



Regione Lazio
Comune di Anzio (RM)



CAPO D'ANZIO S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

PROGETTAZIONE ESECUTIVA
FASE 2 - ADEGUAMENTO DARSENA NORD

Proponente:



Marina di
Capo d'Anzio

Presidente:
Luigi D'Arpino

A.D.:
Ing. Enrico Aliotti

Titolo elaborato:

OPERE MARITTIME
RELAZIONE DI CALCOLO
BANCHINE

Progettazione:



Marinedi S.r.l.

Ing. Renato Marconi

Arch. Vittoria Biego

Dott.ssa in G.P.E. Dionisia Poulacos



**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo banchine

INDICE:

1.	PREMESSA	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
2.1	Azioni sulle costruzioni	4
2.2	Terreni, rocce, opere di sostegno e di fondazione	5
2.3	Elaborati tecnici	5
3.	MATERIALI.....	6
3.1	Calcestruzzo strutturale e non strutturale.....	6
3.2	Terreni di rinfilo e d'imposta dei muri di banchina	6
3.3	Materiale di riempimento dell'elemento prefabbricato Cassone	7
4.	AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO	8
4.1	Carico di banchina	8
4.2	Tiro alla bitta	8
4.3	Sisma.....	9
5.	DETERMINAZIONE ANALITICA DELLE AZIONI	13
5.1	Spinta del terreno in condizioni statiche.....	13
5.2	Spinta del terreno in condizioni statiche indotta dalla pavimentazione	13
5.3	Spinta del terreno in condizioni statiche indotta dal sovraccarico di banchina	13
5.4	Tiro alla bitta.....	14
5.5	Spinta del terreno in condizioni sismiche	14
5.6	Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dalla pavimentazione in c.a.	15
5.7	Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dal carico di banchina	16
5.8	Spinta idrodinamica indotta dal sisma	16
5.9	Forze di massa indotta dal sisma.....	17
6.	VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO	18
6.1	Coefficienti di combinazione delle azioni adottati.....	20
6.2	Coefficienti parziali adottati per le azioni, per le resistenze e per le verifiche	21
6.2.1	Muri di banchina – Stato Limite Ultimo e Stato limite di Salvaguardia della Vita	21
6.2.2	Verifiche di stabilità.....	23
6.2.3	Verifiche alla traslazione.....	23
6.2.4	Verifiche al ribaltamento	23

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

6.2.5	Verifiche della capacità portante in condizioni drenate	23
7.	VERIFICHE BANCHINA A CASSONI MONOCELLA	25
7.1	Verifiche SLU	44
7.1.1	Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1).....	44
7.1.2	Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2).....	45
7.1.3	Verifiche al ribaltamento: Combinazione $A_{EQU}+M2$	46
7.1.4	Verifica capacità portante: Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1).....	47
7.1.5	Verifica capacità portante: Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2).....	49
7.1.6	Verifica capacità portante: Approccio 2 – Combinazione (A1+M1+R3).....	51
7.2	Verifiche SLV	53
7.2.1	Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1).....	53
7.2.2	Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2).....	55
7.2.3	Verifiche al ribaltamento: Combinazione M2.....	57
7.2.4	Verifica capacità portante: Approccio 2 – Combinazione (A1+M1+R3).....	59
8.	BIBLIOGRAFIA	62

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

1. PREMESSA

Il presente elaborato, redatto in conformità all'art. 26 del d.P.R. 207/2010, rappresenta la relazione tecnica di calcolo marittimo delle banchine previste nel Progetto Esecutivo – Fase 2 dell'adeguamento della darsena nord del Marina di Capo d'Anzio (RM).

Nell'elaborato in oggetto vengono esplicitate le verifiche previste dal D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche sulle costruzioni" ed alla normativa riportata nel par. 2.

Nel seguito viene esplicitato il calcolo della seguente opera:

- Banchina a cassone prefabbricato con celle antirisacca: Sez. D-D.

A valle del calcolo delle azioni agenti sull'opera sopra elencata, si riportano le verifiche di stabilità alla traslazione, alla rotazione ed allo schiacciamento dei terreni d'imposta.

Per le verifiche di stabilità globale si rimanda a quanto riportato nell'elaborato RS-01 del P.D. "Relazione geologica, geotecnica, idraulica, idrogeologica, sedimentologica e sismica" redatta a cura dell'ing. Q. Napoleoni nel Giugno 2008.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La progettazione delle opere in oggetto è condotta nel rispetto delle seguenti norme:

2.1 Azioni sulle costruzioni

- **D.M. 14 Gennaio 2008**
Norme tecniche sulle costruzioni
- **UNI EN 1998-5 DEL 01/01/2005**
Progettazione delle strutture per la resistenza sismica
- **O.P. Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/03/2003 e succ. agg.**
Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica
- **Presidenza del Consiglio Superiore dei LL.PP. Serv. Tecn. Centrale, 12/1996**
Linee guida sul calcestruzzo strutturale
- **D.M. LL.PP. del 16/01/1996 e succ. agg.**
Norme tecniche per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi. Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- **D.M. LL.PP. del 09/01/1996**
Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- **Circ.Min. LL.PP. del 24/06/1993, n° 37406/STC**
Istruzioni relative alle norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche, di cui al D.M. 14/02/1992.
- **D.M. LL.PP. del 14/02/1992**
Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
- **D.M. LL.PP. del 03/12/1987**
Norme tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo delle costruzioni prefabbricate.
- **D.M. LL.PP. del 12/02/1982**
Aggiornamento delle norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni, dei carichi e sovraccarichi.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

- **Circ.Min. LL.PP. del 24/05/1982, n° 22631**
Istruzioni relative ai carichi, ai sovraccarichi ed ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni.
- **Circolare Min. LL.PP. n. 11951 14/02/1974**
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica."
- **Legge del 05/11/1971, n° 1086**
Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

2.2 Terreni, rocce, opere di sostegno e di fondazione

- **D.M. LL.PP: del 11/03/1988**
Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- **Circ.Min.LL.PP. del 24/09/1988, n° 30483**
Ministero LL.PP. Legge 02/02/1974, n° 64 art. 1 – D.M.LL.PP. 11/03/1988 – Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

2.3 Elaborati tecnici

- **CNR 10024 n° 160 del 06/10/1986**
Analisi delle strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.
- **UNI 936 Settembre 1986**
Disegni tecnici – Formati e disposizioni degli elementi grafici dei fogli da disegno.
- **UNI 938 Settembre 1981**
Disegni tecnici – Piegatura dei fogli.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

3. MATERIALI

3.1 Calcestruzzo strutturale e non strutturale

Per il calcestruzzo degli elementi prefabbricati e dei getti in opera sono stati assunti i seguenti pesi di volume:

- Peso di volume asciutto: $\gamma_c = 24.50 \text{ kN/m}^3$
- Peso di volume immerso: $\gamma_{c'} = 14.40 \text{ kN/m}^3$

3.2 Terreni di rinfiamento e d'imposta dei muri di banchina

Le caratteristiche geo-meccaniche del tout venant di cava impiegato per il rinfiamento alle spalle degli elementi prefabbricati (Cassone; Massi Sovrapposti) sono le seguenti:

- Peso specifico dei granuli (scheletro solido): $\gamma_s = 25.00 \text{ kN/m}^3$
- Porosità: $n = 0.40$
- Peso secco dell'unità di volume: $\gamma_d = 15.00 \text{ kN/m}^3$
- Peso saturo dell'unità di volume: $\gamma_{\text{sat}} = 19.02 \text{ kN/m}^3$
- Peso di volume immerso: $\gamma' = 8.97 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito: $\phi' = 40^\circ$
- Coesione: $c = 0.00 \text{ kN/m}^2$

Le caratteristiche geo-meccaniche del materiale impiegato per lo scanno d'imbasamento degli elementi prefabbricati (Cassone; Massi Sovrapposti) sono le seguenti:

- Peso specifico dei granuli (scheletro solido): $\gamma_s = 25.00 \text{ kN/m}^3$
- Porosità: $n = 0.40$
- Peso secco dell'unità di volume: $\gamma_d = 15.00 \text{ kN/m}^3$
- Peso saturo dell'unità di volume: $\gamma_{\text{sat}} = 19.02 \text{ kN/m}^3$
- Peso di volume immerso: $\gamma' = 8.97 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito: $\phi' = 45^\circ$
- Coesione: $c = 0.00 \text{ kN/m}^2$

Il terreno di fondazione sottostante lo scanno d'imbasamento della banchina, in base al punto 3.2.2 delle NTC/2008 ricade all'interno della categoria "C" – "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_s,30$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT,30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu,30 < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina)" (vedasi a tale proposito l'elab. RS-01 del P.D. "Relazione geologica, geotecnica, idraulica, idrogeologica, sedimentologica e sismica" redatta a cura dell'ing. Q. Napoleoni nel Giugno 2008).

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

3.3 Materiale di riempimento dell'elemento prefabbricato Cassone

Le caratteristiche geo-meccaniche del tout venant di cava impiegato per il riempimento dell'elemento prefabbricato Cassone sono le seguenti:

- Peso specifico dei granuli (scheletro solido): $\gamma_s = 25.00 \text{ kN/m}^3$
- Porosità: $n = 0.40$
- Peso secco dell'unità di volume: $\gamma_d = 15.00 \text{ kN/m}^3$
- Peso saturo dell'unità di volume: $\gamma_{\text{sat}} = 19.02 \text{ kN/m}^3$
- Peso di volume immerso: $\gamma' = 8.97 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito: $\phi' = 40^\circ$
- Coesione: $c = 0.00 \text{ kN/m}^2$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

4. AZIONI AGENTI SULLE OPERE IN PROGETTO

4.1 Carico di banchina

Il valore del sovraccarico accidentale di banchina (Δq_b) è stato considerato pari a 20 kN/m².

4.2 Tiro alla bitta

Per quanto riguarda la valutazione delle azioni esercitate dalle imbarcazioni sulle banchine durante la fase di ormeggio, si è adottata la metodologia indicata da Tobiasson e Kollmeyer nel testo "Marinas and small craft harbors". Nel caso in esame si sono trascurate le azioni indotte dalle correnti e dal moto ondoso sulle imbarcazioni (il banchinamento è ridossato rispetto agli stati di mare prevalenti ed al suo interno possono verificarsi solo correnti di marea di minima intensità), mentre si sono prese in considerazione le condizioni più sfavorevoli di esposizione ai venti regnanti. In particolare si è ipotizzata una velocità del vento massima al suolo pari a 25 m/s, proveniente dalla direzione più sfavorevole dal punto di vista del calcolo delle azioni indotte sull'imbarcazione (pressoché ortogonale alla banchina). La relazione riportata nel testo sopraccitato per il calcolo della forza impressa dal vento sull'imbarcazione è di seguito riportata:

$$F = 0.72 E D S V^2 \quad (1)$$

in cui:

- $E = 0.33 A_L$ è l'area di calcolo (vessel end area), con A_L area laterale dell'imbarcazione di progetto;
- D è il coefficiente di direzione (direction factor) il cui valore è ricavabile dal grafico riportato nella figura xx in funzione della direzione di provenienza del vento
- S è il coefficiente di schermatura (shielding factor) operata dalle altre imbarcazioni ($0 \leq S \leq 1$);
- V è la velocità del vento a terra (terrain air velocity).

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

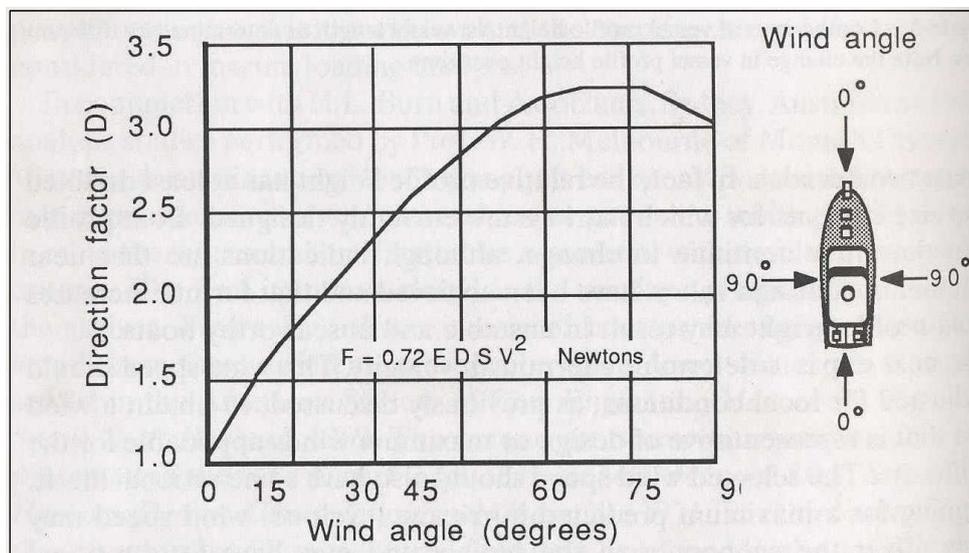


Figura 1: Valori del coefficiente D al variare della direzione del vento

Considerata una imbarcazione da 22 m di lunghezza fuori tutto con un'area laterale A_L pari a 132 m^2 , assegnato al coefficiente D il massimo valore ricavabile dalla Figura 1 pari a 3.3 ed assunto cautelativamente il valore unitario per il coefficiente S, attraverso la relazione (1) si è ricavata la forza impressa dal vento sull'imbarcazione di progetto, di intensità pari a $F = 62,72 \text{ KN}$. Nel caso in esame, ipotizzato che l'azione venga ripartita equamente su due sole cime, si ricava un tiro alla bitta pari a $T=31,36 \text{ KN}$. Tale azione viene schematizzata come una forza orizzontale agente sul coronamento del muro-cassone in direzione ortogonale al filo banchina

4.3 Sisma

Per la valutazione dell'azione sismica sulle opere da realizzare si adottano i risultati riportati nella relazione dell'elab. RS-01 del P.D. "Relazione geologica, geotecnica, idraulica, idrogeologica, sedimentologica e sismica" redatta a cura dell'ing. Q. Napoleoni nel Giugno 2008" della progettazione definitiva, eseguiti secondo quanto disposto dal D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche sulle costruzioni".

