
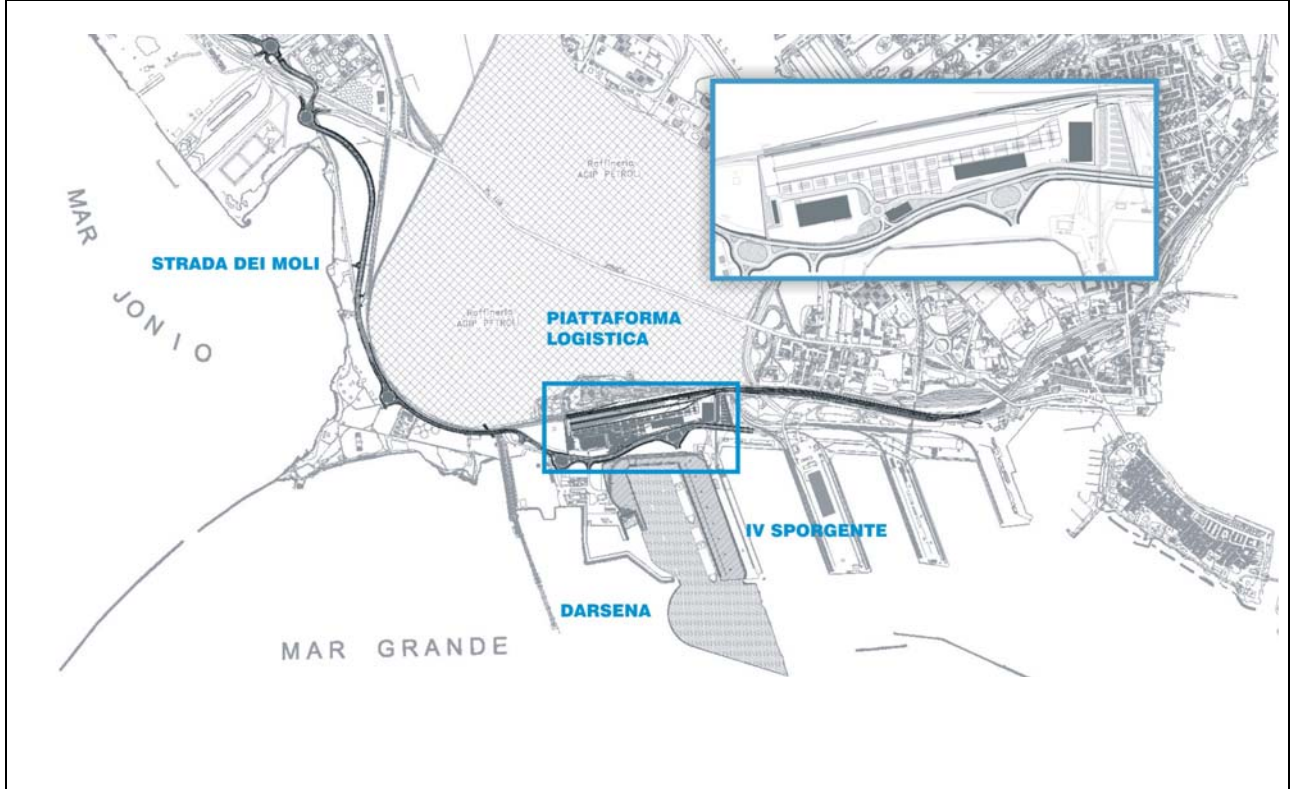




Titolo PROGETTO DEFINITIVO Darsena Ovest Relazione calcoli statici cassoni			Documento no. 123.700 C1 OOA S 006	Rev 01	Pag. 1	di 47
			 Autorità Portuale di Taranto			
Tipo doc. MR3	Emesso da DTL	Commessa no. 123-700	Progetto: Piastra Portuale di Taranto Legge obiettivo delibera CIPE 74/03 Responsabile del procedimento: Ing. D. Daraio			



Progettazione 	Consulenti Progettisti   	Il Direttore Tecnico: Dott. Ing. Andrea PANIZZA Il Direttore Tecnico: Dott. Ing. Marco GONELLA
---	--	---

