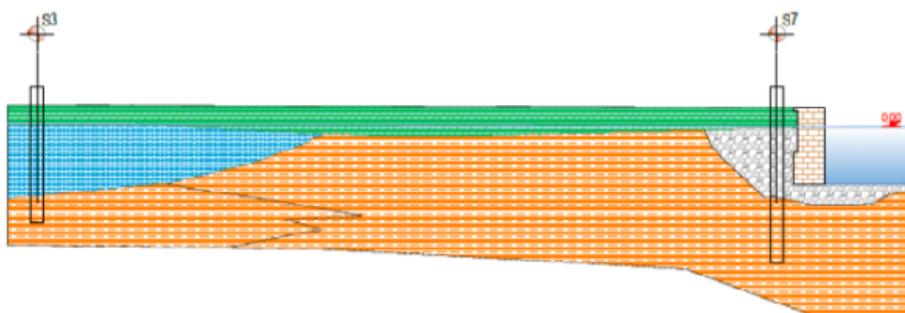
Per quanto riguarda l’intervento di consolidamento della radice ovest del molo, sulla base delle valutazioni eseguite è stato messo a punto un intervento di consolidamento colonnare in jet grouting con la finalità di migliorare le scadenti proprietà del terreno di riporto incrementando la portanza dello strato di fondazione, la rigidità nei riguardi dei cedimenti indotti e una riduzione delle spinte agenti sulla radice esistente in massi sovrapposti. La lunghezza dei micropali per l’ancoraggio in testa della paratia di pali è tale da raggiungere lo strato più competente di base in grado di garantire una maggiore resistenza laterale del cavalletto e un incremento della resistenza allo sfilamento della fondazione dei micropali medesimi.

Nella figura seguente sono riportate le sezioni geotecniche; per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica-geotecnica di progetto.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN



Sezione S6-S7



Sezione S3-S7

-  Banchina
-  Blocchi litoidi in matrice fine
-  Riperti Recenti
-  Sabbie e Ghiaia
Sabbie fini e Limi
-  Sabbie e Ghiaie Addensate
Sabbie Limose

Figura 2: Sezioni geologiche-geotecniche

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

6 Caratteristiche dei materiali

6.1 Calcestruzzo

Calcestruzzo classe di resistenza C35/45 (Rck45)

Le opere di c.a. sono realizzate con calcestruzzo di classe di resistenza C35/45, classe di esposizione XS3, classe di consistenza S4 e diametro massimo dell’aggregato 32 mm. Le principali caratteristiche meccaniche del calcestruzzo sono riportate nel prospetto seguente:

- *Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo:*

$$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} \qquad f_{cm} = f_{ck} + 8 \qquad f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$$

$$\alpha_{cc} = 0.85 \qquad \gamma_c = 1.5$$

- *Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo:*

$$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} \qquad f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} \qquad f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c$$

- *Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo:*

$$f_{bk} = 2.25 \times \eta_1 \times \eta_2 \times f_{ctk} \qquad f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c$$

$$\eta_1 = 1.0 \text{ buona aderenza} \qquad \eta_2 = 1.0 \text{ barre di diametro } < 32 \text{ mm}$$

- *Caratteristiche meccaniche:*

$$E_{cm} = 22000 \times [f_{cm}/10]^{0.3} \qquad v_{cls \text{ fess.}} = 0 \qquad v_{cls \text{ non fess.}} = 0.2 \qquad \alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Calcestruzzo	R _{ck}	f _{ck}	f _{cm}	f _{cd}	f _{ctm}	f _{ctk}	f _{ctd}	f _{bk}	f _{bd}	E _{cm}
	(Mpa)									
C35/45	45	37.3	45.3	21.2	3.3	2.3	1.6	5.3	3.5	34625

Per il diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo è stato adottato il modello σ - ϵ parabola rettangolo illustrato nella figura seguente con $\epsilon_{c2} = 0.20\%$ e $\epsilon_{cu} = 0.35\%$

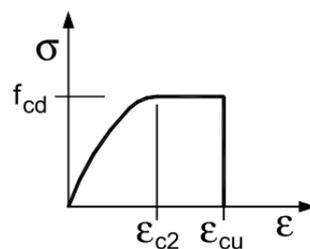


Figura 3: Diagramma tensione-deformazione del calcestruzzo

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

Calcestruzzo classe di resistenza C45/55 (Rck55) (travi prefabbricate tipo PREM)

Resistenza di calcolo a compressione del calcestruzzo

$$R_{ck} = 55 \text{ MPa}$$

$$f_{ck} = 0.83 \times R_{ck} = 45.65 \text{ MPa}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 53.65 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c = 25.87 \text{ MPa}$$

Resistenza di calcolo a trazione del calcestruzzo

$$f_{ctm} = 0.30 \times f_{ck}^{2/3} = 3.35 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk} = 0.7 \times f_{ctm} = 2.35 \text{ MPa}$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 1.56 \text{ MPa}$$

Tensione tangenziale di aderenza acciaio-calcestruzzo

$$f_{bk} = 2.25 \times \eta \times f_{ctk} = 5.29 \text{ MPa}$$

$$f_{bd} = f_{bk} / \gamma_c = 3.52 \text{ MPa}$$

$$E_{cm} = 22000 \times [f_{cm}/10]^{0.3} = 36416 \text{ MPa}$$

$$v_{cls \text{ fess.}} = 0$$

$$v_{cls \text{ non fess.}} = 0.2$$

$$\alpha = 10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	18	007	PR	002	-1	GEN

6.2 Acciaio per cemento armato

L'acciaio impiegato per la realizzazione delle opere di c.a. è del tipo B450C ed è caratterizzato dai seguenti valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento e rottura da utilizzare nei calcoli:

- $f_{y\text{ nom}} = 450 \text{ N/mm}^2$
- $f_{t\text{ nom}} = 540 \text{ N/mm}^2$

La resistenza di calcolo dell'acciaio (f_{yd}) è riferita alla tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio ed è ottenuta dividendo quest'ultima per un coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio (γ_s) pari a 1.15:

$$f_{yd} = 391 \text{ N/mm}^2$$

Per il diagramma tensione-deformazione dell'acciaio è stato adottato un modello σ - ϵ elastico perfettamente plastico indefinito illustrato nella figura seguente.

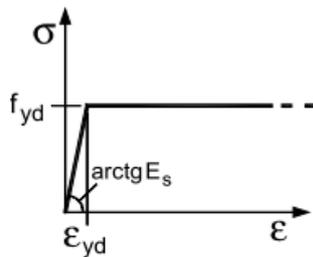


Figura 4: Diagramma tensione-deformazione dell'acciaio

Per il modulo elastico dell'acciaio si è fatto riferimento al seguente valore:

$$E_s = 210000 \text{ N/mm}^2$$

da cui si ricava il seguente valore della deformazione di snervamento dell'acciaio da utilizzare nei calcoli:

$$\epsilon_{yd} = 0.20\%$$

6.3 Acciaio micropali

L'armatura tubolare in acciaio dei micropali previsti nel progetto, sono costituiti da acciaio S355, avente una tensione di snervamento $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$ e una tensione di rottura $f_{uk} \geq 510 \text{ MPa}$.

6.4 Acciaio per tiranti

Barre per ancoraggi permanenti in acciaio S355, avente una tensione di snervamento $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$ e una tensione di rottura $f_{uk} \geq 510 \text{ MPa}$.

6.5 Acciaio per carpenteria metallica

La carpenteria metallica e bulloneria relativa al sistema di ancoraggio dei tiranti sono in acciaio S355, avente una tensione di snervamento $f_{yk} \geq 355 \text{ MPa}$ e una tensione di rottura $f_{uk} \geq 510 \text{ MPa}$.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

7 Descrizione delle strutture esistenti

Il tratto di banchina interessata dall’intervento che parte dalla radice ovest del molo Norimberga è del tipo “a massi sovrapposti” realizzati in conglomerato cementizio, appoggiati su uno scanno in pietrame, a contenimento del materiale di riporto sottostante il piazzale di banchina. Planimetricamente la banchina è radicata alla banchina ovest del molo Norimberga con un angolo di circa 120°. L’attuale quota del fondale prospiciente è mediamente pari a -9.m s.m.; la quota del piazzale a ridosso del ciglio banchina è di circa +2.50 m s.m. (v. Figura 5). Al piede della banchina sono state rilevate sgrottature temporaneamente sanate con interventi locali di riempimento che compromettono la sua stabilità.