Si riportano di seguito i risultati, riportati in tale relazione, relativi alla sismicità dell'area ed alla relativa classificazione sismica.

SISMICITÀ

Dall'analisi delle osservazioni disponibili presso l'Istituto Nazionale di Geofisica, andando a consultare la sismicità storica del territorio nazionale è possibile constatare che nel passato la zona di mare antistante Anzio ha subito il 22 Ottobre 1919 un terremoto di magnitudo 5,4 della scala Richter, raggiungendo un'intensità massima (MCS) pari al VII grado.

I cataloghi sismici indicano, inoltre, che tutti gli altri eventi sismici avvenuti nella zona (con intensità inferiori al VII grado registrato nel 1919), sono dovuti al risentimento di terremoti originatisi nell'apparato vulcanico dei Colli Albani (1892, 1895, 1899, 1901 e 1927) o, ancora

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

più lontano, nella catena appenninica (Reatino del 1902, Avezzano del 1915). È proprio lungo tale catena che si sviluppano i terremoti tra i più forti e catastrofici dell'intera penisola italiana, legati a un contesto regionale sismotettonico che consente l'accumulo e il rilascio improvviso di elevati livelli energetici. Differente è la situazione del settore costiero laziale, dove un diverso regime tettonico, associato a particolari caratteristiche litologiche, consente minori accumuli di energia di deformazione e di conseguenza lo sviluppo di terremoti a minore magnitudo.

Negli ultimi anni, l'evento sismico più importante è stato quello del 22 agosto 2005 con epicentro localizzato in mare, circa 5 miglia a largo della città di Anzio, e, sulla base dei dati strumentali, è stata stimata una magnitudo (scala Richter) di 4,5 e una profondità ipocentrale pari a 30 km; tale evento è stato generato dall'attivazione di una faglia che ha prodotto una lacerazione della crosta terrestre lunga 1 - 2 km e uno spostamento orizzontale della stessa faglia ampio alcuni centimetri. Alla scossa principale sono seguite solo due micro-scosse, la più forte delle quali è avvenuta il 23 Agosto con una magnitudo pari a 2,1.

CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Dal punto di vista normativo, il Comune di Anzio, come gran parte del territorio costiero laziale, fino al marzo del 2003 non era classificato e pertanto non rispondeva alla vigente normativa per le costruzioni in zona sismica.

L'ordinanza n. 3274 del 20-3-2003 e le nuove norme tecniche per la costruzione "NTC del D.M. del 14 gennaio 2008" stabiliscono che i primi 30 m di terreno al di sotto del piano di posa delle fondazioni vengano classificati in base alla velocità di propagazione delle onde di taglio V_s secondo categorie come riporta la seguente Tabella 2:

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Tabella 2 *Categorie di suolo di fondazione in ottica sismica (Vs30)*

Suolo di fondazione	Vs30	N _{apt} - c _u
A Formazione litoide o suoli rigidi	> 800 m/sec	
B Sabbie o ghiaie addensate, argille molto consistenti	>360 m/sec <800 m/sec	N _{apt} >50 c _u >250 kPa
C Sabbie e ghiaie mediamente addensate, argille mediamente consistenti	>180 m/sec <360 m/sec	15 < N _{apt} < 50 70 < c _u < 250 kPa
D Terreni granulari sciolti, terreni coesivi da poco a mediamente consistenti	<180 m/sec	N _{apt} <15 c _u <70 kPa
E Strati superficiali alluvionali (5-20 m) su substrato rigido	<360 m/sec	
S1 Terreni costituiti o che includono uno strato di argille > 10 m, PI > 40	<100 m/sec	c _u <20 kPa
S2 Terreni soggetti a liquefazione, argille sensibili, terreni non classificati in precedenza		

Il terreno presente nell'area in oggetto, in mancanza di specifiche prove sismiche sperimentali, può essere ragionevolmente riferito alla categoria C.

Nel dettaglio, ai fini della stessa normativa, per ogni sito si dovranno fornire i parametri sismici necessari per la determinazione delle azioni sismiche, quali:

- a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;
- F₀ = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro di accelerazione orizzontale;
- T*_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

A tale proposito, i valori a_g, F₀, e T*_c sono stati calcolati, per il sito in esame, tramite il modello di calcolo indicato dal Ministero dei Lavori Pubblici. L'elaborazione (riportata in Figura 5) ha dato i seguenti risultati (per il calcolo agli stati limite ultimi):

$$a_g = 0.164 \text{ g}$$

$$F_0 = 2.647$$

$$T^*_c = 0.323 \text{ sec}$$

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo banchine

Valori di progetto dei parametri a_g , F_a , T_0^+ in funzione del periodo di ritorno T_R

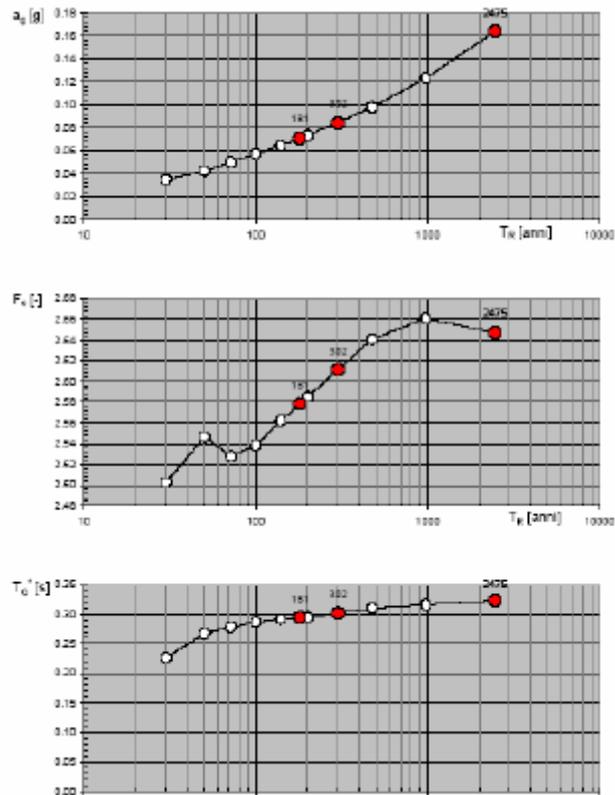


Figura 5: parametri sismici in funzione degli stati limite di calcolo ricavati secondo le NTC 14/01/2008"

Nel caso specifico delle opere di sostegno del terreno, si considera, ai fini sismici, il solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

5. DETERMINAZIONE ANALITICA DELLE AZIONI

5.1 Spinta del terreno in condizioni statiche

La spinta del terreno in condizioni statiche ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressioni:

$$S_T = \frac{1}{2} k_a \gamma_{sat} H_d^2 + k_a \gamma_{sat} H_d H_s + \frac{1}{2} k_a \gamma' H_s^2 \quad (2)$$

$$M_{Tr} = \frac{1}{2} k_a \gamma_{sat} H_d^2 \times \left(H_s + \frac{H_d}{3} \right) + k_a \gamma_{sat} H_d H_s \times \frac{H_s}{2} + \frac{1}{2} k_a \gamma' H_s^2 \times \frac{H_s}{3} \quad (3)$$

con:

- k_a coefficiente di spinta attiva calcolato con la teoria di Rankine;
- γ_{sat} peso saturo dell'unità di volume del terreno di rinfianco;
- γ' peso immerso dell'unità di volume del terreno di rinfianco;
- H_d altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

5.2 Spinta del terreno in condizioni statiche indotta dalla pavimentazione

La spinta del terreno in condizioni statiche indotta dalla pavimentazione industriale posta a tergo del muro di banchina presenza ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressioni:

$$S_Q = k_a q_p (H_d + H_s) \quad (4)$$

$$M_{Qr} = k_a q_p (H_d + H_s) \times \frac{(H_d + H_s)}{2} \quad (5)$$

con:

- k_a coefficiente di spinta attiva calcolato con la teoria di Rankine;
- q_p peso per unità di superficie della pavimentazione industriale in c.a.;
- H_d altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

5.3 Spinta del terreno in condizioni statiche indotta dal sovraccarico di banchina

La spinta del terreno in condizioni statiche indotta dalla presenza del sovraccarico accidentale sul terrapieno alle spalle del muro di banchina ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressioni:

$$S_Q = k_a \Delta q_b (H_d + H_s) \quad (6)$$

$$M_{Qr} = k_a \Delta q_b (H_d + H_s) \times \frac{(H_d + H_s)}{2} \quad (7)$$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

con:

- k_a coefficiente di spinta attiva calcolato con la teoria di Rankine;
- Δq_b sovraccarico accidentale sul terrapieno alle spalle della banchina;
- H_d altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

5.4 Tiro alla bitta

Per quanto esposto nel par. 4.3, il massimo tiro alla bitta è stato posto pari a $T=31,36$ KN. Tale azione, schematizzata come una forza orizzontale agente sul coronamento del muro-cassone in direzione ortogonale al filo banchina, genera un momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) pari a:

$$M_{\text{Bitta}} = T_{\text{bitta}} \cdot H \quad (15)$$

dove H è l'altezza complessiva del muro-cassone + l'altezza della sovrastruttura

5.5 Spinta del terreno in condizioni sismiche

La spinta del terreno in condizioni sismiche ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressioni:

$$S_{Ter} = \frac{1}{2}(1 \pm k_v)K_{AD}\gamma_{sat}H_d^2 + (1 \pm k_v)K_{AS}\gamma_{sat}H_dH_s + \frac{1}{2}(1 \pm k_v)K_{AS}\gamma'H_s^2 \quad (16)$$

$$M_{Ter} = \frac{1}{2}(1 \pm k_v)K_{AD}\gamma_{sat}H_d^2 \times \left(H_s + \frac{H_d}{3} \right) + (1 \pm k_v)K_{AS}\gamma_{sat}H_dH_s \times \frac{H_s}{2} + \frac{1}{2}(1 \pm k_v)K_{AS}\gamma'H_s^2 \times \frac{H_s}{3} \quad (17)$$

ove:

- k_v è il coefficiente sismico verticale previsto dal D.M.14/01/08;
- K_{AD} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sopra del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- K_{AS} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sotto del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- γ_{sat} è il peso saturo dell'unità di volume del terreno di rinfiacco;
- γ' è il peso di volume immerso del terreno di rinfiacco;
- H_d è l'altezza asciutta del terreno (al di sopra del livello marino);
- H_s è l'altezza satura del terreno (al di sotto del livello marino).

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Il coefficiente di spinta del terreno è valutato per sisma agente verso l'alto \uparrow (-) e per sisma agente verso il basso \downarrow (+), nei due casi di terreno al di sopra ed al di sotto del livello marino attraverso l'espressione di Mononobe-Okabe:

$$K_{a,MO}^{\pm} = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos \theta \sin^2 \psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta) \sin(\psi + \beta)}} \right]^2} \quad (18)$$

dove:

- $\phi'_d = \tan^{-1} \left(\frac{\tan \phi'}{\gamma_{\phi'}} \right)$ valore di progetto dell'angolo di resistenza a taglio del terreno;
- $\gamma_{\phi'}$ coefficiente di resistenza geotecnica previsto dal D.M. 14/01/08;
- ψ è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della parete del muro rivolta a monte;
- β è l'angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale della superficie del terrapieno;
- $\delta_d = 0$ valore di progetto dell'angolo di attrito tra terreno e muro;
- θ è l'angolo definito nell'espressione riportata di seguito:

nel caso di terreni in condizioni drenate sotto falda:

$$\theta = \arctan \left[\frac{\gamma_{sat} \cdot k_h}{\gamma' (1 \pm k_v)} \right]$$

nel caso di terreni sopra falda:

$$\theta = \arctan \left[\frac{k_h}{(1 \pm k_v)} \right]$$

con k_h e k_v coefficienti sismici orizzontale e verticale previsti dal D.M.14/01/08.

5.6 Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dalla pavimentazione in c.a.

La spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dalla pavimentazione industriale in c.a. Δq_{pav} ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressioni:

$$F_{pav} = (1 \pm k_v) K_{AD} \Delta q_{pav} H_d + (1 \pm k_v) K_{AS} \Delta q_{pav} H_s \quad (19)$$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

$$M_{pav} = (1 \pm k_v) K_{AD} \Delta q_{pav} H_d \times \left(\frac{H_d}{2} + H_s \right) + (1 \pm k_v) K_{AS} \Delta q_{pav} H_s \times \frac{H_s}{2} \quad (20)$$

dove:

- k_v è il coefficiente sismico verticale;
- K_{AD} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sopra del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- K_{AS} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sotto del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- γ_{sat} è il peso saturo dell'unità di volume del terreno di rinfiango;
- γ' è il peso di volume immerso del terreno di rinfiango;
- H_d è l'altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s è l'altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

5.7 Spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dal carico di banchina

La spinta del terreno in condizioni sismiche indotta dal sovraccarico accidentale Δq_b ed il relativo momento ribaltante rispetto al piede esterno dell'opera (lato mare) sono dati dalle seguenti espressioni:

$$F_{Acc} = (1 \pm k_v) K_{AD} \Delta q_b H_d + (1 \pm k_v) K_{AS} \Delta q_b H_s \quad (21)$$

$$M_{Acc} = (1 \pm k_v) K_{AD} \Delta q_b H_d \times \left(\frac{H_d}{2} + H_s \right) + (1 \pm k_v) K_{AS} \Delta q_b H_s \times \frac{H_s}{2} \quad (22)$$

dove:

- k_v è il coefficiente sismico verticale;
- K_{AD} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sopra del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- K_{AS} è il coefficiente di spinta attiva statico + dinamico del terreno al di sotto del livello marino (teoria di Mononobe-Okabe);
- γ_{sat} è il peso saturo dell'unità di volume del terreno di rinfiango;
- γ' è il peso di volume immerso del terreno di rinfiango;
- H_d è l'altezza asciutta del terreno (al di sopra del l.m.m.);
- H_s è l'altezza satura del terreno (al di sotto del l.m.m.).