P	A	L. de Angelis	P. Atzeni	A. Panizza	G. Geddo	01	Prima emissione	29-09-2006
P	A	L. de Angelis	P. Atzeni	A. Panizza	G. Geddo	00	Emissione in bozza	31-05-2006
St.	Sc.	Redatto	Controllato	Controllato	Approvato	Rev.	Tipo di revisione	Data

SOCIETA' DI PROGETTO:

TARANTO LOGISTICA S.p.A.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	2	47

1	PREMESSA	4
2	DESCRIZIONE DEI CASSONI	4
3	NORMATIVA	8
3.1	NORMATIVA ITALIANA	8
3.2	EUROCODICI	8
3.3	NORME GEOTECNICHE	8
3.4	NORME SPECIFICHE SULL'ACCIAIO	9
3.5	NORME SPECIFICHE SUL CALCESTRUZZO	9
3.6	NORME SULLE COSTRUZIONI MARITTIME	9
4	MATERIALI	10
4.1	CALCESTRUZZO	10
4.1.1	Calcestruzzo per la realizzazione dei cassoni prefabbricati	10
4.1.2	Calcestruzzo per getti in opera	10
4.2	ACCIAIO	10
4.2.1	Acciaio per armatura del conglomerato cementizio	10
4.2.2	Acciaio per le bitte	10
4.3	RIEMPIMENTI	11
4.3.1	Zavorra dei cassoni	11
4.3.2	Rinfianco	11
4.3.3	Terrapieni	11
5	CRITERI DI PROGETTO	12
5.1	CARICHI E FATTORI DI CARICO – RIFERIMENTI TEORICI	12
5.1.1	Moto ondoso	12
5.1.2	Azioni dovute al riempimento dei cassoni	14
5.1.3	Carichi sismici	15
5.1.4	Sovraccarichi sui piazzali	15
5.1.5	Tiro di bitta	15
5.2	GEOTECNICA	16
5.2.1	Dati caratteristici del terreno	16
5.2.2	Spinta delle terre	16
6	APPROCCIO PROGETTUALE	18
6.1	PERIODI DI RITORNO	18
6.2	CONDIZIONI DI PROGETTO	18
6.3	CRITERI DI VERIFICA	18
6.4	FASI DI COSTRUZIONE E TRASPORTO DEI CASSONI	20
7	ANALISI DEI CARICHI	21
7.1	PESO PROPRIO (CARICO PERMANENTE)	21
7.2	ZAVORRE (CARICO PERMANENTE)	21
7.3	CARICHI PERMANENTI SOVRASTRUTTURA	22
7.4	SPINTA IDROSTATICA PERMANENTE (CARICO PERMANENTE)	22
7.5	SPINTA DELLE TERRE LATO TERRAPIENO (CARICO PERMANENTE)	22
7.6	SOVRACCARICHI SUI PIAZZALI (CARICO ACCIDENTALE)	22
7.7	CARICO ACCIDENTALE DOVUTO ALL'AZIONE DELLE NAVI - TIRO DI BITTA	23
7.8	CARICO ACCIDENTALE DOVUTO AL MOTO ONDOSI	23



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	3	47

7.8.1	Dati di moto ondoso.....	23
7.8.2	Pressioni di moto ondoso sui cassoni.....	24
8	VERIFICHE NAUTICHE DI STABILITÀ DEI CASSONI	26
8.1	GALLEGGIAMENTO E AFFONDAMENTO CASSONI	26
8.1.1	Riferimenti teorici.....	26
8.1.2	Risultati.....	27
9	VERIFICHE DI STABILITÀ DEI CASSONI.....	29
9.1	COMBINAZIONI DI CARICO	29
9.2	IPOTESI ASSUNTE	29
9.3	RISULTATI	31
9.3.1	Verifiche di stabilità a scorrimento e a ribaltamento.....	31
9.3.2	Verifica di capacità portante del terreno.....	32
10	ANALISI DEI CEDIMENTI	33
10.1	METODOLOGIA	33
10.2	CARICHI E GEOMETRIA.....	33
10.3	FASI DI LAVORAZIONE	35
10.4	CEDIMENTI DOVUTI AI SOVRACCARICHI.....	36
10.4.1	Descrizione del codice di calcolo PLAXIS.....	36
11	VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	38
11.1	DESCRIZIONE METODO DI CALCOLO	38
11.2	STABILITÀ IN CONDIZIONI DI ESERCIZIO PER IL COMPLESSO CASSONE-TERRENO	39
11.2.1	Descrizione stratigrafica e carichi di progetto.....	39
11.2.2	Risultati analisi.....	42
11.2.3	Analisi della superficie critica	43