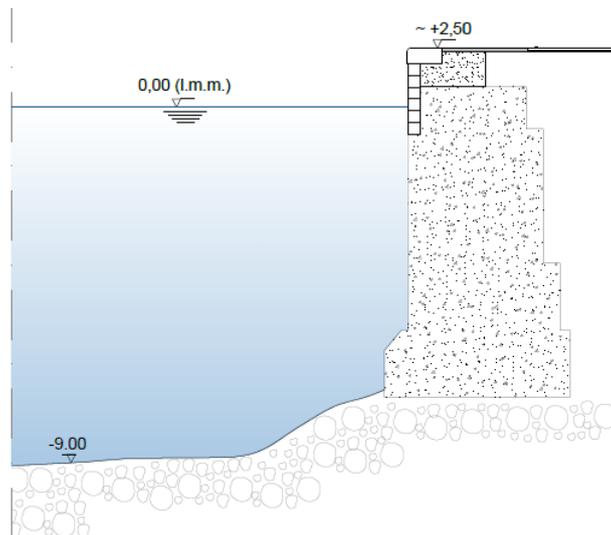


Figura 5: Sezione tipo attuale della banchina oggetto d’intervento – Radice ovest del molo Norimberga del tipo a massi sovrapposti

Le banchine del molo Norimberga a cui l’intervento in oggetto si dovrà raccordare è caratterizzato dalla medesima tipologia strutturale, consolidata e rifoderata sul fronte d’accosto nei primi anni 2000 secondo lo schema di seguito riportato.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

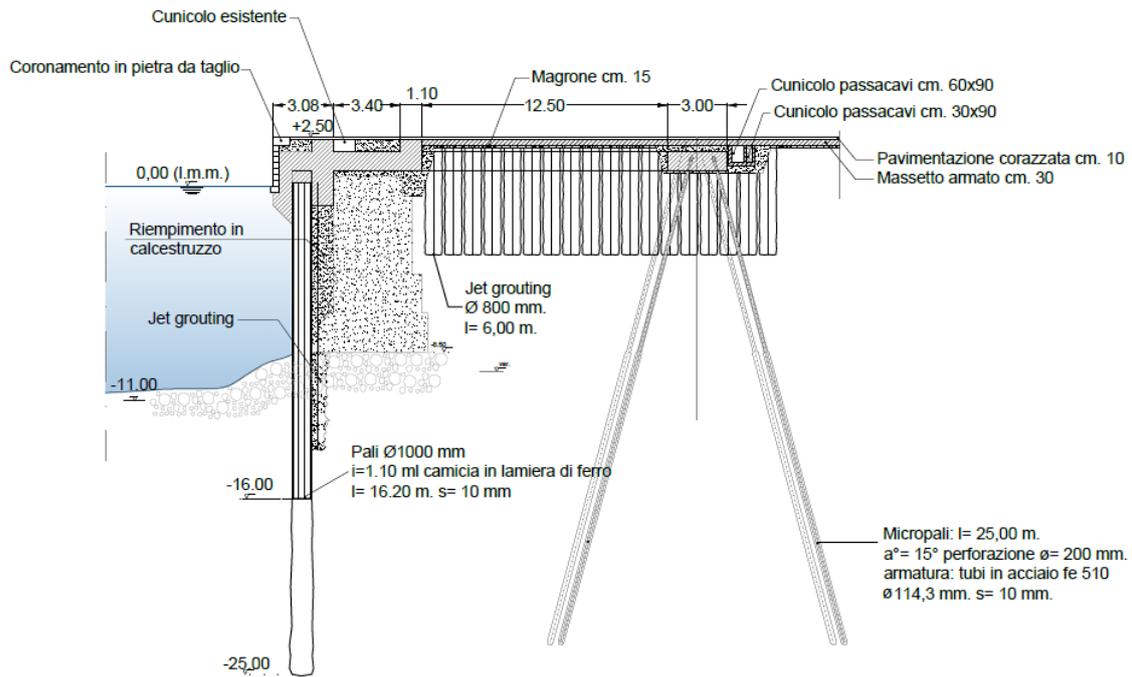


Figura 6: Molo Norimberga – Sezione tipo attuale

Le caratteristiche tecniche dei muri di banchina esistenti interessati dagli interventi in oggetto e l'attuale condizione di stabilità ridotte dalla vetustà dell'opera di sostegno a massi sovrapposti interessata da particolari fenomeni di sgrottamento, hanno fatto preferire, per l'intervento di consolidamento della radice ovest del molo, soluzioni a basso impatto in termini di azioni indotte durante la fase realizzativa come ad esempio vibrazioni o azioni impulsive che potrebbero causare cedimenti e crolli incontrollati. Per cui sono state considerate poco sicure soluzioni che prevedono palancolati vibro infissi o pali battuti a favore della tecnologia del palo trivellato in calcestruzzo armato.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

8 Descrizione dell'intervento

8.1 Intervento di consolidamento della radice ovest del molo

Il nuovo fronte di accosto per navi Ro-Ro e Ro-Pax, per uno sviluppo di circa 20 m a partire dalla radice ovest del molo Norimberga, è previsto attraverso un intervento di resecazione dell'attuale banchina a massi sovrapposti che si attesta nella radice ovest del molo Norimberga (vedi Figura 7) andando a realizzare un nuovo fronte di accosto che si raccorderà ortogonalmente al molo stesso permettendo di superare le attuali criticità inerenti all'attracco delle navi e facilitandone l'apertura del portellone di poppa verso terra. Il nuovo fronte banchina è previsto con pali in c.a. trivellati di grosso diametro (1000 mm) affiancati, allineati perpendicolarmente al fronte esistente della banchina ovest del molo Norimberga, ed intirantati ad un sistema d'ancoraggio realizzato o attraverso con un cavalletto di micropali o alternativamente attraverso una paratia di pali trivellati in c.a. di ancoraggio. L'interspazio tra i pali affiancati di banchina è previsto con un trattamento di jet grouting di intasamento/sigillatura al fine di scongiurare la perdita del materiale di riempimento a tergo della banchina. Il terreno esistente a tergo del paramento di banchina è previsto che sia migliorato geotecnicamente con colonne di jet grouting.

La planimetria di intervento e le soluzioni progettuali alternative che prevedono una differente tipologia di ancoraggio sono descritte nei seguenti paragrafi.

Lo studio di due differenti sistemi di ancoraggio alternativi è stato svolto a seguito dell'individuazione dell'interferenza dettata dalla presenza di edifici nel piazzale retrostante il nuovo banchinamento oltre che dall'attuale mancanza di informazioni stratigrafiche e geotecniche puntuali dell'area di intervento stessa (vedi Figura 8).