5.8 Spinta idrodinamica indotta dal sisma

Secondo quanto previsto dalla Normativa vigente, "(...) Per opere particolari con terrapieno in falda, quali opere marittime,..." si devono valutare gli effetti indotti dal sisma sull'acqua interstiziale. Nel caso di terreno ad elevata permeabilità ($k > 5 \cdot 10^{-4}$ m/s) "(...) gli effetti

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

indotti dall'azione sismica sul terreno e sull'acqua devono essere valutati separatamente mediante analisi disaccoppiata. La pressione dell'acqua dovuta ad effetti idrodinamici indotti dal sisma ed agente sulle pareti esterne del muro, può essere determinata attraverso la relazione ricavata da Westergaard (1931):

$$q(z) = \mp \frac{7}{8} k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{H_w \cdot z} \quad (23)$$

dove:

- k_h è il coefficiente di spinta sismica orizzontale previsto dal D.M.14/01/08;
- γ_w è il peso specifico dell'acqua marina valutato in kN/m^3 ;
- H_w è il tirante idrico espresso in metri;
- z è l'affondamento idrico determinato rispetto al l.m.m. e viene espresso in metri.

La risultante delle pressioni idrodinamiche, determinata per integrazione lungo z dell'equazione precedete, assume la seguente espressione:

$$F_w = \frac{7}{12} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot H_w^2 \quad (24)$$

La spinta idrodinamica F_w ha verso concorde con le forze d'inerzia orizzontali agenti sul muro di banchina e va applicata ad una distanza dal piede della parete pari a $0,4 H_w$.

5.9 Forze di massa indotta dal sisma

Nella fase sismica, oltre alle forze considerate, la normativa prevede che alle masse del muro di sostegno vengano applicate una forza orizzontale ed una verticale (orientata verso l'alto o verso il basso) date dalle seguenti relazioni:

- forza orizzontale: $F_H = k_h \times W$
- forza verticale: $F_V = \pm k_v \times W$

dove:

- W è il peso del singolo elemento della struttura;
- k_h e k_v coefficienti sismici orizzontale e verticale previsti dal D.M. 14/01/08.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

6. VERIFICHE ALLO STATO LIMITE ULTIMO

Le verifiche dei muri di banchina sono state condotte, in conformità a quanto disposto dal D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche sulle costruzioni" e nel rispetto della normativa riportata nel par. 2, attraverso il metodo dei coefficienti parziali secondo cui gli effetti delle condizioni di carico non devono superare quelle compatibili con lo stato limite considerato. Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi quanto detto si traduce nel rispetto della seguente disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

- E_d valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;
- R_d valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

L'effetto delle azioni e della resistenza possono essere espresse in funzione delle azioni di progetto $\gamma_F F_{k,r}$, dei parametri di progetto X_k/γ_M e della geometria di progetto a_d , mentre nella formulazione della resistenza compare un coefficiente γ_R che opera direttamente sulla resistenza del sistema:

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$
$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$

I valori delle azioni di progetto possono essere esplicitate mediante le seguenti combinazioni:

Combinazione SLU: $\gamma_{G1} G_1 + \gamma_{G2} G_2 + \gamma_{Q1} Q_{k1} + \gamma_{Q2} \Psi_{02} Q_{k2} + \dots$

Combinazione sismica: $E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} Q_{k1} + \Psi_{22} Q_{k2} + \dots$

dove:

- G_1 sono i carichi permanenti strutturali;
- G_2 sono i carichi permanenti non strutturali;
- E azione sismica;
- Q_{k1} azione variabile dominante;
- Q_{kj} azioni variabili restanti;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili;
- γ_{G1} coefficiente parziale dei carichi permanenti strutturali;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali;
- Ψ_{0j}, Ψ_{2j} coefficienti di combinazione delle azioni.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Per le opere in progetto la verifica condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata secondo almeno uno dei seguenti approcci:

Approccio 1:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Approccio 2: (A1+M1+R3)

tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle:

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F	(A) EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 11: Coefficienti parziali per le azioni - D.M. 14 Gennaio 2008

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	Coefficiente Parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi_k'$	γ_{ϕ}'	1.0	1.25
Coesione efficace	c_k'	γ_c'	1.0	1.25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_{γ}	1.0	1.0

Tabella 12: Coefficienti parziali per le resistenze del terreno - D.M. 14 Gennaio 2008

VERIFICA	Coefficiente Parziale (R1)	Coefficiente Parziale (R2)	Coefficiente Parziale (R3)
capacità portante della fondazione	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.4$
Scorrimento	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.0$	$\gamma_R=1.4$

Tabella 13: Coefficienti parziali γ_R per le verifiche STR e GEO - D.M. 14 Gennaio 2008

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

6.1 Coefficienti di combinazione delle azioni adottati

Nelle verifiche riportate nei paragrafi successivi, sono stati utilizzati i seguenti coefficienti di combinazione delle azioni:

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{2j}
Sovraccarico di banchina	0.7	0.3
Tiro alla bitta	0.6	0

Tabella 14: Coefficienti di combinazione dei carichi accidentali utilizzati

I valori dei coefficienti di combinazione del tiro alla bitta sono stati associati per analogia quello previsto dal D.M. 14/08/08 per il vento ($\Psi_{0j}=0.6, \Psi_{2j}=0$).

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo banchine

6.2 Coefficienti parziali adottati per le azioni, per le resistenze e per le verifiche

Nel seguito vengono riportati sinteticamente tutti i coefficienti parziali utilizzati nelle verifiche di stabilità dei muri di banchina.

6.2.1 Muri di banchina – Stato Limite Ultimo e Stato limite di Salvaguardia della Vita

Verifiche GEO alla traslazione:

- Approccio 1 - Combinazione 1 - (A1+M1+R1):

A1						M1		R1
$\gamma_{G1,fav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}	γ_R
1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	1
peso proprio	spinta pav.	spinta terreno	spinta Δq_b	Tiro alla bitta	Travel Lift	terreno	terreno	scorrimento

- Approccio 1 - Combinazione 2 - (A2+M2+R2):

A2						M2		R2
$\gamma_{G1,fav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}	γ_R
1.0	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.0	1.1
peso proprio	spinta pav.	spinta terreno	spinta Δq_b	Tiro alla bitta	Travel Lift	terreno	terreno	scorrimento

Verifiche EQU al ribaltamento:

- Combinazione: (A_{EQU}+M2)

A _{EQU}						M2		R2
$\gamma_{G1,fav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}	γ_R
0.9	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.3	1.0	1
peso proprio	spinta pav.	spinta terreno	spinta q_b	Tiro alla bitta	Travel Lift	terreno	terreno	ribaltamento

Verifiche GEO alla schiacciamento:

- Approccio 2 - Combinazione (A1+M1+R3):

A1						M1		R1
$\gamma_{G1,fav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{G2,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	$\gamma_{Q,sfav}$	γ_{ψ}	γ_{γ}	γ_R
1.0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.0	1.0	2.3
peso proprio	spinta pav.	spinta terreno	spinta Δq_b	Tiro alla bitta	Travel Lift	terreno	terreno	capacità portante

In ottemperanza a quanto disposto dal D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche sulle costruzioni", i coefficienti parziali relativi alle azioni ed adottati nelle verifiche allo Stato Limite

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

di Salvaguardia della Vita, combinazione sismica ($E+G_1+G_2+P+\Psi_{21}Q_{k1}+\Psi_{22}Q_{k2}+\dots$), sono sempre unitari. Infine per i coefficienti parziali relativi ai materiali ed alle resistenze si adottano quelli utilizzati nelle verifiche allo SLU.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

6.2.2 Verifiche di stabilità

6.2.3 Verifiche alla traslazione

La condizione di stabilità alla traslazione dei muri di banchina è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

dove:

- R_d è dato dal prodotto della risultante della combinazione delle forze favorevoli per il coefficiente di attrito μ ;
- E_d è la risultante della combinazione delle forze sfavorevoli.

Per il coefficiente di attrito μ si assumono i seguenti valori:

- $\mu = \tan(\phi_d)$ nel caso di verifica rispetto alla base della fondazione dell'intero muro, essendo ϕ_d l'angolo di attrito interno di progetto del terreno, ottenuto come:

$$\phi_d = \arctan\left(\frac{\tan(\phi_k)}{\gamma_{\phi'}}\right)$$

ove $\gamma_{\phi'}$ è il coefficiente parziale riportato nella Tab. 6.2.II delle NTC 08 dei coefficienti parziali per i parametri geotecnici;

- $\mu_{\text{cls-cls}} = 0,4$ nel caso di verifica rispetto all'interfaccia masso-masso, essendo $\mu_{\text{cls-cls}}$ il coefficiente di attrito statico per il calcestruzzo

6.2.4 Verifiche al ribaltamento

La condizione di stabilità alla rotazione dei muri di banchina e dei muri paraonde è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

dove:

- R_d è dato dalla risultante della combinazione dei momenti favorevoli (stabilizzanti);
- E_d è la risultante della combinazione dei momenti sfavorevoli (ribaltanti).

6.2.5 Verifiche della capacità portante in condizioni drenate

La verifica a collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno è stata accertata verificando la condizione:

$$R_d / E_d > 1$$

con:

- R_d coincidente con la tensione limite q_{lim} ammessa dal terreno;

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

- E_d pari alla pressione massima agente sul terreno in conseguenza dell'applicazione della combinazione delle azioni considerata.

Per la valutazione del carico unitario limite si adotta la formulazione di Brinch-Hansen (25) per fondazione nastriforme e carico inclinato.

$$q_{lim} = c \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma \quad (25)$$

con:

- N_c, N_q, N_γ fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito ϕ' ;
- i_c, i_q, i_γ fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
- d_c, d_q, d_γ fattori correttivi che dipendono dalla profondità del piano di posa;

Nelle verifiche effettuate, il coefficiente γ è stato assunto pari al peso saturo dell'unità di volume γ_{sat} nel caso di piano di fondazione sopra il l.m.m., e coincidente al peso immerso dell'unità di volume γ , nel caso di piano di fondazione posto sotto il l.m.m.. Conformemente a quanto disposto dalle NTC 08 non si considera il contributo offerto dalla presenza del masso guardiano o dei massi di protezione al piede; pertanto per il valore della pressione q agente a valle del muro ed a tergo del piano di fondazione si assume sempre il valore nullo. Tale scelta risulta cautelativa ed a vantaggio di sicurezza. Per il calcolo dei fattori di inclinazione i_q ed i_γ si adotta la formulazione di Hansen (1970), "(...) usando però un esponente 2 nell'espressione di i_q e di 3 in quella di i_γ , invece del 5..." come indicato nel testo "Foundation Analysis and Design" (Joseph E. Bowles, 1988). Rimossa l'ipotesi di carico baricentrico, il valore B' della base ridotta, definita come la minima superficie rispetto alla quale il carico risulta centrato (Meyerhof, 1953), è stato calcolato come:

- $B'=B-2e$ nel caso di sezione interamente reagente, con B larghezza della fondazione ed e eccentricità data da:

$$e = \frac{B}{2} - \frac{M_A}{E_d}$$

ove M_A rappresenta la risultante dei momenti calcolati rispetto al polo di rotazione A ed E_d risultante delle azioni verticali;

- $B'=2u$ nel caso di parzializzazione della sezione di fondazione. In questo caso la larghezza della sezione reagente risulta pari al doppio della distanza u tra il punto di applicazione delle azioni verticali E_d ed il lembo compresso della sezione.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7. VERIFICHE BANCHINA A CASSONI MONOCELLA

I muri di banchina del Marina di Capo d'Anzio sono stati verificati considerando un carico accidentale uniformemente distribuito sul terrapieno posto a tergo dell'elemento prefabbricato muro-cassone. A partire dallo schema statico riportato nella sottostante Figura 6, relativo alla Sez. D-D, si sono calcolate tutte le azioni agenti sulla struttura di banchina. Per la descrizione geometrica di dettaglio si rimanda agli elaborati grafici progettuali. Si riportano di seguito i risultati delle elaborazioni eseguite.

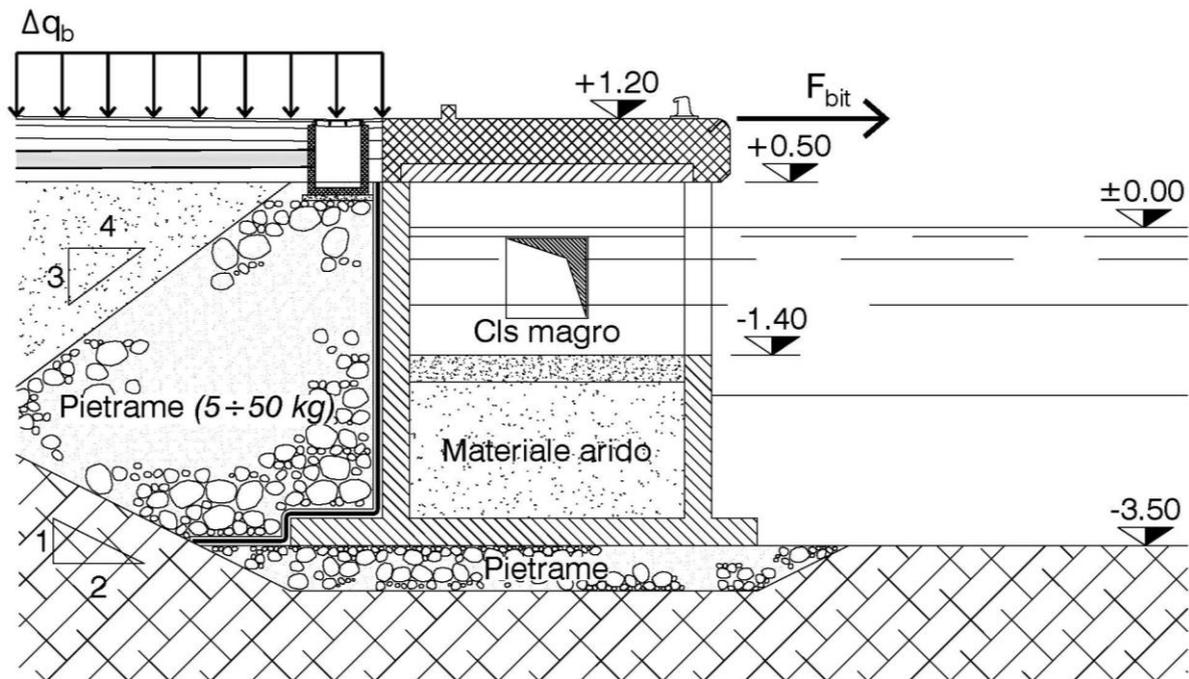


Figura 6: Schema geometrico per il calcolo delle azioni agenti sulla banchina del Marina di Capo d'Anzio
Scala geometrica 1:100

Nel caso in esame, sia il calcolo delle azioni che le relative verifiche sono state eseguite per un tratto di banchina di lunghezza pari a 4,5 m, coincidente con lo sviluppo longitudinale del singolo elemento prefabbricato Muro-Cassone.