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	4	47

1 PREMESSA

La presente relazione riporta i calcoli dei cassoni nell'ambito del progetto definitivo di realizzazione della darsena a Ovest del IV sporgente, partendo dalla descrizione delle opere, dall'analisi dei criteri di progetto e approccio progettuale per passare poi alle verifiche di stabilità nautica, alle verifiche di stabilità globale dei cassoni e all'analisi dei cedimenti.

Le verifiche sono state condotte utilizzando i nuovi dati forniti dalla Relazione geologica e geotecnica (rif. Allegato B10OAS002), sulla base delle indagini integrative condotte nel primo semestre 2006.

2 DESCRIZIONE DEI CASSONI

L'area banchinata della darsena è strutturalmente costituita da 16 cassoni cellulari prefabbricati (D1 ÷ D16) e da una sovrastruttura gettata in opera. La planimetria dei cassoni prefabbricati è riportata nella Figura 1 e nell'elaborato grafico C1ODRS102.

La posa del cassone è prevista a quota -7.70 m l.m.m. su uno scanno di pietrame imbasato a quota -9.0 m l.m.m. e quindi con uno spessore di 1.3 m. Tenendo conto dello spessore del solettone di fondo, che è di 0.70 m, la profondità utile al piede della banchina risulterà essere di 7.0 m.

La quota di sommità degli elementi prefabbricati è +1.0 m s.l.m.m., mentre lo spessore del getto di seconda fase per la realizzazione della sovrastruttura (o trave di coronamento) è di 1 m. La quota della banchina risulta quindi a +2.0 m.

La lunghezza dei cassoni tipo è di 29,48 m, la larghezza del fusto è di 8.76 m, mentre quella del solettone di fondo è di 10.76 m (1.0 m di solettone a mensola sia sul lato darsena che sul lato terrapieno).

Il volume interno del cassone è suddiviso in 8 celle per 2, le cui dimensioni planimetriche sono 3.41 x 3.88 m (vedere elaborato grafico C10OAS401).

Nella parete lato mare sono previste delle celle antiriflettenti, realizzate mediante fori circolari, per smorzare il moto ondoso incidente e diminuire l'agitazione interna al bacino.

Nella Figura 2 e nella Figura 3 sono indicate le dimensioni, in pianta e in elevazione, che caratterizzano l'elemento prefabbricato tipo.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	5	47