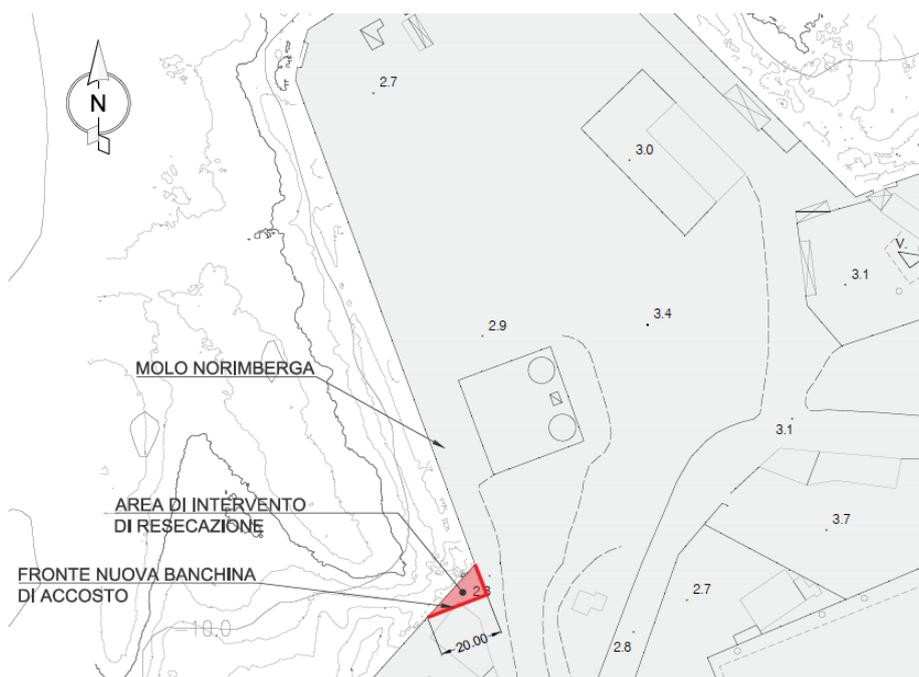


Figura 7: Planimetria di intervento

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

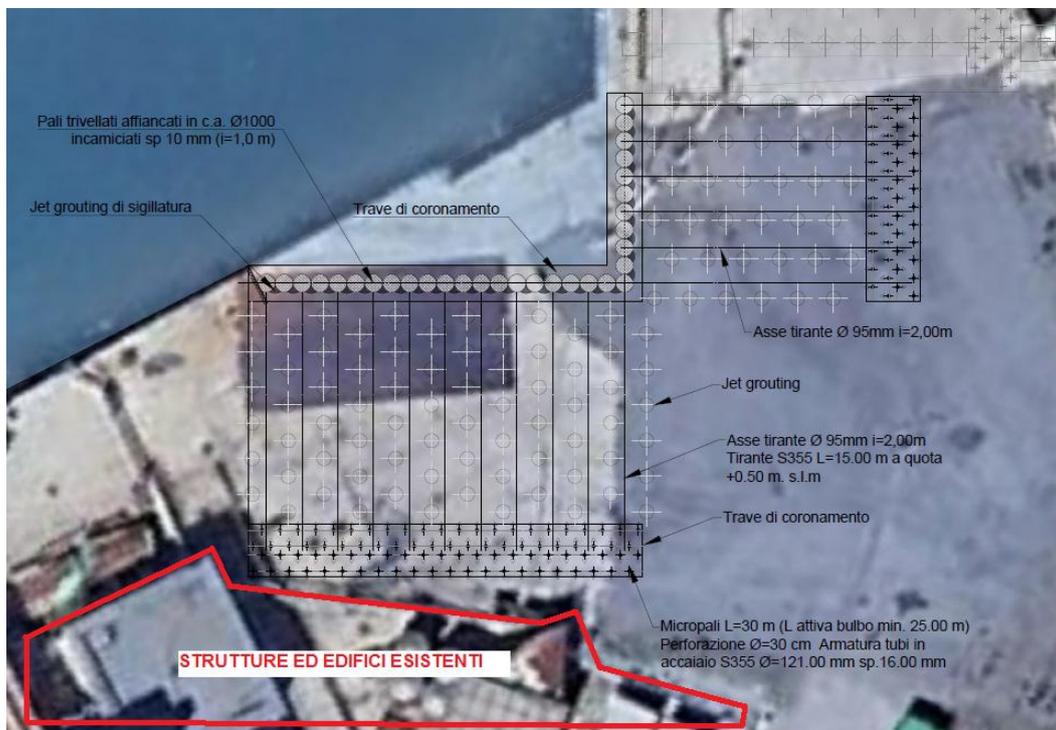


Figura 8: Presenza di edifici e strutture di possibile interferenza

8.1.1 Descrizione delle strutture – soluzione A

Il nuovo fronte banchina previsto per la soluzione A è caratterizzato da una paratia di pali in c.a. trivellati di grosso diametro (1000 mm) affiancati, con interasse 1.0 m, collegati in testa attraverso una robusta trave di coronamento in c.a., secondo lo schema che prevede il fronte banchina intirantato ad una paratia di ancoraggio formata da pali trivellati in c.a. di grosso diametro (1000 mm) affiancati con interasse 2.0 m, anch’essi collegati in testa attraverso una robusta trave di coronamento in c.a., posti ad una distanza nominale di 15.0 m dalla paratia di banchina. Il piede della paratia di banchina è posta alla quota -28.0 m s.m. mentre il piede della paratia di ancoraggio è posta alla quota -14.0 m s.m. Il collegamento tra la paratia di banchina e la paratia di ancoraggio è affidata a dei tiranti metallici di ancoraggio previsti in barre di acciaio S355 di diametro minimo $\Phi 95$ mm posti a quota +0.50 m s.m. e disposti con interasse di 2.0 m. La quota finito di banchina di calcolo è posta alla +2.50 m dal livello medio marino.

L’interspazio tra i pali affiancati di banchina è previsto con un trattamento di jet grouting di intasamento/sigillatura fino a quota -14.0 m s.m. al fine di scongiurare la perdita del materiale di riempimento a tergo della banchina. Il materiale di riempimento a tergo del paramento di banchina è previsto che sia migliorato geotecnicamente con colonne di jet grouting.

I pali trivellati in c.a. del fronte banchina sono previsti con camicia in lamiera di ferro di spessore 10 mm che dalla testa del palo arriva fino a quota minima -16.00 m s.m.. La camicia ha lo scopo di proteggere il palo durante le delicate fasi di demolizione dell’area di banchina oggetto di

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

resecazione. Se per ragioni costruttive di sostenere lo scavo durante la formazione dei pali trivellati si rendesse necessario l’allungamento della camicia, questa sarà dunque prevista dalla testa del palo fino al piede per entrambe le paratie di banchine e di ancoraggio.

Lo schema planimetrico e le sezioni tipologiche sono riportate nelle figure seguenti.

La struttura è stata progettata per sostenere un sovraccarico massimo di banchina di 20 kN/m^2 e le spinte del terreno a tergo con fondale di calcolo posto a quota -11.00 m s.m. .

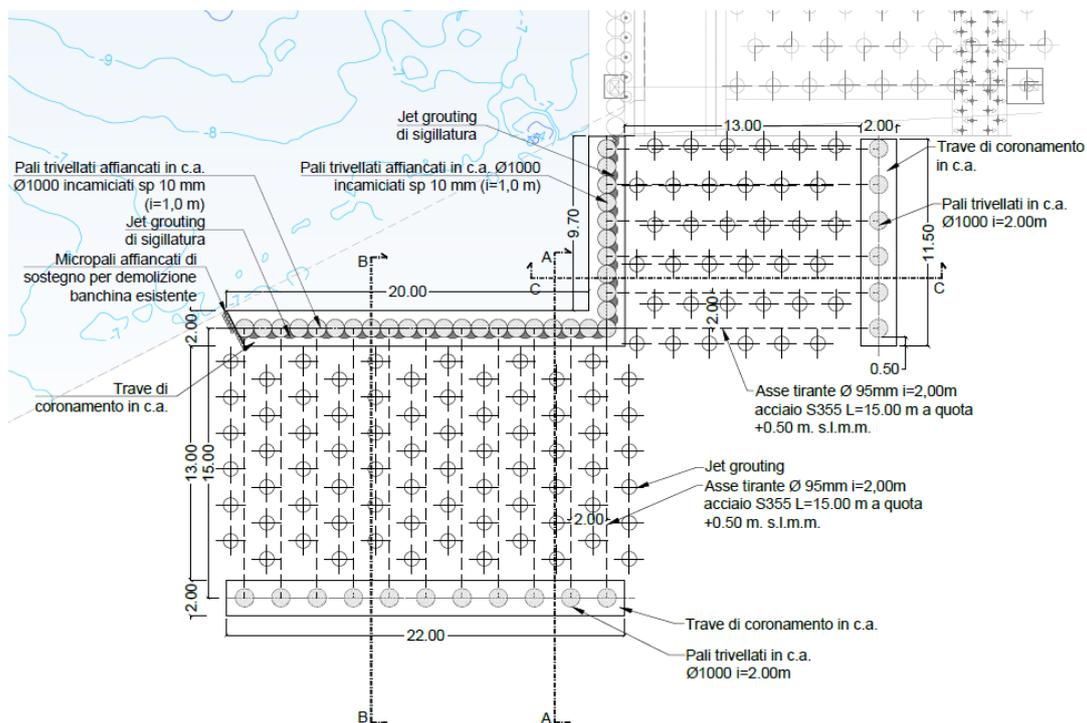


Figura 9: Planimetria delle strutture – soluzione A

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

tiranti metallici di ancoraggio previsti in barre di acciaio S355 di diametro minimo $\Phi 95$ mm posti a quota +0.50 m s.m. e disposti con interasse di 2.0 m. La quota finito di banchina di calcolo è posta alla +2.50 m dal livello medio marino.