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Calcolo Azioni: Combinazione A1+M1

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

1) Peso Proprio del Muro-Cassone (al netto della sottospinta) e relativo momento rispetto al polo A

Elementi geometrici in	Componente statica					
	V	$\gamma_{c.a.}$	$\gamma'_{c.a.}$	N _{stab}	braccio	M _{stab}
<i>Calcestruzzo armato</i>	(m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN)	(m)	(kN m)
elemento 1	11,97	24,5	-	293,27	2,20	645,18
elemento 2	0,68	24,5	-	16,54	3,95	65,32
elemento 3	0,30	24,5	-	7,35	0,65	4,78
elemento 2bis	4,32	-	14,45	62,42	3,95	246,54
elemento 3bis	3,27	-	14,45	47,24	0,65	30,71
elemento 4	0,60	24,5	-	14,70	2,30	33,81
elemento 4bis	3,52	-	14,45	50,80	2,30	116,84
elemento 5	3,69	-	14,45	53,31	2,30	122,62
elemento 7	6,89	-	14,45	99,47	2,55	253,66
Materiali di cava						
	V	γ_{terra}	γ'_{terra}	N _{stab}	braccio	M _{stab}
	(m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN)	(m)	(kN m)
elemento 6	18,45	-	8,97	165,47	2,30	380,59
elemento 8	5,40	19,02	-	102,71	4,60	472,48
elemento 8bis	14,40	-	8,97	129,15	4,60	594,09

RISULTANTE

N _{stabTOT}	X	M _{stabTOT}
(kN)	(m)	(kN m)
1042,44	2,85	2966,62

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

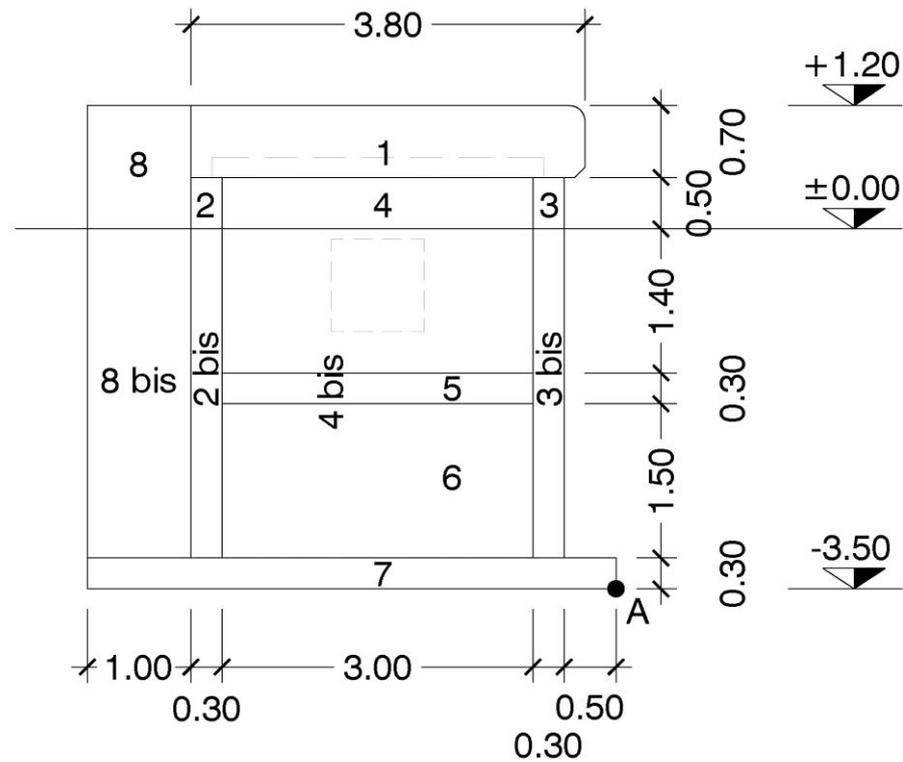


Figura 7: Sezione trasversale per il calcolo della forza peso di una porzione di banchina del Marina di Capo d'Anzio di lunghezza pari alla lunghezza dell'elemento Muro-Cassone.

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Spinta del terreno

In assenza di sisma

Spinta terreno	H	γ	γ'	K_a	$F_{o,ter}$	braccio	M_{ter}
	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(-)	(kN/m)	(m)	[($kN m$)/m]
Altezza rinfiango sopra il livello del mare	1,05	19,02	-	0,217	2,28	3,85	8,78
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	19,02	-	0,217	15,20	1,75	26,60
		-	8,97	0,217	11,94	1,17	13,94

RISULTANTE AL METRO

29,42 1,68 49,31

Risultante

$F_{o,ter}$	braccio	M_{ter}
[kN/m]	[m]	[$kN m$]
132,41	1,68	221,91

In presenza di sisma verso l'alto \uparrow (-)

Spinta terreno	H	γ	γ'	$K_{a,MO}$	$1-K_v$	S_t	braccio	$M_{rib Terr}$
<i>Sisma agente verso l'alto \uparrow (-) e verso mare $Dx \leftarrow$ (+)</i>	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(-)	(-)	(kN/m)	(m)	[($kN m$)/m]
Altezza rinfiango sopra il livello del mare	1,05	19,02	-	0,237	0,98	2,43	3,85	9,37
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	19,02	-	0,261	0,98	17,83	1,75	31,21
		-	8,97	0,261	0,98	14,02	1,17	16,35

RISULTANTE AL METRO	34,28	1,66	56,93
---------------------	-------	------	-------

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib Terr}$
	(kN)	(m)	($kN m$)
	154,27	1,66	256,18

In presenza di sisma verso il basso \downarrow (+)

Spinta terreno	H	γ	γ'	$K_{a,MO}^+$	$1+K_v^+$	S_t	braccio	$M_{rib Terr}$
<i>Sisma agente verso il basso \downarrow (+) e verso mare $Dx \leftarrow$ (+)</i>	(m)	(kN/m^3)	(kN/m^3)	(-)	(-)	(kN/m)	(m)	[($kN m$)/m]
Altezza rinfiango sopra il livello del mare	1,05	19,02	-	0,238	1,02	2,55	3,85	9,80
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	19,02	-	0,262	1,02	18,73	1,75	32,77
		-	8,97	0,262	1,02	14,72	1,17	17,17

RISULTANTE AL METRO	35,99	1,66	59,74
---------------------	-------	------	-------

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib Terr}$
	(kN)	(m)	($kN m$)

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

	161,94	1,66	268,83
--	--------	------	--------

2) Spinta del terreno indotta dalla pavimentazione

In assenza di sisma

Spinta terreno indotta dalla pavimentazione	H	K_a	q_p	$F_{o,pav}$	braccio	M_{pav}
	(m)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	4,55	0,217	3,68	3,64	2,28	8,27

RISULTANTE AL METRO

3,64	2,28	8,27
------	------	------

Risultante

$F_{o,pav}$	braccio	M_{pav}
[kN/m]	[m]	[kN m]
16,36	2,28	37,22

In presenza di sisma verso l'alto ↑ (-)

Spinta terreno indotta dalla pavimentazione	H	$K_{a,MO}$	q_p	$1-K_v$	S_t	braccio	$M_{rib Terr}$
<i>Sisma agente verso l'alto ↑ (-) e verso mare Dx ← (+)</i>	(m)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza rinfiaco sopra il livello del mare	1,05	0,237	3,68	0,98	0,90	4,03	3,60
Altezza rinfiaco sotto il livello del mare	3,50	0,261	3,68	0,98	3,28	1,75	5,74

RISULTANTE AL METRO	4,18	2,24	9,35
---------------------	------	------	------

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib Terr}$
	(kN)	(m)	(kN m)
	18,80	2,24	42,06

In presenza di sisma verso il basso ↓ (+)

Spinta terreno indotta dalla pavimentazione	H	$K_{a,MO}^+$	q_p	$1+K_v^+$	S_t	braccio	$M_{rib Terr}$
<i>Sisma agente verso il basso ↓ (+) e verso mare Dx ← (+)</i>	(m)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza rinfiaco sopra il livello del mare	1,05	0,238	3,68	1,02	0,94	4,03	3,77
Altezza rinfiaco sotto il livello del mare	3,50	0,262	3,68	1,02	3,45	1,75	6,03

RISULTANTE AL METRO	4,38	2,24	9,80
---------------------	------	------	------

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib Terr}$
	(kN)	(m)	(kN m)
	18,80	2,24	42,06

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

	<i>(kN)</i>	<i>(m)</i>	<i>(kN m)</i>
	19,72	2,24	44,10

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Spinta del terreno indotta dalla sovraccarico di banchina Δq_b

In assenza di sisma

Spinta terreno indotta da Δq_b	H	K_a	Δq_b	$F_{o,Acc}$	braccio	M_{Acc}
	(m)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	4,55	0,217	20,00	19,79	2,28	45,02

RISULTANTE AL METRO

19,79 2,28 45,02

Risultante

$F_{o,Acc}$	braccio	M_{Acc}
[kN/m]	[m]	[kN m]
89,04	2,28	202,57

In presenza di sisma verso l'alto \uparrow (-)

Spinta terreno indotta da Δq_b <i>Sisma agente verso l'alto \uparrow (-) e verso mare $Dx \leftarrow$ (+)</i>	H	$K_{a,MO}$	Δq_b	$1-K_v$	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(m)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	1,05	0,237	20,00	0,98	4,87	4,03	19,62
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	0,261	20,00	0,98	17,86	1,75	31,25

RISULTANTE AL METRO 22,73 2,24 50,87

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(kN)	(m)	(kN m)
	102,30	2,24	228,91

In presenza di sisma verso il basso \downarrow (+)

Spinta terreno indotta da Δq_b <i>Sisma agente verso il basso \downarrow (+) e verso mare $Dx \leftarrow$ (+)</i>	H	$K_{a,MO}^+$	Δq_b	$1+K_v^+$	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(m)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	1,05	0,238	20,00	1,02	5,10	4,03	20,52
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	0,262	20,00	1,02	18,75	1,75	32,82

RISULTANTE AL METRO 23,85 2,24 53,33

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(kN)	(m)	(kN m)
	107,33	2,24	240,01

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

3) Forze inerziali (verticali ed orizzontali)

Per sisma verso l'alto \uparrow (-)

Elementi geometrici in	Componente pseudo-statica							
	Sisma agente verso l'alto \uparrow (-)				Sisma agente verso il mare $Dx \leftarrow$ (+)			
Calcestruzzo armato	K_v	F_v	braccio	M_{Fv}	K_h^+	F_h^+	braccio	M_{Fh}^+
	(-)	(kN)	(m)	(kN m)	(-)	(kN)	(m)	(kN m)
elemento 1	-0,021	-6,06	2,20	-13,33	0,041	12,12	4,35	52,72
elemento 2	-0,021	-0,34	3,95	-1,35	0,041	0,68	3,75	2,56
elemento 3	-0,021	-0,15	0,65	-0,10	0,041	0,30	3,75	1,14
elemento 2bis	-0,021	-1,29	3,95	-5,09	0,041	2,58	1,90	4,90
elemento 3bis	-0,021	-0,98	0,65	-0,63	0,041	1,95	1,50	2,93
elemento 4	-0,021	-0,30	2,30	-0,70	0,041	0,61	3,75	2,28
elemento 4bis	-0,021	-1,05	2,30	-2,41	0,041	2,10	1,85	3,88
elemento 5	-0,021	-1,10	2,30	-2,53	0,041	2,20	1,95	4,30
elemento 7	-0,021	-2,06	2,55	-5,24	0,041	4,11	0,15	0,62

Materiale di cava	K_v	F_v	braccio	M_{Fv}	K_h^+	F_h^+	braccio	M_{Fh}^+
	(-)	(kN)	(m)	(kN m)	(-)	(kN)	(m)	(kN m)
elemento 6	-0,021	-3,42	2,30	-7,86	0,041	6,84	1,05	7,18
elemento 8	-0,021	-2,12	4,60	-9,76	0,041	4,24	4,10	17,40
elemento 8bis	-0,021	-2,67	4,60	-12,28	0,041	5,34	1,75	9,34

Risultante

F_v	X	M_{Fv}
(kN)	(m)	(kN m)
-21,54	2,85	-61,30

F_h^{TOT}	Y	M_{Fh}^{tot}
(kN)	(m)	(kN m)
43,08	2,54	109,25

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Per sisma verso il basso ↓ (+)

Elementi geometrici in	Componente pseudo-statica							
	Sisma agente verso il basso ↓ (+)				Sisma agente verso il mare Dx ← (+)			
	K _v ⁺	F _v ⁺	braccio	M _{Fv} ⁺	K _h ⁺	F _h ⁺	braccio	M _{Fh} ⁺
	(-)	(kN)	(m)	(kN m)	(-)	(kN)	(m)	(kN m)
<i>Calcestruzzo armato</i>								
elemento 1	0,021	6,06	2,20	13,33	0,041	12,12	4,35	52,72
elemento 2	0,021	0,34	3,95	1,35	0,041	0,68	3,75	2,56
elemento 3	0,021	0,15	0,65	0,10	0,041	0,30	3,75	1,14
elemento 2bis	0,021	1,29	3,95	5,09	0,041	2,58	1,90	4,90
elemento 3bis	0,021	0,98	0,65	0,63	0,041	1,95	1,50	2,93
elemento 4	0,021	0,30	2,30	0,70	0,041	0,61	3,75	2,28
elemento 4bis	0,021	1,05	2,30	2,41	0,041	2,10	1,85	3,88
elemento 5	0,021	1,10	2,30	2,53	0,041	2,20	1,95	4,30
elemento 7	0,021	2,06	2,55	5,24	0,041	4,11	0,15	0,62
<i>Materiale di cava</i>								
	K _v ⁺	F _v ⁺	braccio	M _{Fv} ⁺	K _h ⁺	F _h ⁺	braccio	M _{Fh} ⁺
	(-)	(kN)	(m)	(kN m)	(-)	(kN)	(m)	(kN m)
elemento 6	0,02	3,42	2,30	7,86	0,041	6,84	1,05	7,18
elemento 8	0,02	2,12	4,60	9,76	0,041	4,24	4,10	17,40
elemento 8bis	0,02	2,67	4,60	12,28	0,041	5,34	1,75	9,34