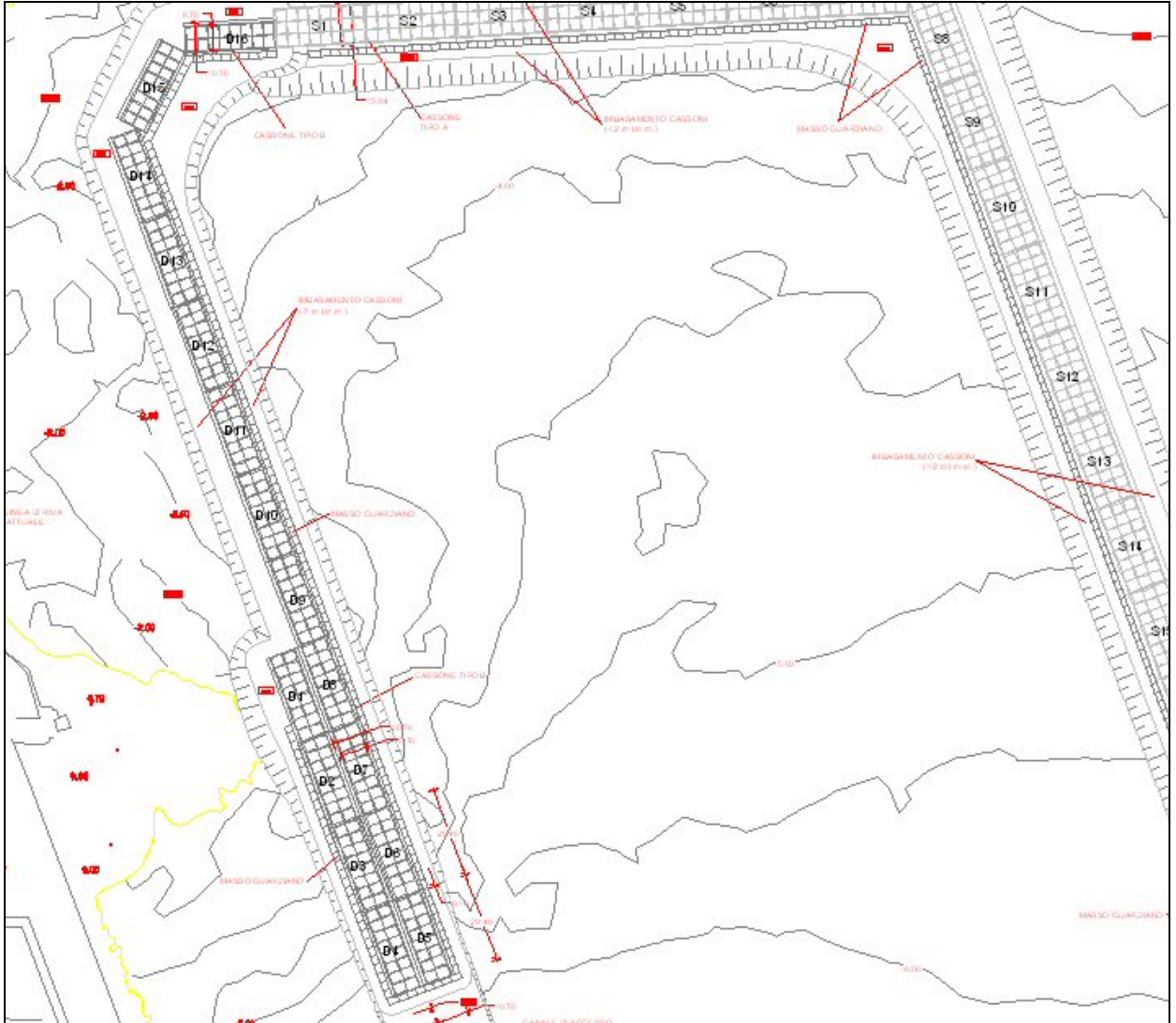


Figura 1 – Planimetria dei cassoni che costituiscono la darsena a Ovest del IV sporgente