L’interspazio tra i pali affiancati di banchina è previsto con un trattamento di jet grouting di intasamento/sigillatura fino a quota -14.0 m s.m. al fine di scongiurare la perdita del materiale di riempimento a tergo della banchina. Il materiale di riempimento a tergo del paramento di banchina è previsto che sia migliorato geotecnicamente con colonne di jet grouting.

I pali trivellati in c.a. del fronte banchina sono previsti con camicia in lamiera di ferro di spessore 10 mm che dalla testa del palo arriva fino a quota minima -16.00 m s.m.. La camicia ha lo scopo di proteggere il palo durante le delicate fasi di demolizione dell’area di banchina oggetto di resecazione. Se per ragioni costruttive di sostenere lo scavo durante la formazione dei pali trivellati si rendesse necessario l’allungamento della camicia, questa sarà dunque prevista dalla testa del palo fino al piede.

Lo schema planimetrico e le sezioni tipologiche sono riportate nelle figure seguenti.

La struttura è stata progettata per sostenere un sovraccarico massimo di banchina di 20 kN/m^2 e le spinte del terreno a tergo con fondale di calcolo posto a quota -11.00 m s.m..

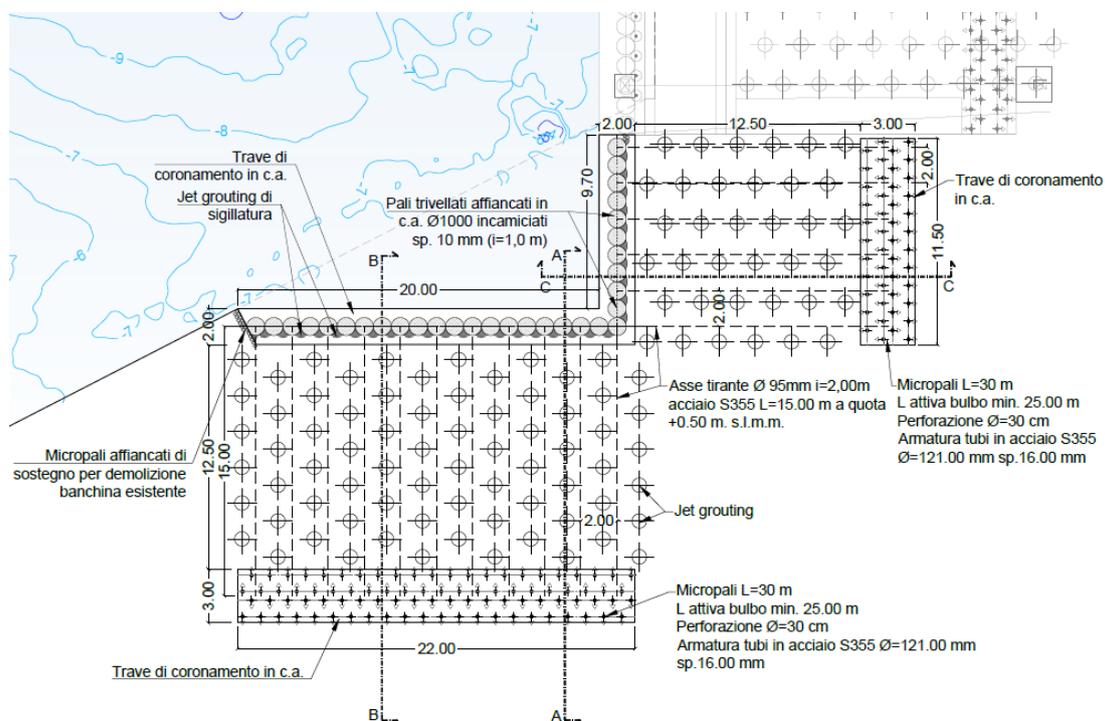
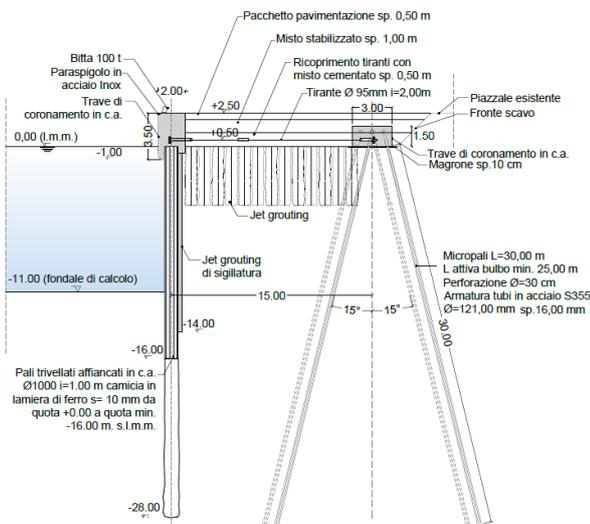


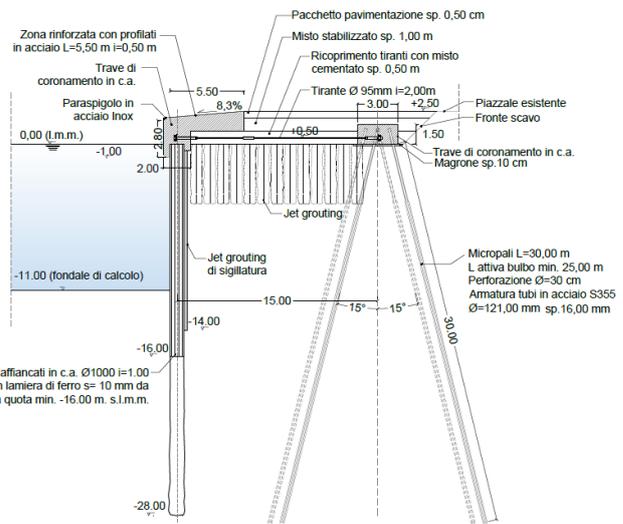
Figura 11: Planimetria delle strutture – soluzione B

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	002	-1	GEN

SEZIONE TIPO AA SOLUZIONE B



SEZIONE TIPO BB SOLUZIONE B



SEZIONE TIPO CC - SOLUZIONE B

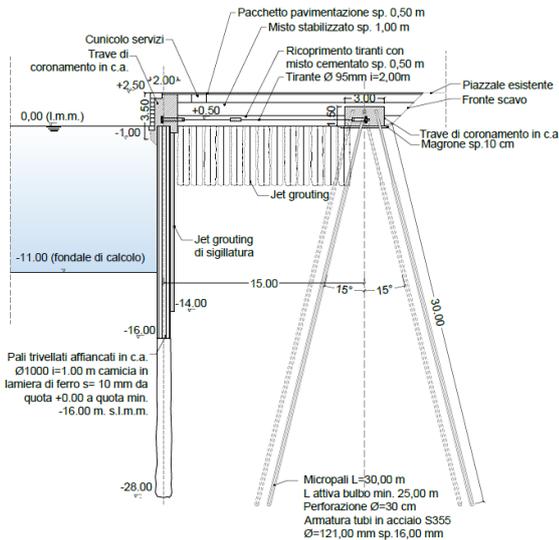


Figura 12: Sezioni tipo delle strutture – soluzione B

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

8.2 Intervento di ampliamento del molo

L’intervento prevede la realizzazione di una nuova banchina a giorno su pali di grosso diametro pari a 1200 mm di lunghezza media pari a 46 m e rivestiti con una camicia metallica di spessore 12 mm che interesserà lo specchio acqueo antistante l’attuale banchina di testata per un oggetto di 50 m dall’attuale filo banchina di testata del molo.