RISULTANTE	F_{v tot}⁺	X	M_{Fh tot}⁺	F_{h tot}⁺	Y	M_{Fh tot}⁺
	(kN)	(m)	(kN m)	(kN)	(m)	(kN m)
	21,54	2,85	61,30	43,08	2,54	109,25

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

4) Spinta idrodinamica generata dell'acqua interstiziale in presenza di sisma

Per sisma verso mare $Dx \leftarrow (+)$

Spinta idrodinamica <i>Sisma agente verso mare $Dx \leftarrow (+)$</i>	H_w	K_h^+	γ_w	S_w	braccio	$M_{rib,w}$
	(m)	(-)	(kN/m ³)	(kN)	(m)	(kNm)
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	3,50	0,041	10,05	2,97	1,40	4,16

RISULTANTE AL METRO	2,97	1,40	4,16
---------------------	------	------	------

RISULTANTE	S_w	braccio	$M_{rib,w}$
	(kN)	(m)	(kN m)
	13,36	1,40	18,70

5) Azione orizzontale esercitata dal tiro alla bitta

<i>Azione orizzontale esercitata dal tiro alla bitta</i>	$F_{o,TL}$	braccio	M_{TL}
	(kN)	(m)	(kN m)
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	31,36	4,70	147,41

Risultante

$F_{o,Acc}$	braccio	M_{Acc}
[kN/m]	[m]	[kN m]
31,36	4,70	147,41

Capo d'Anzio S.p.A.
C.D.M. n. 6586/2011

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Calcolo Azioni: Combinazione A2+M2

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

1) Peso Proprio del Muro-Cassone (al netto della sottospinta) e relativo momento rispetto al polo A

Elementi in c.a.	V	$\gamma_{c.a.}$	$\gamma'_{c.a.}$	N _{stab}	braccio	M _{stab}
	(m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN)	(m)	(kNm)
elemento 1	11,97	24,5	-	293,27	2,20	645,18
elemento 2	0,68	24,5	-	16,54	3,95	65,32
elemento 3	0,30	24,5	-	7,35	0,65	4,78
elemento 2bis	4,32	-	14,45	62,42	3,95	246,54
elemento 3bis	3,27	-	14,45	47,24	0,65	30,71
elemento 4	0,60	24,5	-	14,70	2,30	33,81
elemento 4bis	3,52	-	14,45	50,80	2,30	116,84
elemento 5	3,69	-	14,45	53,31	2,30	122,62
elemento 7	6,89	-	14,45	99,47	2,55	253,66

Elementi in materiale di cava	V	γ_{terra}	γ'_{terra}	N _{stab}	braccio	M _{stab}
	(m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN)	(m)	(kNm)
elemento 6	18,45	-	8,97	165,47	2,30	380,59
elemento 8	5,40	19,02	-	102,71	4,60	472,48
elemento 8bis	14,40	-	8,97	129,15	4,60	594,09

RISULTANTE AL METRO

231,65

659,25

Risultante

N _{stabTOT}	X	M _{stabTOT}
(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
1042,44	2,85	2966,62

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

2) Spinta del terreno in assenza di sisma

In assenza di sisma

Spinta terreno	H	γ	γ'	K_a	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza rinfianco sopra il livello del mare	1,05	19,02	-	0,284	2,98	3,85	11,47
Altezza rinfianco sotto il livello del mare	3,50	19,02	-	0,284	19,87	1,75	34,77
		-	8,97	0,284	15,61	1,17	18,22

RISULTANTE AL METRO

38,46 1,68 64,46

Risultante

$F_{o,ter}$	braccio	M_{ter}
(kN)	(m)	(kN m)
173.08	1.68	290.07

In presenza di sisma verso l'alto \uparrow (-)

Spinta terreno <i>Sisma agente verso l'alto \uparrow (-) e verso mare Dx \leftarrow (+)</i>	H	γ	γ'	$K_{a,MO}$	$1-K_v$	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(-)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza rinfianco sopra il livello del mare	1,05	19,02	-	0,307	0,98	3,15	3,85	12,12
Altezza rinfianco sotto il livello del mare	3,50	19,02	-	0,334	0,98	22,83	1,75	39,96
		-	8,97	0,334	0,98	17,94	1,17	20,94

RISULTANTE AL METRO	43,93	1,66	73,02
---------------------	-------	------	-------

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(kN)	(m)	(kN m)
	197,67	1,66	328,57

In presenza di sisma verso il basso \downarrow (+)

Spinta terreno <i>Sisma agente verso il basso \downarrow (+) e verso mare Dx \leftarrow (+)</i>	H	γ	γ'	$K_{a,MO}^+$	$1+K_v^+$	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(m)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(-)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza rinfianco sopra il livello del mare	1,05	19,02	-	0,308	1,02	3,29	3,85	12,67
Altezza rinfianco sotto il livello del mare	3,50	19,02	-	0,336	1,02	23,96	1,75	41,93
		-	8,97	0,336	1,02	18,83	1,17	21,97

RISULTANTE AL METRO	46,08	1,66	76,56
---------------------	-------	------	-------

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(kN)	(m)	(kN m)
	207,35	1,66	344,54

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

3) Spinta del terreno indotta dalla pavimentazione

In assenza di sisma

<i>Spinta terreno indotta dalla pavimentazione</i>	H	K _a	q _p	S _t	braccio	M _{rib Terr}
	(m)	(-)	(kN/m ²)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	4,55	0,284	3,68	4,75	2,28	10,81

RISULTANTE AL METRO

4,75 2,28 10,81

Risultante

F_{o,pav}	braccio	M_{pav}
(kN)	(m)	(kN m)
21.39	2.28	48.66

In presenza di sisma verso l'alto ↑ (-)

Spinta terreno indotta dalla pavimentazione <i>Sisma agente verso l'alto ↑ (-) e verso mare Dx ← (+)</i>	H	K _{a,MO}	q _p	1-K _v	S _t	braccio	M _{rib Terr}
	(m)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza rinfiango sopra il livello del mare	1,05	0,307	3,68	0,98	1,16	4,03	4,66
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	0,334	3,68	0,98	4,20	1,75	7,35

RISULTANTE AL METRO	5,36	2,24	12,02
---------------------	------	------	-------

RISULTANTE	S_t	braccio	M_{rib Terr}
	(kN)	(m)	(kN m)
	24,12	2,24	54,07

In presenza di sisma verso il basso ↓ (+)

Spinta terreno indotta dalla pavimentazione <i>Sisma agente verso il basso ↓ (+) e verso mare Dx ← (+)</i>	H	K _{a,MO} ⁺	q _p	1+K _v ⁺	S _t	braccio	M _{rib Terr}
	(m)	(-)	(kN/m ²)	(-)	(kN/m)	(m)	[(kN m)/m]
Altezza rinfiango sopra il livello del mare	1,05	0,308	3,68	1,02	1,21	4,03	4,88
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	0,336	3,68	1,02	4,41	1,75	7,71

RISULTANTE AL METRO	5,62	2,24	12,59
---------------------	------	------	-------

RISULTANTE	S_t	braccio	M_{rib Terr}
	(kN)	(m)	(kN m)
	25,29	2,24	56,66

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

4) Spinta del terreno indotta dalla sovraccarico di banchina Δq_b ed in assenza di sisma

In assenza di sisma

Spinta terreno indotta da Δq_b	H	K_a	Δq_b	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(m)	(-)	(kN/m^2)	(kN/m)	(m)	[($kN\ m$)/m]
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	4,55	0,284	20,00	25,87	2,28	58,84

RISULTANTE AL METRO

25,87 2,28 58,84

Risultante

$F_{0,Acc}$	braccio	M_{Acc}
(kN/m)	(m)	($kN\ m$)
116.39	2.28	264.80

In presenza di sisma verso l'alto \uparrow (-)

Spinta terreno indotta da Δq_b <i>Sisma agente verso l'alto \uparrow (-) e verso mare $Dx \leftarrow$ (+)</i>	H	$K_{a,MO}$	Δq_b	$1-K_v$	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(m)	(-)	(kN/m^2)	(-)	(kN/m)	(m)	[($kN\ m$)/m]
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	1,05	0,307	20,00	0,98	6,31	4,03	25,38
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	0,334	20,00	0,98	22,87	1,75	40,02

RISULTANTE AL METRO 29,17 2,24 65,39

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(kN)	(m)	($kN\ m$)
	131,27	2,24	294,27

In presenza di sisma verso il basso \downarrow (+)

Spinta terreno indotta da Δq_b <i>Sisma agente verso il basso \downarrow (+) e verso mare $Dx \leftarrow$ (+)</i>	H	$K_{a,MO}^+$	Δq_b	$1+K_v^+$	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(m)	(-)	(kN/m^2)	(-)	(kN/m)	(m)	[($kN\ m$)/m]
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	1,05	0,308	20,00	1,02	6,59	4,03	26,53
Altezza rinfiango sotto il livello del mare	3,50	0,336	20,00	1,02	23,99	1,75	41,99

RISULTANTE AL METRO 30,58 2,24 68,52

RISULTANTE	S_t	braccio	$M_{rib\ Terr}$
	(kN)	(m)	($kN\ m$)
	137,63	2,24	308,34

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

5) Forze inerziali (verticali ed orizzontali)

Per sisma verso l'alto \uparrow (-)

Elementi geometrici in	Componente pseudo-statica							
	Sisma agente verso l'alto \uparrow (-)				Sisma agente verso il mare $Dx \leftarrow$ (+)			
Calcestruzzo armato	K_v	F_v	braccio	M_{Fv}	K_h^+	F_h^+	braccio	M_{Fh}^+
	(-)	(kN)	(m)	(kN m)	(-)	(kN)	(m)	(kN m)
elemento 1	-0,021	-6,06	2,20	-13,33	0,041	12,12	4,35	52,72
elemento 2	-0,021	-0,34	3,95	-1,35	0,041	0,68	3,75	2,56
elemento 3	-0,021	-0,15	0,65	-0,10	0,041	0,30	3,75	1,14
elemento 2bis	-0,021	-1,29	3,95	-5,09	0,041	2,58	1,90	4,90
elemento 3bis	-0,021	-0,98	0,65	-0,63	0,041	1,95	1,50	2,93
elemento 4	-0,021	-0,30	2,30	-0,70	0,041	0,61	3,75	2,28
elemento 4bis	-0,021	-1,05	2,30	-2,41	0,041	2,10	1,85	3,88
elemento 5	-0,021	-1,10	2,30	-2,53	0,041	2,20	1,95	4,30
elemento 7	-0,021	-2,06	2,55	-5,24	0,041	4,11	0,15	0,62

Materiale di cava	K_v	F_v	braccio	M_{Fv}	K_h^+	F_h^+	braccio	M_{Fh}^+
	(-)	(kN)	(m)	(kN m)	(-)	(kN)	(m)	(kN m)
elemento 6	-0,021	-3,42	2,30	-7,86	0,041	6,84	1,05	7,18
elemento 8	-0,021	-2,12	4,60	-9,76	0,041	4,24	4,10	17,40
elemento 8bis	-0,021	-2,67	4,60	-12,28	0,041	5,34	1,75	9,34

RISULTANTE

F_v	X	$M_{Fv,Tot}^+$
(kN)	(m)	(kN m)
-21,54	2,85	-61,30

F_h^{TOT}	Y	$M_{Fh,Tot}^+$
(kN)	(m)	(kN m)
43,08	2,54	109,25

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Per sisma verso il basso ↓ (+)

Elementi geometrici in	Componente pseudo-statica							
	Sisma agente verso il basso ↓ (+)				Sisma agente verso il mare Dx ← (+)			
	K_v^+ (-)	F_v^+ (kN)	braccio (m)	M_{Fv}^+ (kN m)	K_h^+ (-)	F_h^+ (kN)	braccio (m)	M_{Fh}^+ (kN m)
<i>Calcestruzzo armato</i>								
elemento 1	0,021	6,06	2,20	13,33	0,041	12,12	4,35	52,72
elemento 2	0,021	0,34	3,95	1,35	0,041	0,68	3,75	2,56
elemento 3	0,021	0,15	0,65	0,10	0,041	0,30	3,75	1,14
elemento 2bis	0,021	1,29	3,95	5,09	0,041	2,58	1,90	4,90
elemento 3bis	0,021	0,98	0,65	0,63	0,041	1,95	1,50	2,93
elemento 4	0,021	0,30	2,30	0,70	0,041	0,61	3,75	2,28
elemento 4bis	0,021	1,05	2,30	2,41	0,041	2,10	1,85	3,88
elemento 5	0,021	1,10	2,30	2,53	0,041	2,20	1,95	4,30
elemento 7	0,021	2,06	2,55	5,24	0,041	4,11	0,15	0,62

<i>Materiale di cava</i>	K_v^+	F_v^+	braccio	M_{Fv}^+	K_h^+	F_h^+	braccio	M_{Fh}^+
	(-)	(kN)	(m)	(kN m)	(-)	(kN)	(m)	(kN m)
elemento 6	0,02	3,42	2,30	7,86	0,041	6,84	1,05	7,18
elemento 8	0,02	2,12	4,60	9,76	0,041	4,24	4,10	17,40
elemento 8bis	0,02	2,67	4,60	12,28	0,041	5,34	1,75	9,34