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	6	47

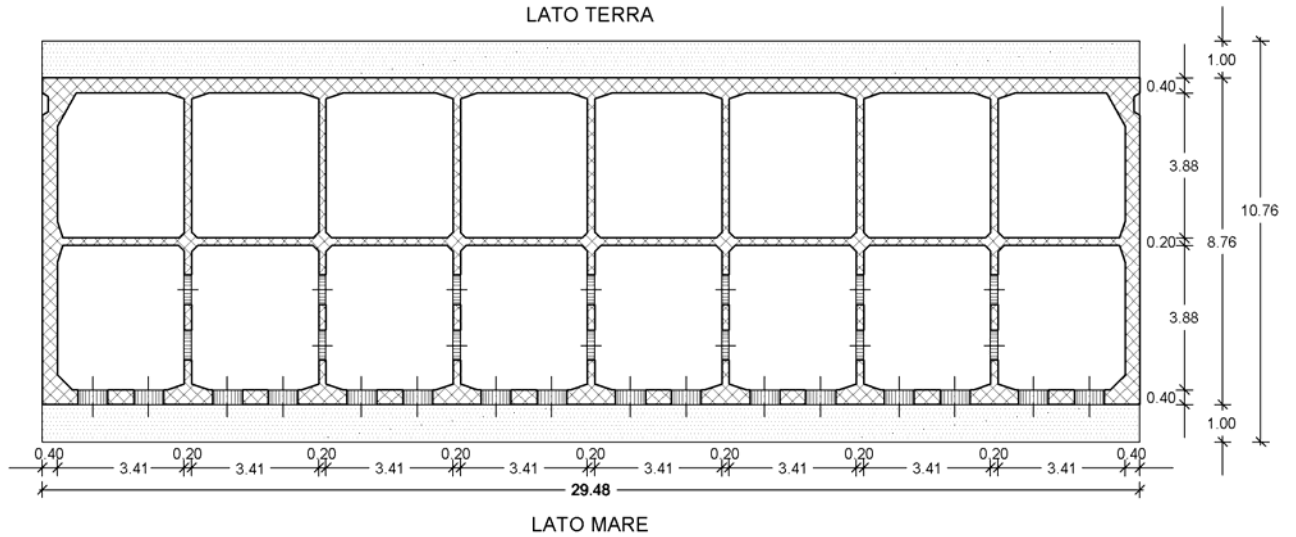


Figura 2 – Cassone prefabbricato tipo: sezione orizzontale

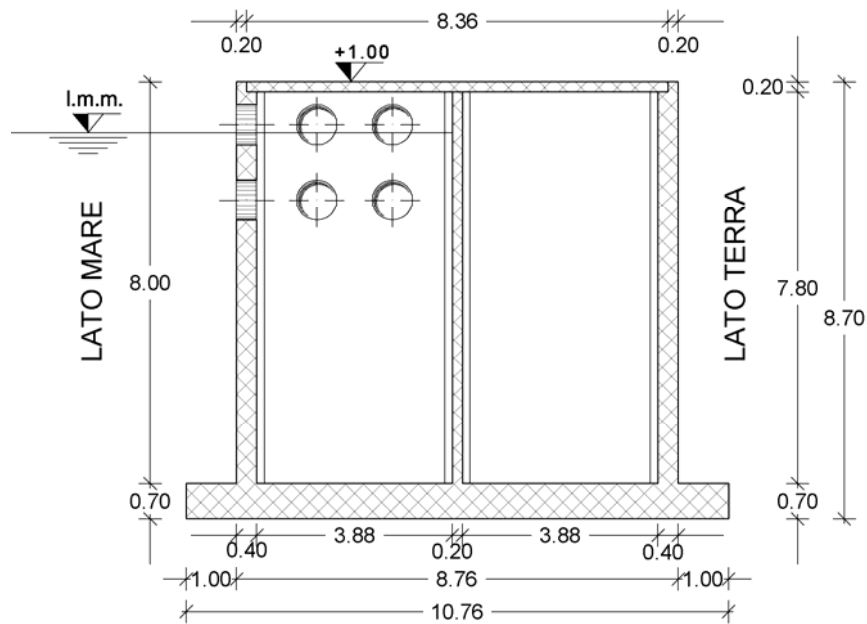


Figura 3 – Cassone prefabbricato tipo: sezione verticale trasversale

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	7	47

Le caratteristiche geometriche dei cassoni costituenti la darsena sono riassunte nella seguente tabella.

Caratteristiche geometriche			
Larghezza fusto cassone	B_f	m	8.76
Larghezza mensole trasversali	l_m	m	1.00
Larghezza base cassone	B	m	10.76
Lunghezza cassone	L	m	29.48
Altezza cassone pref.	h'	m	8.70
Altezza fusto	h_f	m	8.00
Altezza solettone e delle mensole trasv.	Sc		0.70
dimensione cella (B)	a	m	3.88
dimensione cella (L)	b	m	3.41
n° celle lungo larghezza B	n	N°	2
n° celle lungo lunghezza L	m	N°	8
Spessore pareti esterne		m	0.40
Spessore setti interni		m	0.20
quota interna cassoni	h_{pf}	m	-7.00
quota imposta cassoni	h_{pc}	m	-7.70
quota prefabbricazione	q_p	m	+1.00
<i>Sovrastruttura</i>			
quota soletta sovrastruttura	q_{sovr}	m	+2.00
larghezza sovrastruttura	L_{sovr}	m	9.26
spessore sovrastruttura	S_{sovr}	m	2.00

Tabella 1 – Caratteristiche geometriche dei cassoni prefabbricati (D1 ÷ D16)

Si prevede in sintesi la seguente sequenza costruttiva:

- Prefabbricazione dei cassoni cellulari, in impianti fissi o galleggianti;
- Trasporto, posizionamento ed affondamento dei cassoni mediante zavorra liquida;
- Zavorramento definitivo dei cassoni mediante versamento di materiale opportuno in tutte le celle;
- Versamento del materiale a ridosso del lato interno della banchina per costituire il rinfiango;
- Esecuzione dei terrapieni con materiale arido;
- Realizzazione del rilevato di precarico fino alla quota + 4.50 m s.l.m.m. e sua rimozione;
- Realizzazione del getto della sovrastruttura;
- Completamento del piazzale con la realizzazione della pavimentazione.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	8	47