L’ampliamento del molo Norimberga vede un prolungamento di circa 63 m dell’attuale banchina ovest del molo seguendone l’attuale filo, per poi realizzare un fronte di testata di 25 m con allineamento parallelo all’attuale filo banchina di testata; il raccordo tra la nuova banchina di testata e l’attuale banchina est del molo è realizzato con un filo banchina di circa 78 m che incide di circa 40° il filo dell’attuale testata. L’intervento è completato dalla pavimentazione di tutta la superficie della nuova opera, dalla realizzazione della rete di raccolta delle acque meteoriche e dei cunicoli necessari per il passaggio dei servizi. I dispositivi di accosto ed ormeggio della nuova banchina sono stati posizionati con una disposizione in modo da assicurare sia per le bitte che per i parabordi un interasse di circa 20 m. Nella Figura 13 viene mostrata la planimetria di progetto dell’opera finita.

Ottimizzando la soluzione scelta durante l’analisi comparativa delle alternative, la struttura di fondazione è costituita da una serie di pali di calcestruzzo con camicia metallica di diametro pari a 1200 mm disposti secondo una maglia quadrilatera nella quale la dimensioni massima è di circa 8.45x6.05 m. Sulla sommità dei pali è prevista la realizzazione di pulvini a pianta quadrilatera di dimensioni 2.20x2.20x0.45 m sui quali poggeranno le travi prefabbricate tipo PREM, di dimensioni 1.00x1.00 m, che costituiscono la struttura portante dell’impalcato di c.a.

Nell’angolo nord-ovest dell’attuale testata è prevista la realizzazione di un cofferdam realizzato con pali trivellati affiancati $\Phi 1000$ mm di lunghezza pari a 46 m e rivestiti con una camicia metallica di spessore 12 mm, collegati in testa da una soletta/tirante resa solidale con le travi di coronamento in c.a. in testa ai pali e con le strutture di ampliamento del molo sopradescritte. Il cofferdam ha la funzione di realizzare un “terrapieno” per contenere l’impianto di trattamento delle acque di raccolta di piazzale; tale scelta è stata adottata come alternativa alla demolizione di un tratto di banchina esistente per consentire l’installazione dell’impianto. Per limitare le sollecitazioni agenti sulle strutture del cofferdam è previsto che il riempimento all’interno del cofferdam sia fatto con calcestruzzo.

Nella Figura 14 viene riportata la pianta di progetto a quota +1.00 m dove si osserva il grigliato formato dalle travi prefabbricate PREM della struttura portante dell’impalcato e delle travi prefabbricate di irrigidimento della soletta in direzione ortogonale alle PREM.

Superiormente le travi saranno collegate da una soletta di c.a. gettata in opera che costituirà il piano di calpestio della nuova opera.

La struttura portante dell’impalcato è divisa trasversalmente in due parti strutturalmente indipendenti collegate da un giunto, parallelo al filo di banchina ovest, che si estende fino alla banchina di testata esistente.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	002	-1	GEN

Lungo i bordi che segnano il contatto con le banchine esistenti è prevista la realizzazione di un ulteriore 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.

Nella Figura 14 vengono riportate le sezioni di progetto.

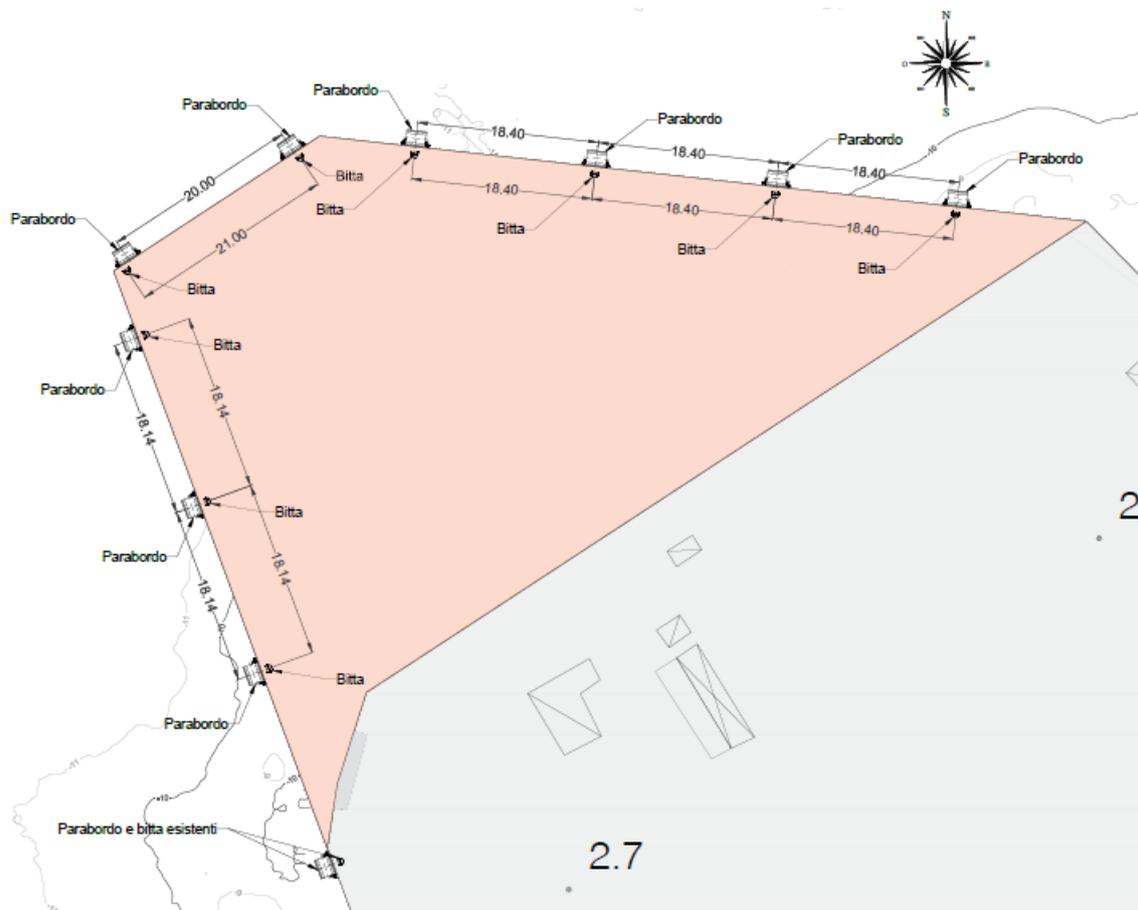


Figura 13: Planimetria di progetto dell'opera finita

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto	Data: 28 aprile 2023					
		18	007	PR	002	-1	GEN