RISULTANTE	$F_{v\text{TOT}}^+$	X	M_{Fv}^+	$F_{h\text{TOT}}^+$	Y	$M_{Fh\text{tot}}^+$
	(kN)	(m)	(kN m)	(kN)	(m)	(kN m)
	21,54	2,85	61,30	43,08	2,54	109,25

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

6) Spinta idrodinamica generata dell'acqua interstiziale in presenza di sisma

Per sisma verso mare $Dx \leftarrow (+)$

Spinta idrodinamica <i>Sisma agente verso mare $Dx \leftarrow (+)$</i>	H_w (m)	K_h^+ (-)	γ_w (kN/m ³)	S_w (kN)	braccio (m)	$M_{rib,w}$ (kNm)
Altezza terrapieno a tergo del Muro-Cassone	3,50	0,041	10,05	2,97	1,40	4,16

RISULTANTE AL METRO	2,97	1,40	4,16
---------------------	------	------	------

RISULTANTE	S_w (kN)	braccio (m)	$M_{rib,w}$ (kN m)
	13,36	1,40	18,70

7) Azione orizzontale esercitata dal tiro alla bitta

Azione orizzontale esercitata dal tiro alla bitta	S_t (kN)	braccio (m)	$M_{rib Terr}$ (kN m)
	31,36	4,70	147,41

RISULTANTE	31,36	4,70	147,41
------------	-------	------	--------

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo banchine

7.1 Verifiche SLU

7.1.1 Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1)

	coefficienti SLU		F_o	F_v
	γ	ψ_{0i}	[kN]	[kN]
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,5	-	16,4	-
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,5	-	132,4	-
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,5	0,7	89,0	-
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,5	0,6	31,4	-
Spinta indotta dal Travel Lift (abbreviazione TL)	1,5	0,7	0,0	-
	ϕ'	γ_ϕ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi')/\gamma_\phi]$	$\mu = \tan(\phi'_d)$
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]	[-]
	45,0	1,0	45,0	1,0

Combinazione di carico n° 1: Carichi variabili - Accidentale (Dominante) + Tiro alla bitta		
Calcolo di $R_d = \gamma_{G1, fav} \cdot \mu \cdot F_{v, Tot}$	1042,44	[kN]
Calcolo di $E_d = \gamma_{G2, sfav} \cdot (F_{o, pav} + F_{o, ter}) + \gamma_Q \cdot (F_{o, Acc} + \psi_{02} \cdot F_{o, Bit})$	384,95	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 2,71 > 1,0$

Combinazione di carico n° 2: Carichi variabili - Tiro alla bitta (Dominante) + Accidentale		
Calcolo di $R_d = \gamma_{G1, fav} \cdot \mu \cdot F_{v, Tot}$	1042,44	[kN]
Calcolo di $E_d = \gamma_{G2, sfav} \cdot (F_{o, pav} + F_{o, ter}) + \gamma_Q \cdot (F_{o, Bit} + \psi_{04} \cdot F_{o, Acc})$	363,70	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 2,87 > 1,0$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7.1.2 Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2)

	coefficienti SLU		F_o	F_v
	γ	ψ_{oj}	[kN]	[kN]
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,3	-	21,4	-
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,3	-	173,1	-
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,3	-	116,4	-
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,3	0,6	31,4	-
Spinta indotta dal Travel Lift (abbreviazione TL)	1,3	0,7	0,0	-
	ϕ'	γ_ϕ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi')/\gamma_d]$	$\mu = \tan(\phi'_d)$
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]	[-]
	45,0	1,3	38,7	0,8

Combinazione di carico n° 1: Carichi variabili - Accidentale (Dominante) + Tiro alla bitta			
Calcolo di $R_d = \gamma_{G1, fav} \cdot \mu \cdot F_{v, Tot}$		833,95	[kN]
Calcolo di $E_d = \gamma_{G2, sfav} \cdot (F_{o, pav} + F_{o, ter}) + \gamma_Q \cdot (F_{o, Acc} + \psi_{02} \cdot F_{o, Bit})$		428,59	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R$	$\rightarrow \rightarrow \rightarrow 1,95 > 1,1$

Combinazione di carico n° 2: Carichi variabili - Tiro alla bitta (Dominante) + Accidentale			
Calcolo di $R_d = \gamma_{G1, fav} \cdot \mu \cdot F_{v, Tot}$		833,95	[kN]
Calcolo di $E_d = \gamma_{G2, sfav} \cdot (F_{o, pav} + F_{o, ter}) + \gamma_Q \cdot (F_{o, Bit} + \psi_{04} \cdot F_{o, Acc})$		399,50	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R$	$\rightarrow \rightarrow \rightarrow 2,09 > 1,1$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7.1.3 Verifiche al ribaltamento: Combinazione A_{EQU}+M2

	coefficienti SLU		M _{stab} [kN]	M _{rib} [kN]
	γ	ψ _{0j}		
Peso proprio (abbreviazione p-p)	0,9	-	2966,6	-
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,5	-	-	48,7
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,5	-	-	290,1
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,5	0,7	-	264,8
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,5	0,6	-	147,4
Spinta indotta dal Travel Lift (abbreviazione TL)	1,5	0,7	-	0,0

Combinazione di carico n° 1: Carichi variabili - Accidentale (Dominante) + Tiro alla bitta		
Calcolo di R _d = γ _{G1,fav} · M _{stab,Tot}	2669,96	[kN]
Calcolo di E _d = γ _{G2,sfav} · (M _{rib,pav} + M _{rib,ter}) + γ _Q · (M _{rib,Acc} + ψ ₀₂ · M _{rib,Bit})	1037,95	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	R _d /E _d > 1 →→→ 2,57 > 1,0

Combinazione di carico n° 2: Carichi variabili - Tiro alla bitta (Dominante) + Accidentale		
Calcolo di R _d = γ _{G1,fav} · M _{stab,Tot}	2669,96	[kN]
Calcolo di E _d = γ _{G2,sfav} · (M _{rib,pav} + M _{rib,ter}) + γ _Q · (M _{rib,Bit} + ψ ₀₄ · M _{rib,Acc})	1007,24	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	R _d /E _d > 1 →→→ 2,65 > 1,0

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7.1.4 Verifica capacità portante: Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1)

	coefficienti SLU		F _o [kN]	F _v [kN]	M _{stab} [kN·m]	M _{rib} [kN·m]
	γ	ψ ₀₁				
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4	2966,6	-
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,5	-	16,4	-	-	37,2
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,5	-	132,4	-	-	221,9
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,5	-	89,0	-	-	202,6
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,5	0,6	31,4	-	-	147,4
Spinta indotta dal Travel Lift (abbreviazione TL)	1,5	0,7	0,0	-	-	0,0
	φ'	γ _ψ	φ' _d =tan ⁻¹ [tan(φ')/γ _d]			
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]			
	45,0	1,0	45,0			
Lunghezza L della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	4,5	[m]				
Larghezza B della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	5,1	[m]				

Combinazione di carico n° 1: Carichi variabili - Accidentale (Dominante) + Tiro alla bitta						
Calcolo di E _d = γ _{G1,fav} ·F _{v,Tot} (si ipotizza che il carico accidentale agisce sul terrapieno a tergo della banchina)				1042,44		[kN]
Calcolo di M _A = γ _{G1,fav} ·M _{stab,p-p} -γ _{G2,sfav} ·(M _{rib,ter} +M _{rib,pav})-γ _{Q,sfav} ·(M _{rib,Acc} +ψ ₀₂ ·M _{rib,Bit})				2141,4		[kN·m]
Calcolo dell'eccentricità in fondazione e= B/2-M _A /E _d				0,50		[m]
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione B'=B-2·e				4,11		[m]
Calcolo dell'angolo α=tg ⁻¹ (H/V)=tg ⁻¹ {[(γ _{G2,sfav} ·(F _{o,ter} +F _{o,pav})+γ _{Q,sfav} ·(F _{o,Acc} +ψ ₀₂ ·F _{o,Bit})]/(γ _{G1,sfav} ·F _{v,p-p})}				20,3		[°]
Fattori di capacità portante	N _q = tg ² (45+φ'/2)·e ^{-π·tg φ'} (Prandtl, 1921)		N _c = (N _q -1)/tg φ' (Reissner, 1924)		N _γ = 2·(N _q +1)·tg φ' (Vesic, 1970)	
	N _q =	134,87	N _c =	133,9	N _γ =	271,7
Fattori di inclinazione	i _q = [1-0.5·H/(V+B'·L·c'·cotg φ')] ² (Hansen, 1970)		i _c = i _q - [(1-i _q)/(1-N _q)] (Hansen-Vesic, 1973)		i _γ = [1-0.7·H/(V+B'·L·c'·cotg φ')] ³ (Hansen, 1970)	
	i _q =	0,66	i _c =	0,67	i _γ =	0,41
Fattori di Profondità	d _q = 1+2k·tan φ'·(1-sen φ') ² (Brinch-Hansen, 1970)		d _c = 1+0.4·k (Brinch-Hansen, 1970)		d _γ = 1 (Brinch-Hansen, 1970)	
	d _q =	1,00	d _c =	1,0	d _γ =	1,0
con k uguale a D/B= 0,00 [m] per D/B<1						
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione				0,0		[kN·m ²]
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento				9,0		[kN·m ³]
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento				0,0		[kPa]
Calcolo di R _d = L·B'·(c'·N _c ·d _c ·i _c +q·N _q ·d _q ·i _q +1/2·γ'·B'·N _γ ·d _γ ·i _γ)				37738,34		[kN]
La verifica allo schiacciamento risulta:	soddisfatta			R _d /E _d >γ _R	→→→	36,20 > 1,0

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Combinazione di carico n° 2: Carichi variabili - Tiro alla bitta (Dominante) + Accidentale					
Calcolo di $E_d = \gamma_{G1, fav} \cdot F_{v, Tot}$			1042,44	[kN]	
Calcolo di $M_A = \gamma_{G1, fav} \cdot M_{stab, p-p} \cdot (br_{Fv} - B/2) - \gamma_{G2, sfav} \cdot (M_{rib, ter} + M_{rib, pav}) - \gamma_{Q, sfav} \cdot (M_{rib, BR} + \psi_{04} \cdot M_{rib, Acc})$			2144,1	[kN·m]	
Calcolo dell'eccentricità in fondazione $e = B/2 - M_A/E_d$			0,49	[m]	
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione $B' = B - 2 \cdot e$			4,11	[m]	
Calcolo dell'angolo $\alpha = \text{tg}^{-1}(H/V) = \text{tg}^{-1}\left\{\frac{[\gamma_{G2, sfav} \cdot (F_{o, ter} + F_{o, pav}) + \gamma_{Q, sfav} \cdot (F_{o, BR} + \psi_{04} \cdot F_{o, Acc})]}{[\gamma_{G1, sfav} \cdot F_{v, p-p}]}\right\}$			16,9	[°]	
Fattori di capacità portante	$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{-\pi \cdot \text{tg} \phi'} \text{ (Prandtl, 1921)}$		$N_c = (N_q - 1) / \text{tg} \phi' \text{ (Reissner, 1924)}$		$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi' \text{ (Vesic, 1970)}$
	$N_q =$	134,87	$N_c =$	133,9	$N_\gamma =$ 271,7
Fattori di inclinazione	$i_q = [1 - 0.5 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^2 \text{ (Hansen, 1970)}$		$i_c = i_q - [(1 - i_q) / (1 - N_q)] \text{ (Hansen-Vesic, 1973)}$		$i_\gamma = [1 - 0.7 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^3 \text{ (Hansen, 1970)}$
	$i_q =$	0,72	$i_c =$	0,72	$i_\gamma =$ 0,49
Fattori di Profondità	$d_q = 1 + 2k \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \text{sen} \phi')^2 \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$		$d_c = 1 + 0.4 \cdot k \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$		$d_\gamma = 1 \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$
	$d_q =$	1,00	$d_c =$	1,0	$d_\gamma =$ 1,0
	con k uguale a D/B = 0,00 [m] per D/B < 1				
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione			0,0	[kN·m ²]	
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento			9,0	[kN·m ³]	
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento			0,0	[kPa]	
Calcolo di $R_d = L \cdot B' \cdot (c' \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$			45297,11	[kN]	
La verifica allo schiacciamento risulta:			soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R$	→ → → 43,45 > 1,0

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7.1.5 Verifica capacità portante: Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2)

	coefficienti SLU		F_o	F_v	M_{stab}	M_{rib}
	γ	Ψ_{01}	[kN]	[kN]	[kN·m]	[kN·m]
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4	2966,6	-
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,3	-	21,4	-	-	48,7
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,3	-	173,1	-	-	290,1
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,3	-	116,4	-	-	264,8
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,3	0,6	31,4	-	-	147,4
Spinta indotta dal Travel Lift (abbreviazione TL)	1,3	0,7	0,0	-	-	0,0
	ϕ'	γ_ψ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi')/\gamma_d]$			
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]			
	45,0	1,3	38,7			
Lunghezza L della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	4,5	[m]				
Larghezza B della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	5,1	[m]				

Combinazione di carico n° 1: Carichi variabili - Accidentale (Dominante) + Tiro alla bitta						
Calcolo di $E_d = \gamma_{G1,fav} \cdot F_{v,Tot}$ (si ipotizza che il carico accidentale agisce sul terrapieno a tergo della banchina)					1042,44	[kN]
Calcolo di $M_A = \gamma_{G1,fav} \cdot M_{stab,p-p} - \gamma_{G2,sfav} \cdot (M_{rib,ter} + M_{rib,pav}) - \gamma_{Q,sfav} \cdot (M_{rib,Acc} + \Psi_{02} \cdot M_{rib,Bit})$					2067,1	[kN·m]
Calcolo dell'eccentricità in fondazione $e = B/2 - M_A/E_d$					0,57	[m]
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione $B' = B - 2 \cdot e$					3,97	[m]
Calcolo dell'angolo $\alpha = \text{tg}^{-1}(H/V) = \text{tg}^{-1}\{[(\gamma_{G2,sfav} \cdot (F_{o,ter} + F_{o,pav}) + \gamma_{Q,sfav} \cdot (F_{o,Acc} + \Psi_{02} \cdot F_{o,Bit})) / (\gamma_{G1,fav} \cdot F_{v,p-p})]\}$					22,3	[°]
Fattori di capacità portante	$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{-\pi \cdot \text{tg} \phi'}$ (Prandtl, 1921)		$N_c = (N_q - 1) / \text{tg} \phi'$ (Reissner, 1924)		$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi'$ (Vesic, 1970)	
	$N_q =$	53,44	$N_c =$	65,6	$N_\gamma =$	87,1
Fattori di inclinazione	$i_q = [1 - 0,5 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^2$ (Hansen, 1970)		$i_c = i_q - [(1 - i_q) / (1 - N_q)]$ (Hansen-Vesic, 1973)		$i_\gamma = [1 - 0,7 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^3$ (Hansen, 1970)	
	$i_q =$	0,63	$i_c =$	0,64	$i_\gamma =$	0,36
Fattori di Profondità	$d_q = 1 + 2k \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \text{sen} \phi')^2$ (Brinch-Hansen, 1970)		$d_c = 1 + 0,4 \cdot k$ (Brinch-Hansen, 1970)		$d_\gamma = 1$ (Brinch-Hansen, 1970)	
	$d_q =$	1,00	$d_c =$	1,0	$d_\gamma =$	1,0
con k uguale a $D/B = 0,00$ [m] per $D/B < 1$						
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione					0,0	[kN·m²]
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento					9,0	[kN·m³]