3 NORMATIVA

3.1 Normativa italiana

- Legge n. 1086 del 5/11/1971, “Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso, e a struttura metallica”;
- DM.LL.PP. del 16/1/96, Norme tecniche relative ai “Criteri generali per la per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi”;
- Circolare 4/7/96, “Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e dei sovraccarichi” di cui al DM prec.;
- DM.LL.PP. 9/1/96, “Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”;
- Circolare Min.LL.PP. del 15/10/96, “Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione e il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche” di cui al D.M. prec.;
- DM.LL.PP. 16/1/96, “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20/03/2003, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionali e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;

3.2 Eurocodici

- UNI - ENV 1991-1 - Eurocodice 1 – “Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Parte 1: Basi di calcolo”;
- UNI - ENV 1991-2.1 - Eurocodice 1 – “Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Parte 2.1 Azioni sulle strutture - Massa volumica, pesi propri e carichi imposti”;
- UNI - ENV 1991-2.6 - Eurocodice 1 – “Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Parte 2.6: Azioni sulle strutture - Azioni durante la costruzione”;
- UNI - ENV 1991-2.7 - Eurocodice 1 – “Basi di calcolo ed azioni sulle strutture - Parte 2.7: Azioni sulle strutture - Azioni eccezionali dovute ad impatti ed esplosioni”;
- UNI - ENV 1992-1-1 - Eurocodice 2 – “Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1 - 1 -Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI - ENV 1993-1-1 - Eurocodice 3 – “Progettazione delle strutture di acciaio - Parte 1 - 1 -Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI - ENV 1994-1-1 - Eurocodice 4 – “Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo - Parte 1 - 1 -Regole generali e regole per gli edifici”;
- UNI - ENV 1997-1 - Eurocodice 7 – “Progettazione geotecnica - Parte 1 - regole generali”;
- prEN 1997-1:2004 - Eurocodice 7 – “Geotechnical design - Parte 1 – general rules”;
- UNI - ENV 1998-1 - Eurocodice 8 – “Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 1.1 - Regole generali - Azioni sismiche e requisiti generali per le strutture”;
- ENV 1998-5 - Eurocode 8 – “Design provisions for earthquake resistance of structures - Part. 5 - Foundations, retaining structures and geotechnical aspects”;
- PrEN 1998-1: 2003 - Eurocode 8 – “Design of structures for earthquake resistance - Part. 1 – General rules, seismic actions and rules for buildings”;
- PrEN 1998-5: 2003 - Eurocode 8 – “Design of structures for earthquake resistance - Part. 5 – General rules, seismic actions and rules for buildings”;

3.3 Norme geotecniche

- DM.LL.PP. 11/3/88, “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	9	47

- Raccomandazioni AICAP, “Ancoraggi nei terreni e nelle rocce”, 1993;
- EN 1537 - dic. 1997 – “Execution of special geotechnical work - Ground Anchor”;
- ROM 05-1994 – “Geotechnical recommendations for the design of maritime and harbour works”
- ROM 05-1994 – “Geotechnical recommendations for the design of maritime and harbour works”
- ROM 02-1990 – “Actions in the design of maritime and harbour works”

3.4 Norme specifiche sull'acciaio

- CNR-UNI 10011, “Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione”, 1987;
- UNI-EN 10219-1/2 - sett. 1999 – “Profilati cavi formati a freddo di acciai non legati e a grano fine per strutture saldate”;
- API - Specification 5L – March 1983 – “*Api Specification for Line Pipe*”;
- API - Recommended Practice 2A-WSD – Luglio 1993 – “Recommended practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design”;

3.5 Norme specifiche sul calcestruzzo

- UNI-EN 206-1 - ott.2001 – “Calcestruzzo: Specificazione, prestazione, produzione e conformità”;
- ACI 318-02 – “Building code requirements for structural concrete and commentary”;
- ACI 304R – “Measuring, mixing, transporting and placing concrete”.