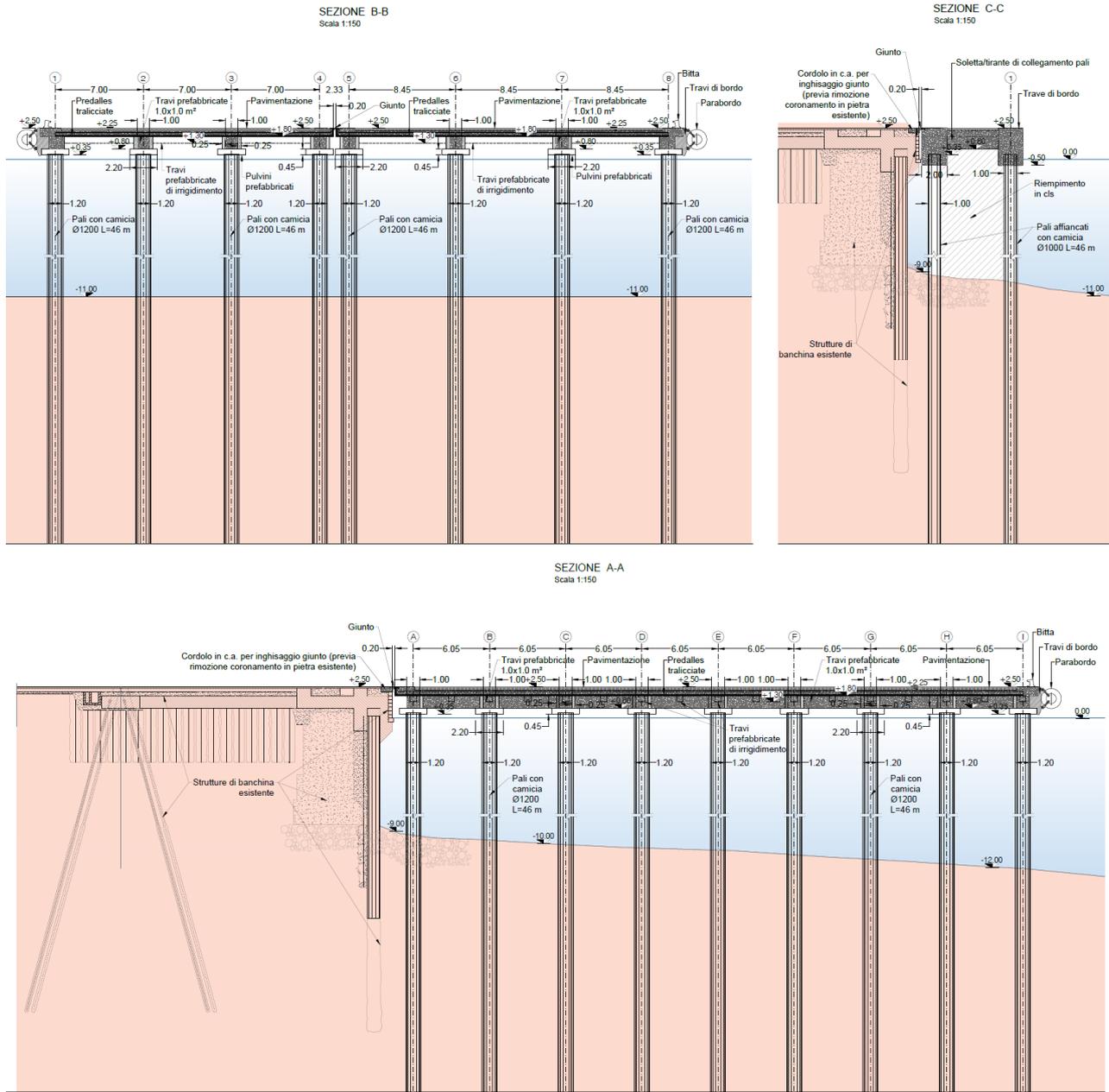


Figura 15: Sezioni di progetto di ampliamento del molo

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

9 Criteri di verifica delle strutture

Le verifiche di sicurezza relative agli stati limite ultimi (SLU) vengono effettuate in ottemperanza alla normativa nazionale “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17/01/2018, secondo i criteri sotto riportati.

Per le strutture di sostegno si devono considerare i seguenti stati limite ultimi:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - Collasso per atto di moto rigido (A2+M2+R1)
 - Instabilità globale del sistema terreno-opera (A2+M2+R2)
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - Raggiungimento della resistenza strutturale della paratia (A1+M1+R1)
 - Raggiungimento della resistenza di uno o più ancoraggi (A1+M1+R1)

Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU)

Deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto delle azioni o dell’effetto delle azioni e R_d è il valore di progetto della resistenza.

Per ogni caso di carico critico, i valori di progetto degli effetti delle azioni (E_d) devono essere determinati combinando il valore di azioni che si verificano simultaneamente nel modo seguente:

- *Combinazione fondamentale per gli stati limite ultimi:* valori di progetto delle azioni permanenti G_i e contemporanea presenza delle azioni variabili Q_j

$$E_d = \sum_i \gamma_{Gi} G_{ik} + \gamma_{Qk} (Q_{1k} + \sum_j \psi_{0j} Q_{jk})$$

assumendo per i coefficienti parziali γ_G e γ_Q e per i coefficienti di combinazione ψ_{0j} i valori relativi alle singole strutture studiate.

La verifica per le opere di sostegno flessibili deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 ed M2) e per le resistenze (R1 e R2).

Pertanto i calcoli e le verifiche devono essere condotte per le combinazioni:

- A1+M1+R1 per le verifiche di tipo strutturale;
- A2+M2+R1 per le verifiche di tipo geotecnico;
- A2+M2+R2 per le verifiche geotecniche di instabilità globale terreno-opera;

dove R, relativo alle resistenze è da assumere caso per caso in funzione del tipo di verifica.

Nella prima combinazione (A1+M1) i parametri del terreno sono quelli caratteristici ($\gamma_M = 1$) e le azioni sono amplificate con coefficienti $\gamma_F \neq 1$ (verifica strutturale, STR), mentre nella seconda

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

(A2+M2) i parametri del terreno vengono ridotti mediante coefficienti $\gamma_M \neq 1$ e le azioni sono quelle caratteristiche (verifica geotecnica, GEO).

Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi in condizioni sismiche (SLU – EQK)

Deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto delle azioni o dell’effetto delle azioni e R_d è il valore di progetto della resistenza.

Per ogni caso di carico critico, i valori di progetto degli effetti delle azioni (E_d) devono essere determinati combinando il valore di azioni che si verificano simultaneamente nel modo seguente:

- *Combinazione sismica agli stati limite ultimi:* valori caratteristici delle azioni permanenti G_i con i valori frequenti delle azioni variabili Q_j e con il valore di progetto dell’azione sismica E_{AE}

$$E_d = \sum_i G_{ik} + E_{AE} + \sum_j \psi_{2j} Q_{jk}$$

assumendo per i coefficienti di combinazione ψ_{2j} i valori definiti nella Tab. 2.5.I del D.M.18.

In accordo con il D.M. 17/01/2018 (§ 7.1 della normativa di riferimento), le verifiche devono essere condotte nel rispetto degli stati limiti ultimi relative al solo SLV e i coefficienti parziali A (azioni) ed M (parametri geotecnici) sono tutti uguali a 1.

Pertanto i calcoli e le verifiche sono state condotte per le combinazioni:

- 1.0+1.0+R1 per le verifiche di tipo strutturale;
- 1.0+1.0+R1 per le verifiche di tipo geotecnico;
- 1.0+1.0+R2 per le verifiche geotecniche di instabilità globale terreno-opera;

dove R, relativo alle resistenze è da assumere caso per caso in funzione del tipo di verifica.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

10 Dimensionamento preliminare delle strutture

10.1 Intervento di consolidamento della radice ovest del molo

Sulla base dei criteri di verifica definiti nel §9 è stato svolto il dimensionamento preliminare delle strutture di progetto descritte nei capitoli §8.1.1 e §8.1.2.

Per i calcoli di verifica è stato utilizzato il software specialistico PARATIE PLUS di Harpaceas Srl.

PARATIE PLUS è un codice agli elementi finiti che simula il problema di uno scavo sostenuto da diaframmi flessibili e permette di valutare il comportamento della parete di sostegno durante tutte le fasi intermedie e nella configurazione finale. Il problema è ricondotto ad un problema piano in cui viene analizzata una “fetta” di parete di larghezza unitaria. La modellazione numerica dell’interazione terreno-struttura è del tipo “TRAVE SU SUOLO ELASTICO-PLASTICO”: le pareti di sostegno vengono rappresentate con elementi finiti trave il cui comportamento è definito dalla rigidità flessionale EJ, mentre il terreno viene simulato attraverso elementi elastoplastici monodimensionali (molle) connessi ai nodi delle paratie: ad ogni nodo convergono uno o al massimo due elementi terreno. La realizzazione dello scavo sostenuto da una o due paratie, eventualmente tirantate, viene seguita in tutte le varie fasi attraverso un’analisi statica incrementale: ogni passo di carico coincide con una ben precisa configurazione caratterizzata da una certa quota di scavo, da un certo insieme di tiranti applicati, da una ben precisa disposizione di carichi applicati. Poiché il comportamento degli elementi finiti è di tipo elastoplastico, ogni configurazione dipende in generale dalle configurazioni precedenti e lo sviluppo di deformazioni plastiche ad un certo passo condiziona la risposta della struttura nei passi successivi. La soluzione ad ogni nuova configurazione (step) viene raggiunta attraverso un calcolo iterativo alla Newton-Raphson.