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Coesione efficace c del pietrame di imbasamento	0,0	[kPa]
Calcolo di $R_d = L \cdot B' \cdot (c' \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$	9987,54	[kN]
La verifica allo schiacciamento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 9,58 > 1,8$

Combinazione di carico n°2: Carichi variabili - Tiro alla bitta (Dominante) + Accidentale			
Calcolo di $E_d = \gamma_{G1, fav} \cdot F_{v, Tot}$	1042,44	[kN]	
Calcolo di $M_A = \gamma_{G1, fav} \cdot M_{stab, p-p} \cdot (b \cdot r_{Fv} - B/2) - \gamma_{G2, sfav} \cdot (M_{rib, ter} + M_{rib, pav}) - \gamma_{Q, sfav} \cdot (M_{rib, bit} + \psi_{04} \cdot M_{rib, Acc})$	2093,7	[kN·m]	
Calcolo dell'eccentricità in fondazione $e = B/2 - M_A/E_d$	0,54	[m]	
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione $B' = B - 2 \cdot e$	4,02	[m]	
Calcolo dell'angolo $\alpha = \text{tg}^{-1}(H/V) = \text{tg}^{-1}\{[(\gamma_{G2, sfav} \cdot (F_{o, ter} + F_{o, pav}) + \gamma_{Q, sfav} \cdot (F_{o, bit} + \psi_{04} \cdot F_{o, Acc})) / (\gamma_{G1, fav} \cdot F_{v, p-p})]\}$	19,0	[°]	
Fattori di capacità portante	$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{-\pi \cdot \text{tg} \phi'} \text{ (Prandtl, 1921)}$	$N_c = (N_q - 1) / \text{tg} \phi' \text{ (Reissner, 1924)}$	$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi' \text{ (Vesic, 1970)}$
	$N_q = 53,44$	$N_c = 65,6$	$N_\gamma = 87,1$
Fattori di inclinazione	$i_q = [1 - 0,5 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^2 \text{ (Hansen, 1970)}$	$i_c = i_q - [(1 - i_q) / (1 - N_q)] \text{ (Hansen-Vesic, 1973)}$	$i_\gamma = [1 - 0,7 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^3 \text{ (Hansen, 1970)}$
	$i_q = 0,69$	$i_c = 0,69$	$i_\gamma = 0,44$
Fattori di Profondità	$d_q = 1 + 2k \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \text{sen} \phi')^2 \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$	$d_c = 1 + 0,4 \cdot k \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$	$d_\gamma = 1 \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$
	$d_q = 1,00$	$d_c = 1,0$	$d_\gamma = 1,0$
con k uguale a D/B=0,00 [m] per D/B<1			
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione	0,0	[kN·m ²]	
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento	9,0	[kN·m ³]	
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento	0,0	[kPa]	
Calcolo di $R_d = L \cdot B' \cdot (c' \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$	12407,34	[kN]	
La verifica allo schiacciamento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 11,90 > 1,8$	

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7.1.6 Verifica capacità portante: Approccio 2 – Combinazione (A1+M1+R3)

	coefficienti SLU		F _o [kN]	F _v [kN]	M _{stab} [kN·m]	M _{rib} [kN·m]
	γ	ψ _{0j}				
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4	2966,6	-
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,5	-	16,4	-	-	37,2
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,5	-	132,4	-	-	221,9
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,5	-	89,0	-	-	202,6
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,5	0,6	31,4	-	-	147,4
Spinta indotta dal Travel Lift (abbreviazione TL)	1,5	0,7	0,0	-	-	0,0
	φ'	γ _ψ	φ' _d =tan ⁻¹ [tan(φ')/γ _d]			
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]			
	45,0	1,0	45,0			
Lunghezza L della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	4,5	[m]				
Larghezza B della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	5,1	[m]				

Combinazione di carico n° 1: Carichi variabili - Accidentale (Dominante) + Tiro alla bitta						
Calcolo di E _d = γ _{G1,fav} ·F _{v,Tot} (si ipotizza che il carico accidentale agisce sul terrapieno a tergo della banchina)					1042,44	[kN]
Calcolo di M _A = γ _{G1,fav} ·M _{stab,p-p} +γ _{G2,sfav} ·(M _{rib,ter} +M _{rib,pav})+γ _{Q,sfav} ·(M _{rib,Acc} +ψ ₀₂ ·M _{rib,Bit})					2141,4	[kN·m]
Calcolo dell'eccentricità in fondazione e= B/2-M _A /E _d					0,50	[m]
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione B'=B-2·e					4,11	[m]
Calcolo dell'angolo α=tg ⁻¹ (H/V)=tg ⁻¹ {[(γ _{G2,sfav} ·(F _{o,ter} +F _{o,pav})+γ _{Q,sfav} ·(F _{o,Acc} +ψ ₀₂ ·F _{o,Bit})]/(γ _{G1,sfav} ·F _{v,p-p})}					20,3	[°]
Fattori di capacità portante	N _q = tg ² (45+φ'/2)·e ^{-π·tg φ'} (Prandtl, 1921)		N _c = (N _q -1)/tg φ' (Reissner, 1924)		N _γ = 2·(N _q +1)·tg φ' (Vesic, 1970)	
	N _q =	134,87	N _c =	133,9	N _γ =	271,7
Fattori di inclinazione	i _q = [1-0.5·H/(V+B'·L·c'·cotg φ')] ² (Hansen, 1970)		i _c = i _q - [(1-i _q)/(1-N _q)] (Hansen-Vesic, 1973)		i _γ = [1-0.7·H/(V+B'·L·c'·cotg φ')] ³ (Hansen, 1970)	
	i _q =	0,66	i _c =	0,67	i _γ =	0,41
Fattori di Profondità	d _q = 1+2k·tan φ'·(1-sen φ') ² (Brinch-Hansen, 1970)		d _c = 1+0.4·k (Brinch-Hansen, 1970)		d _γ = 1 (Brinch-Hansen, 1970)	
	d _q =	1,00	d _c =	1,0	d _γ =	1,0
	con k uguale a D/B= 0,00 [m] per D/B<1					
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione					0,0	[kN·m ²]
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento					9,0	[kN·m ³]
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento					0,0	[kPa]
Calcolo di R _d = L·B'·(c'·N _c ·d _c ·i _c +q·N _q ·d _q ·i _q +1/2·γ'·B'·N _γ ·d _γ ·i _γ)					37738,34	[kN]
La verifica allo schiacciamento risulta:	soddisfatta			R _d /E _d >γ _R	→→→	36,20 > 2,3

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Combinazione di carico n° 2: Carichi variabili - Tiro alla bitta (Dominante) + Accidentale						
Calcolo di $E_d = \gamma_{G1, fav} \cdot F_{v, Tot}$			1042,44	[kN]		
Calcolo di $M_A = \gamma_{G1, fav} \cdot M_{stab, p-p} \cdot (br_{FV} - B/2) - \gamma_{G2, sfav} \cdot (M_{rib, ter} + M_{rib, pav}) - \gamma_{Q, sfav} \cdot (M_{rib, bit} + \psi_{04} \cdot M_{rib, Acc})$			2144,1	[kN·m]		
Calcolo dell'eccentricità in fondazione $e = B/2 - M_A/E_d$			0,49	[m]		
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione $B' = B - 2 \cdot e$			4,11	[m]		
Calcolo dell'angolo $\alpha = \text{tg}^{-1}(H/V) = \text{tg}^{-1} \left\{ \frac{[\gamma_{G2, sfav} \cdot (F_{o, ter} + F_{o, pav}) + \gamma_{Q, sfav} \cdot (F_{o, bit} + \psi_{04} \cdot F_{o, Acc})]}{(\gamma_{G1, sfav} \cdot F_{v, p-p})} \right\}$			16,9	[°]		
Fattori di capacità portante	$N_q = \text{tg}^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{-\pi \cdot \text{tg} \phi'} \text{ (Prandtl, 1921)}$		$N_c = (N_q - 1) / \text{tg} \phi' \text{ (Reissner, 1924)}$		$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot \text{tg} \phi' \text{ (Vesic, 1970)}$	
	$N_q =$	134,87	$N_c =$	133,9	$N_\gamma =$	271,7
Fattori di inclinazione	$i_q = [1 - 0.5 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^2 \text{ (Hansen, 1970)}$		$i_c = i_q - [(1 - i_q) / (1 - N_{qj})] \text{ (Hansen-Vesic, 1973)}$		$i_\gamma = [1 - 0.7 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot \text{cotg} \phi')]^3 \text{ (Hansen, 1970)}$	
	$i_q =$	0,72	$i_c =$	0,72	$i_\gamma =$	0,49
Fattori di Profondità	$d_q = 1 + 2k \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \text{sen} \phi')^2 \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$		$d_c = 1 + 0.4 \cdot k \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$		$d_\gamma = 1 \text{ (Brinch-Hansen, 1970)}$	
	$d_q =$	1,00	$d_c =$	1,0	$d_\gamma =$	1,0
	con k uguale a D/B= 0,00 [m] per D/B<1					
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione			0,0	[kN·m ²]		
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento			9,0	[kN·m ³]		
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento			0,0	[kPa]		
Calcolo di $R_d = L \cdot B' \cdot (c' \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$			45297,11	[kN]		
La verifica allo schiacciamento risulta:			soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R$	$\rightarrow \rightarrow \rightarrow$ 43,45 > 2,3	

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7.2 Verifiche SLV

7.2.1 Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1)

Per di sisma verso l'alto ↑ (-)

	coefficienti SLU		F _o [kN]	F _v [kN]
	γ	ψ _{0j}		
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,0	-	18,8	-
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,0	-	154,3	-
Forza di inerzia verticale (F _{v,Tot} ⁻)	1,0	-	-	-21,5
Forza di inerzia orizzontale (F _{h,Tot} ⁺)	1,0	-	43,1	-
Spinta idrodinamica (abbreviazione w)	1,0	-	13,4	-
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,0	0,3	102,3	-
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,0	0,0	31,4	-
Spinta indotta dal Travel Lift (abbreviazione TL)	1,0	0,3	#RIF!	-
	φ'	γ _ψ	φ' _d =tan ⁻¹ [tan(φ')/γ _d]	μ=tan(φ' _d)
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]	[-]
	45,0	1,0	45,0	1,0

Combinazione di carico n° 1 per sisma agente verso l'alto ↑ (-) e verso il mare ← (+): Carichi variabili - Accidentale		
Calcolo di R _d = μ·(F _{v,Tot} +F _{v,Tot} ⁻)	1020,90	[kN]
Calcolo di E _d = F _{o,pav} +F _{o,ter} +F _{h,Tot} ⁺ +F _{o,w} +ψ ₂₄ ·F _{o,Acc}	260,20	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	R _d /E _d >γ _R →→→ 3,92 > 1,0

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Per sisma verso il basso ↓ (+)

	coefficienti SLU		F _o [kN]	F _v [kN]
	γ	ψ _{0j}		
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,0	-	19,7	-
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,0	-	161,9	-
Forza di inerzia verticale (F ⁺ _{v,Tot})	1,0	-	-	21,5
Forza di inerzia orizzontale (F ⁺ _{h,Tot})	1,0	-	43,1	-
Spinta idrodinamica (abbreviazione w)	1,0	-	13,4	-
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,0	0,3	107,3	-
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,0	0,0	31,4	-
	φ'	γ _ψ	φ' _d =tan ⁻¹ [tan(φ')/γ _d]	μ=tan(φ' _d)
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]	[-]
	45,0	1,0	45,0	1,0

Combinazione di carico n° 1 per sisma agente verso il basso ↓ (+) e verso il mare ← (+): Carichi variabili - Accidentale			
Calcolo di R _d = μ·(F _{v,Tot} +F ⁺ _{v,Tot})		1063,98	[kN]
Calcolo di E _d = F _{o,pav} +F _{o,ter} +F ⁺ _{h,Tot} +F _{o,w} +ψ ₂₄ ·F _{o,Acc}		270,30	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	R _d /E _d >γ _R	→→→ 3,94 > 1,0

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7.2.2 Verifica a scorrimento: Approccio 1 – Combinazione 2 (A2+M2+R2)

Per di sisma verso l'alto ↑ (-)

	coefficienti SLU		F_o [kN]	F_v [kN]
	γ	Ψ_{0j}		
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,0	-	24,1	-
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,0	-	197,7	-
Forza di inerzia verticale ($F_{v,Tot}$)	1,0	-	-	-21,5
Forza di inerzia orizzontale ($F_{h,Tot}^+$)	1,0	-	43,1	-
Spinta idrodinamica (abbreviazione w)	1,0	-	13,4	-
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,0	0,3	131,3	-
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,0	0,0	31,4	-
	ϕ'	γ_ψ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi')/\gamma_d]$	$\mu = \tan(\phi'_d)$
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]	[-]
	45,0	1,3	38,7	0,8