Il modello di calcolo tiene conto degli elementi caratteristici della sezione in oggetto:

- caratteristiche geotecniche degli strati interessati;
- caratteristiche geometriche e meccaniche costituenti la struttura in oggetto;
- fasi costruttive e combinazioni di carico in esercizio.

Per la verifica a sfilamento dei micropali del cavalletto di ancoraggio della soluzione B è stato inoltre applicato il metodo di Bustamante e Doix (1985).

Le macrofasi costruttive assunte nel modello di calcolo hanno previsto:

- condizione geostatica iniziale con terreno a quota +2.50 m s.m. di calcolo del piano finito di banchina con realizzazione delle strutture di banchina e di ancoraggio;
- scavo a quota +0.00 m per posa tiranti e realizzazione delle travi di coronamento per il collegamento delle strutture di banchina e di ancoraggio;
- rimozione del terreno fronte banchina (area banchina oggetto di resecazione) fino alla quota massima di calcolo di -11.00 m s.m.;
- riempimento-ricoprimento del sistema d’ancoraggio e del terrapieno di banchina fino a quota di sommità del piano finito di calcolo a +2.50 m s.m.;

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
	Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

- applicazione delle azioni variabili;
- applicazione del sisma.

I risultati delle verifiche, sia per le condizioni statiche che sismiche, hanno confermato la convergenza del modello di calcolo che è indice di stabilità dell’opera (la paratia non è labile per plasticizzazione del terreno resistente).

La verifica di stabilità globale del complesso struttura-terreno sono state condotte con il consolidato metodo dell’equilibrio limite di Bishop. Nella figura seguente si riporta il risultato della verifica di stabilità globale della struttura per la condizione sismica che è risultata essere la condizione più gravosa. Come è possibile notare la condizione di stabilità risulta soddisfatta.

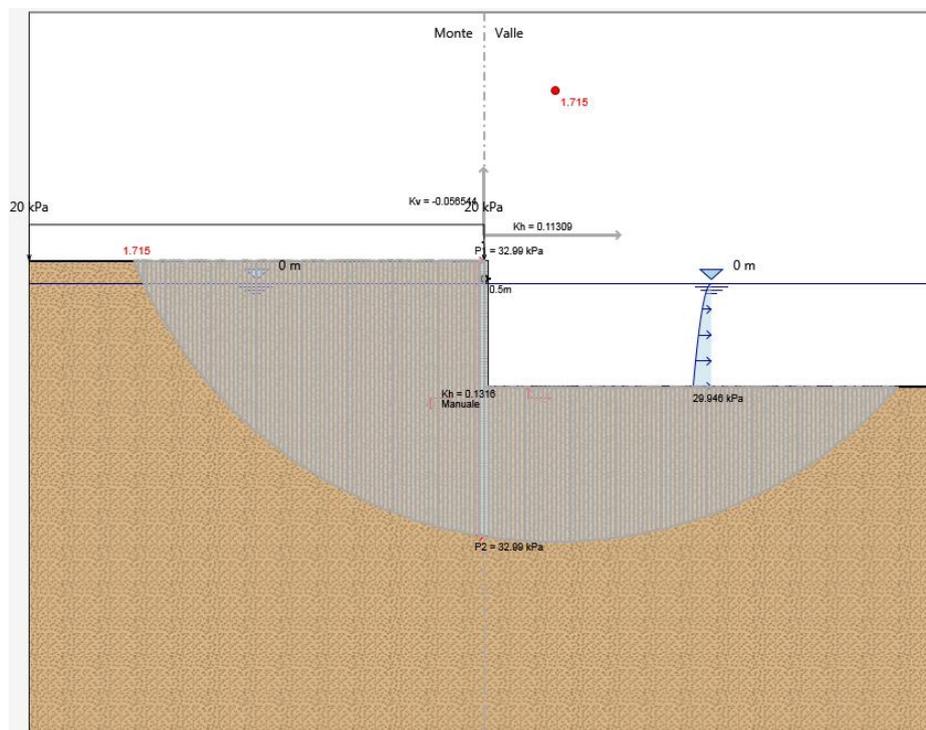


Figura 16: Valore del coefficiente di sicurezza minimo (F_s) ottenuto in riferimento alla superficie di scorrimento critica per la verifica di stabilità di insieme in condizioni sismiche

10.1.1 Considerazioni sulla soluzione progettuale da adottare

Il presente progetto di Fattibilità tecnica ed economica ha visto l’individuazione di due soluzioni progettuali alternative che si differenziano per una differente tipologia di strutture di ancoraggio del nuovo fronte banchina. La necessità di indicare due soluzioni alternative, che sono risultate essere paragonabili sia in termini di resistenza offerta che di costi di realizzazione, è stata dettata dalla presenza di edifici che si sviluppano nell’attuale piazzale di banchina in posizione limitrofa al sistema di ancoraggio stesso e che possono dunque portare ad una interferenza tra il nuovo sistema di ancoraggio e le fondazioni degli edifici esistenti. Per tale ragione si ritiene necessario rimandare la scelta della tipologia di struttura ottimale nella successiva fase di progettazione

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

I pali di fondazione sono stati dimensionati eseguendo la verifica nei confronti del collasso per carico limite della palificata nei riguardi dei carichi assiali seguendo le indicazioni delle NTC 2018. La verifica è stata effettuata secondo l’approccio 2 con la combinazione (A1+M1+R3).

10.2.1.1 Analisi dei carichi

Il dimensionamento dei pali è stato effettuato considerando i seguenti carichi:

Peso proprio del palo	(tratto fuori acqua e immerso)	779.17 kN
Peso proprio del lamierino	(tratto fuori acqua e immerso)	1054.72 kN
Peso proprio del pulvino	25 kN/m ³ x 2.2 x 2.2 x 0.45	54.45 kN
Peso proprio travi PREM	25 kN/m ³ x 1.0 x 1.0 x 6.05	151.25 kN
Peso proprio travi di irrigidimento	nr.2 x 25 kN/m ³ x 0.5 x 0.5 x 8.45	105.63 kN
Peso proprio predalles	25 kN/m ³ x 8.45 x 6.05 x 0.10	115.87 kN
Nodo travi	25 kN/m ³ x 1.50 x 1.50 x 1.00	56.25 kN
Peso proprio getto di completamento	25 kN/m ³ x 8.45 x 6.05 x 0.45	575.13 kN
Pavimentazione stradale	22 kN/m ³ x 8.45 x 6.05 x 0.25	281.17 kN
Sommano:		3185.57 kN/palo

È stato inoltre considerato il sovraccarico di 20 kN/m² applicato sull’area di influenza del palo:

$$Q = 20 \text{ kN/m}^2 \times 8.45 \text{ m} \times 6.05 \text{ m} = \mathbf{1022.45 \text{ kN/palo}}$$

10.2.1.2 Combinazione dei carichi

Ai fini del dimensionamento preliminare, i carichi considerati nella verifica nei confronti del collasso per carico limite della palificata sono stati combinati come segue:

COMBINAZIONE FONDAMENTALE ALLO SLU

$$1.3 \times G_{k1} + 1.3 \times G_{k2} + 1.5 \times Q_{k1}$$

10.2.1.3 Risultati delle verifiche

Nella Tabella 2 viene riportata la verifica del palo secondo le NTC2018.

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

11 Arredi portuali

11.1 Intervento di consolidamento della radice ovest del molo

In relazione alle forze agenti in condizioni di accosto e ormeggio della nave di progetto, sono stati definiti gli arredi del nuovo fronte di accosto secondo lo schema planimetrico riportato in Figura 18 che consistono in una bitta di capacità pari a 100 t, tre parabordi cilindrici di dimensioni 1200x600x1500 aventi interasse di 5 m e la realizzazione di una porzione di banchina rinforzata con profilati in acciaio nella zona di appoggio del portellone della nave (vedi Figura 19).

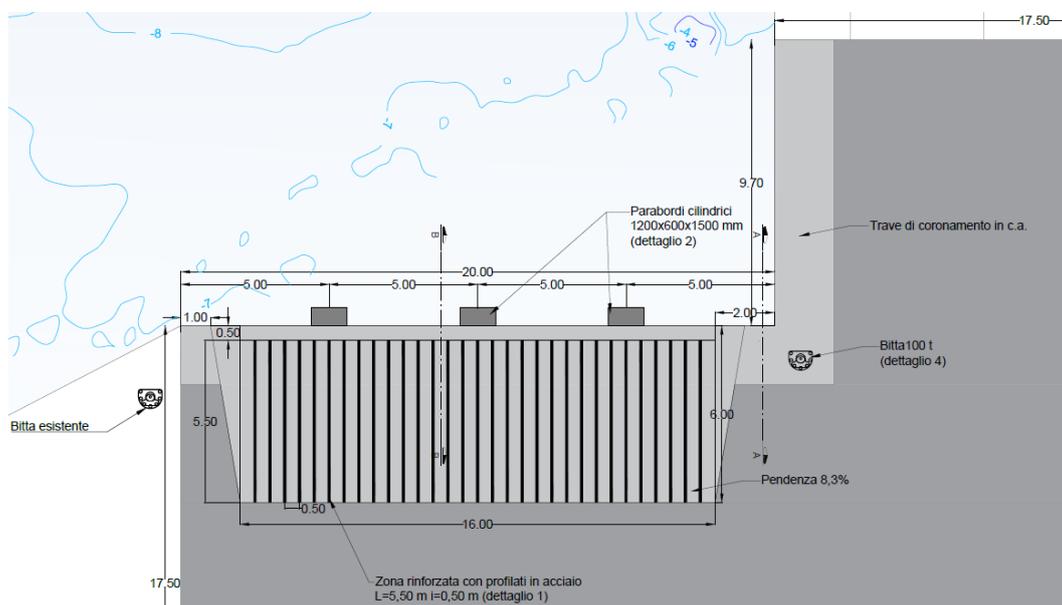


Figura 18: Planimetria arredi portuali – intervento di consolidamento radice ovest del molo

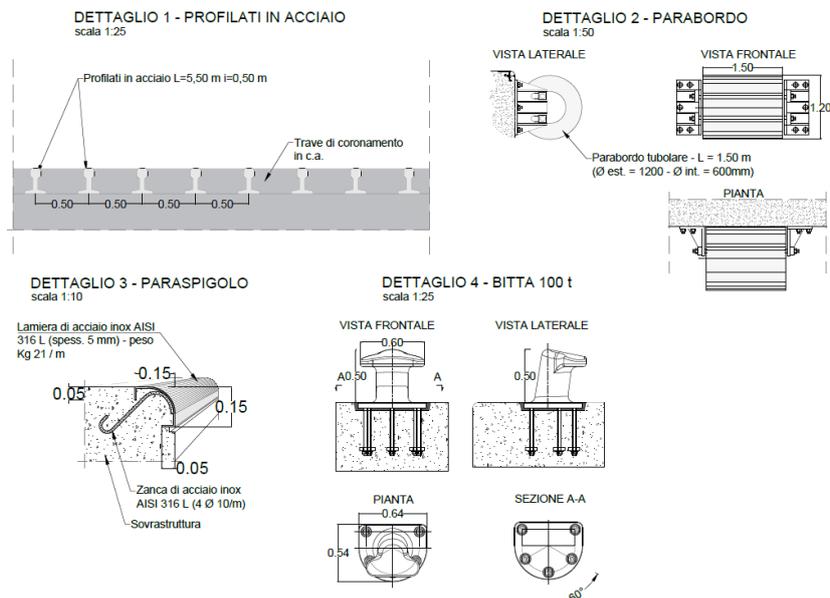


Figura 19: Dettagli arredi portuali – intervento di consolidamento radice ovest del molo

Raggruppamento: Modimar s.r.l. Vams Dinamica s.r.l. 3TI Progetti Italia	“Lavori d’ampliamento del Molo Norimberga del porto di Messina” Intervento di consolidamento della radice ovest e ampliamento del molo Norimberga Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica	Titolo elaborato: Relazione Tecnica					
		Data: 28 aprile 2023					
Committente: Autorità di Sistema Portuale dello Stretto		18	007	PR	002	-1	GEN

11.2 Intervento di ampliamento del molo

Sulla base delle forze agenti sulla nave dovuta al vento e sulla base delle forze di impatto della nave, sono stati definiti gli arredi del nuovo fronte di accosto secondo lo schema planimetrico riportato in Figura 20 che consistono in 9 bitte di capacità pari a 100 t e 9 parabordi cilindrici di dimensioni 1600x800x2000 aventi interasse di circa 20 m posizionati in corrispondenza dei pali (vedi Figura 21).

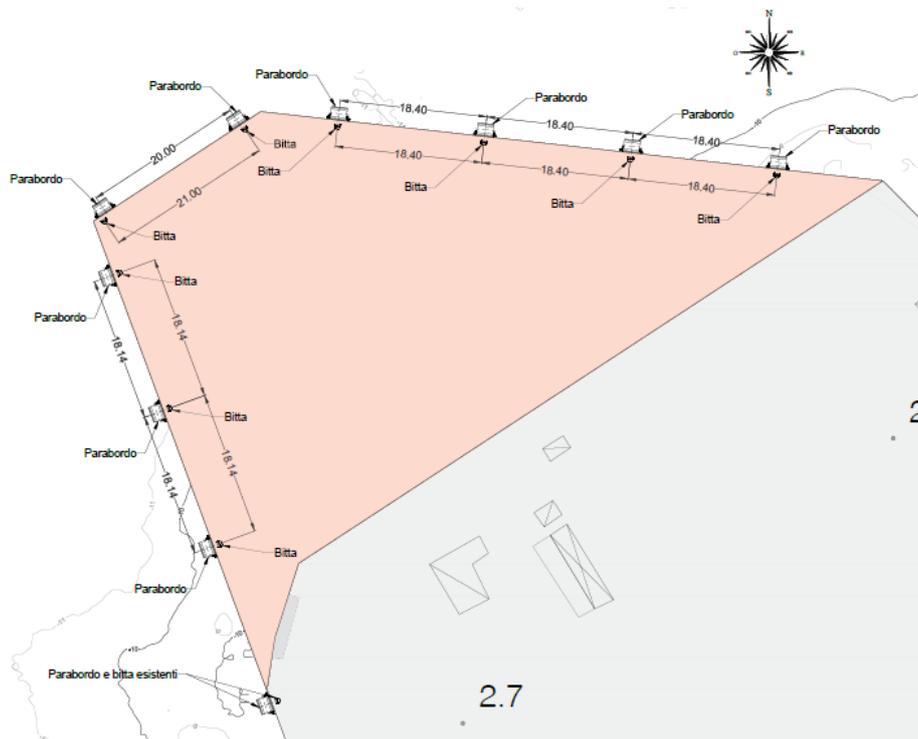


Figura 20: Planimetria arredi portuali – intervento di ampliamento del molo

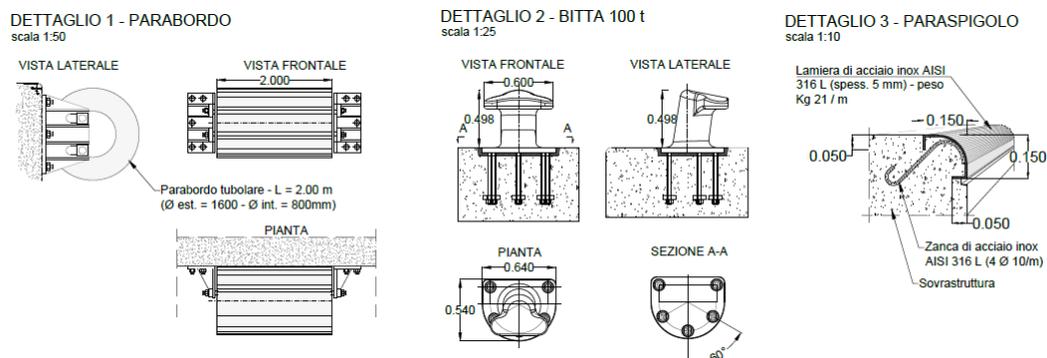


Figura 21: Dettagli arredi portuali – intervento di ampliamento del molo