Combinazione di carico n° 1 per sisma agente verso l'alto ↑ (-) e verso il mare ← (+): Carichi variabili - Accidentale		
Calcolo di $R_d = \mu \cdot (F_{v,Tot} + F_{v,Tot}^-)$	816,72	[kN]
Calcolo di $E_d = F_{o,pav} + F_{o,ter} + F_{h,Tot}^+ + F_{o,w} + \Psi_{24} \cdot F_{o,Acc}$	317,61	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow 2,57 > 1,1$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Per sisma verso il basso ↓ (+)

	coefficienti SLU		F _o [kN]	F _v [kN]
	γ	ψ _{0j}		
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,0	-	25,3	-
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,0	-	207,3	-
Forza di inerzia verticale (F ⁺ _{v,Tot})	1,0	-	-	21,5
Forza di inerzia orizzontale (F ⁺ _{h,Tot})	1,0	-	43,1	-
Spinta idrodinamica (abbreviazione w)	1,0	-	13,4	-
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,0	0,3	137,6	-
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,0	0,0	31,4	-
	φ'	γ _ψ	φ' _d =tan ⁻¹ [tan(φ')/γ _d]	μ=tan(φ' _d)
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]	[-]
	45,0	1,3	38,7	0,8

Combinazione di carico n° 1 per sisma agente verso il basso ↓ (+) e verso il mare ← (+): Carichi variabili - Accidentale			
Calcolo di R _d = μ·(F _{v,Tot} +F ⁺ _{v,Tot})		851,18	[kN]
Calcolo di E _d = F _{o,pav} +F _{o,ter} +F ⁺ _{h,Tot} +F _{o,w} +ψ ₂₄ ·F _{o,Acc}		330,37	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	R _d /E _d >γ _R	→→→ 2,58 > 1,1

**Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord**

Relazione di calcolo banchine

7.2.3 Verifiche al ribaltamento: Combinazione M2

Per di sisma verso l'alto ↑ (-)

	coefficienti SLU		M_{stab} [kN]	M_{rib} [kN]
	γ	ψ_{0j}		
Peso proprio (abbreviazione <i>p-p</i>)	1,0	-	2966,6	-
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione <i>pav</i>)	1,0	-	-	54,1
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione <i>ter</i>)	1,0	-	-	328,6
Forza di inerzia verticale ($M_{Fv,Tot}^-$)	1,0	-	-	61,3
Forza di inerzia orizzontale ($M_{Fh,Tot}^+$)	1,0	-	-	109,3
Spinta idrodinamica ($M_{rib,w}$)	1,0	-	-	18,7
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione <i>Acc</i>)	1,0	0,3	-	294,3
Tiro alla bitta (abbreviazione <i>Bit</i>)	1,0	0,0	-	147,4

Combinazione di carico n° 1 per sisma agente verso l'alto ↑ (-) e verso il mare ← (+): Carichi variabili - Accidentale		
Calcolo di $R_d = M_{stab,p-p}$	2966,62	[kN]
Calcolo di $E_d = M_{rib,pav} + M_{rib,ter} + M_{Fv}^- + M_{Fh,Tot}^+ + M_{rib,w} + \psi_{24} \cdot M_{rib,Acc}$	660,18	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > 1$ →→→ 4,49 > 1,0

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Per sisma verso il basso ↓ (+)

	coefficienti SLU		M_{stab} [kN]	M_{rib} [kN]
	γ	Ψ_{0i}		
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	2966,6	-
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,0	-	-	56,7
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,0	-	-	344,5
Forza di inerzia verticale ($M_{Fv,Tot}^+$)	1,0	-	61,3	-
Forza di inerzia orizzontale ($M_{Fh,Tot}^+$)	1,0	-	-	109,3
Spinta idrodinamica ($M_{rib,w}$)	1,0	-	-	18,7
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,0	0,3	-	308,3
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,0	0,0	-	147,4

Combinazione di carico n° 1 per sisma agente verso il basso ↓ (+) e verso il mare ← (+): Carichi variabili - Accidentale			
Calcolo di $R_d = M_{stab,p-p} + M_{Fv}^+$		3027,93	[kN]
Calcolo di $E_d = M_{rib,pav} + M_{rib,ter} + M_{Fh,Tot}^+ + M_{rib,w} + \Psi_{24} \cdot M_{rib,Acc}$		621,66	[kN]
La verifica allo scorrimento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > 1$	→→→ 4,87 > 1,0

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

7.2.4 Verifica capacità portante: Approccio 2 – Combinazione (A1+M1+R3)

Per di sisma verso l'alto ↑ (-)

	coefficienti SLU		F _o [kN]	F _v [kN]	M _{stab} [kN·m]	M _{rib} [kN·m]
	γ	Ψ _{oj}				
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4	2966,6	-
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,0	-	18,8	-	-	42,1
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,0	-	154,3	-	-	256,2
Forza di inerzia verticale (F _{v,Tot})	1,0	-	-	-21,5	-	61,3
Forza di inerzia orizzontale (F _{h,Tot})	1,0	-	43,1	-	-	109,3
Spinta idrodinamica (abbreviazione w)	1,0	-	13,4	-	-	18,7
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,0	0,3	102,3	-	-	228,9
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,0	0,0	31,4	-	-	147,4
	φ'	γ _ψ	φ' _a =tan ⁻¹ [tan(φ')/γ _a]			
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]			
	45,0	1,0	45,0			
Lunghezza L della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	4,5	[m]				
Larghezza B della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	5,1	[m]				

Combinazione di carico n° 1 per sisma agente verso l'alto ↑ (-) e verso il mare ← (+): Carichi variabili - Accidentale					
Calcolo di E _d = F _{v,Tot} + F _{v,Tot} (si ipotizza che il carico accidentale agisce sul terrapieno a tergo della banchina)			1020,90		[kN]
Calcolo di M _A = M _{stab,p-p} -(M _{rib,pav} +M _{rib,ter} +M _{Fv,Tot} +M _{Fh,Tot} +M _{rib,w} +ψ ₂₄ ·M _{rib,Acc})			2410,4		[kN·m]
Calcolo dell'eccentricità in fondazione e= B/2-M _A /E _d			0,19		[m]
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione B'=B-2·e			4,72		[m]
Calcolo dell'angolo α=tg ⁻¹ (H/V)=tg ⁻¹ [(F _{o,pav} +F _{o,ter} +F _{Fh,Tot} +F _{o,w} +ψ ₂₄ ·F _{o,Acc})/(F _{v,p-p} +F _{v,Tot})]			14,3		[°]
Fattori di capacità portante	N _q = tg ² (45+φ'/2)·e ^{-tgφ'} (Prandtl, 1921)		N _c = (N _q -1)/tgφ' (Reissner, 1924)		N _γ = 2·(N _q +1)·tgφ' (Vesic, 1970)
	N _q =	134,87	N _c =	133,9	N _γ =
Fattori di inclinazione	i _q = [1-0.5·H/(V+B'·L·c'·cotgφ')] ² (Hansen, 1970)		i _c = i _q - [(1-i _q)/(1-N _q)] (Hansen-Vesic, 1973)		i _γ = [1-0.7·H/(V+B'·L·c'·cotgφ')] ³ (Hansen, 1970)
	i _q =	0,76	i _c =	0,76	i _γ =
Fattori di Profondità	d _q = 1+2k·tanφ'·(1-senφ') ² (Brinch-Hansen, 1970)		d _c = 1+0.4·k (Brinch-Hansen, 1970)		d _γ = 1 (Brinch-Hansen, 1970)
	d _q =	1,00	d _c =	1,0	d _γ =
con k uguale a D/B= 0,00 [m] per D/B<1					
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione			0,0		[kN·m ⁻²]
Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento			9,0		[kN·m ⁻³]
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento			0,0		[kPa]

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Calcolo di $R_d = L \cdot B \cdot (c' \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$	67817,23	[kN]
La verifica allo schiacciamento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 66,43 > 2,3$

Per sisma verso il basso ↓ (+)

	coefficienti SLU		F_o	F_v	M_{stab}	M_{rib}
	γ	Ψ_{oj}	[kN]	[kN]	[kN·m]	[kN·m]
Peso proprio (abbreviazione p-p)	1,0	-	-	1042,4	2966,6	-
Spinta indotta dalla pavimentazione (abbreviazione pav)	1,0	-	19,7	-	-	44,1
Spinta indotta dal terreno di riempimento a tergo (abbreviazione ter)	1,0	-	161,9	-	-	268,8
Forza di inerzia verticale ($F_{v,Tot}^+$)	1,0	-	-	21,5	61,3	
Forza di inerzia orizzontale ($F_{h,Tot}^+$)	1,0	-	43,1	-	-	109,3
Spinta idrodinamica (abbreviazione w)	1,0	-	13,4	-	-	18,7
Spinta indotta dal sovraccarico di banchina (abbreviazione Acc)	1,0	0,3	107,3	-	-	240,0
Tiro alla bitta (abbreviazione Bit)	1,0	0,0	31,4	-	-	147,4
	ϕ'	γ_ψ	$\phi'_d = \tan^{-1}[\tan(\phi')/\gamma_d]$			
Determinazione del coefficiente di attrito statico μ opera-terreno	[°]	[-]	[°]			
	45,0	1,0	45,0			
Lunghezza L della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	4,5	[m]				
Larghezza B della sezione in fondazione dell'elem. Muro-Cassone	5,1	[m]				

Combinazione di carico n° 1 per sisma agente verso il basso ↓ (+) e verso il mare ← (+): Carichi variabili - Accidentale					
Calcolo di $E_d = F_{v,Tot} + F_{v,Tot}^+$ (si ipotizza che il carico accidentale agisce sul terrapieno a tergo della banchina)			1063,98	[kN]	
Calcolo di $M_A = M_{stab,p-p} + M_{Fv,Tot}^+ - (M_{rib,pav} + M_{rib,ter} + M_{Fh,Tot}^+ + M_{rib,w} + \Psi_{24} \cdot M_{rib,Acc})$			2515,0	[kN·m]	
Calcolo dell'eccentricità in fondazione $e = B/2 - M_A/E_d$			0,19	[m]	
Calcolo della larghezza ridotta della fondazione $B' = B - 2 \cdot e$			4,73	[m]	
Calcolo dell'angolo $\alpha = \tan^{-1}(H/V) = \tan^{-1}[(F_{o,pav} + F_{o,ter} + F_{Fh,Tot}^+ + F_{o,w} + \Psi_{24} \cdot F_{o,Acc}) / (F_{v,p-p} + F_{v,Tot}^+)]$			14,3	[°]	
Fattori di capacità portante	$N_q = tg^2(45 + \phi'/2) \cdot e^{-\pi \cdot tg \phi'}$ (Prandtl, 1921)		$N_c = (N_q - 1) / tg \phi'$ (Reissner, 1924)		$N_\gamma = 2 \cdot (N_q + 1) \cdot tg \phi'$ (Vesic, 1970)
	$N_q =$	134,87	$N_c =$	133,9	$N_\gamma =$
Fattori di inclinazione	$i_q = [1 - 0,5 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot cotg \phi')]^2$ (Hansen, 1970)		$i_c = i_q - [(1 - i_q) / (1 - N_q)]$ (Hansen-Vesic, 1973)		$i_\gamma = [1 - 0,7 \cdot H / (V + B' \cdot L \cdot c' \cdot cotg \phi')]^3$ (Hansen, 1970)
	$i_q =$	0,76	$i_c =$	0,76	$i_\gamma =$
Fattori di Profondità	$d_q = 1 + 2k \cdot \tan \phi' \cdot (1 - \sin \phi')^2$ (Brinch-Hansen, 1970)		$d_c = 1 + 0,4 \cdot k$ (Brinch-Hansen, 1970)		$d_\gamma = 1$ (Brinch-Hansen, 1970)
	$d_q =$	1,00	$d_c =$	1,0	$d_\gamma =$
con k uguale a D/B = 0,00 [m] per D/B < 1					
Pressione q a tergo del piano di posa della fondazione			0,0	[kN·m ²]	

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

Peso immerso dell'unità di volume γ' del pietrame di imbasamento	9,0	[kN·m ³]
Coesione efficace c del pietrame di imbasamento	0,0	[kPa]
Calcolo di $R_d = L \cdot B' \cdot (c' \cdot N_c \cdot d_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot d_q \cdot i_q + 1/2 \cdot \gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot d_\gamma \cdot i_\gamma)$	68115,08	[kN]
La verifica allo schiacciamento risulta:	soddisfatta	$R_d/E_d > \gamma_R \rightarrow \rightarrow \rightarrow 64,02 > 2,3$

Progettazione Esecutiva
Fase 2
Adeguamento Darsena Nord

Relazione di calcolo banchine

8. BIBLIOGRAFIA

- U.S. Corps of Engineers – Coastal Engineering Manual – Coastal Engineering Research Center, Washington D.C., 2001.
- U.S. Corps of Engineers – Shore Protection Manual – Coastal Engineering Research Center, Washington D.C., 1984.
- Noli ed altri – Opere esterne di difesa dei porti – Esa ed. Roma, 1980.
- J.E. Bowles – Foundation analysis and design – Mc Graw Hill ed., 1988.
- R. Lancellotta – Geotecnica – Zanichelli ed., Torino.
- R. Lancellotta, D. Costanzo, S. Foti – Progettazione geotecnica – Hoepli ed., Milano, 2011.
- G. Calabresi – Tecnica delle fondazioni e costruzioni in terra, Università degli Studi "La Sapienza", Roma.
- B.O. Tobiasson & Al. – Marinas and small craft harbors – Van Nostrand Reinhold, 1991.
- C.A. Thoresen – Port Designer's handbook: Recommendations and Guidelines – Thomas Telford, 2003.
- Joseph E. Bowles – Fondazioni: Progetto e analisi – McGraw-Hill, Milano, 1998.
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14.01.2008 – Nuove norme tecniche per le costruzioni (pubblicato su S.O. n. 30 della G.U. 4 febbraio 2008, n.29).
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare esplicativa n. 617 del 2.2.2009 (pubblicata su S.O. n. 27 della G.U. 26 febbraio 2009, n. 47).
- Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici EN 1998-5.
- Associazione Geotecnica Italiana – Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica: Linee Guida – Bologna 2005.