3.6 Norme sulle costruzioni marittime

- Consiglio Superiore Lavori Pubblici, 23-09-0994 n.156 – “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime”;
- BSI 6349: part 1 - 1984 – “*Maritime structures - Part. 1 - General criteria*”, issued by the British Standard Institution;
- BSI 6349: part 2 - 1988 – “Maritime structures - Part. 2 -Design of quay walls, jetties and dolphins”, issued by the British Standard Institution;
- BSI 6349: part 3 - 1988 – “*Maritime structures - Part. 1 -Code of practice for general criteria*”, issued by the British Standard Institution;
- BSI 6349: part 1 - 2000 – “*Maritime structures - Part. 1 - General criteria*”, issued by the British Standard Institution;
- ROM 0.2-1990 – “*Actions in the design of maritime and harbour works*”, Maritime works recommendations issued by Puertos del estado, Spain;
- ROM 0.2-2000 – “General procedure and requirements in the design of harbour and maritime structures”, Maritime works recommendations issued by Puertos del estado, Spain;
- EAU 1996 – “*Recommandations of the Committee for waterfront structures, Harbours and Waterways*”, issued by the Committee for Waterfront Structures of the Society for Harbour Engineering and the German Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering;
- PIANC - 2003 – “*Breakwaters with vertical and inclined concrete walls*”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses
- PIANC - 2002 – “*Guidelines for the design of fender systems*”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- PIANC - 1997 – “*Dredged material management guide*”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- PIANC - 1997 – “*Guidelines for the design of armoured slopes under open piled quay walls*”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- PIANC - 1987 – “Guidelines for the design and construction of flexible revetments incorporating geotextiles for inland waterways”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;
- PIANC - 1984 – “*Final report of the international commission for the study of locks*”, issued by the Permanent Association of navigation Congresses;

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	10	47

4 MATERIALI

4.1 Calcestruzzo

4.1.1 Calcestruzzo per la realizzazione dei cassoni prefabbricati

Le caratteristiche del calcestruzzo per realizzare i cassoni prefabbricati sono le seguenti

- Tipo di cemento: pozzolanico o d'alto forno
- Classe di resistenza (Rck): C35 (35MPa)
- Classe di consistenza: S3;
- Massima dimensione dell'aggregato: 32 mm;
- Rapporto acqua/cemento: 0.45;
- Contenuto minimo di cemento: 360 kg/m³;
- Classe di esposizione: XS3;
- Copriferro: 50mm.

4.1.2 Calcestruzzo per getti in opera

Le caratteristiche del calcestruzzo per i getti in opera sono le seguenti:

- Tipo di cemento: pozzolanico o d'alto forno
- Classe di resistenza (Rck): C35/45 (45MPa);
- Classe di consistenza: S2;
- Massima dimensione dell'aggregato: 32mm;
- Rapporto acqua/cemento: 0.45;
- Contenuto minimo di cemento: 360 kg/m³;
- Classe di esposizione: XS3;
- Copriferro: 50mm.

4.2 Acciaio

4.2.1 Acciaio per armatura del conglomerato cementizio

Le caratteristiche dell'acciaio per barre d'acciaio per calcestruzzo armato impiegate nel presente progetto sono le seguenti:

- FeB44K saldabile.

Prescrizioni di duttilità relative alla zona sismica

- $f_y/f_{yk} \leq 1.35$; $(f_t/f_y)_{medio} \geq 1.13$

dove:

- f_y è il singolo valore di snervamento;
- f_{yk} è il valore nominale di riferimento;
- f_t è il singolo valore di tensione a rottura

4.2.2 Acciaio per le bitte

Le caratteristiche della ghisa per bitte impiegate nel presente progetto sono le seguenti:

- Ghisa sferoidale: BS EN1563 EN-HJS-400 $f_y \geq 400$ Mpa



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	11	47

4.3 Riempimenti

4.3.1 Zavorra dei cassoni

Il materiale di zavorra dei cassoni dovrà avere le seguenti caratteristiche:

- un peso specifico almeno di 21 kN/m^3 tale da garantire la stabilità globale dei cassoni;
- angolo d'attrito interno $\phi = 25 \div 30^\circ$

Nel calcolo delle pressioni indotte dal materiale di riempimento è stato assunto un angolo d'attrito interno di 25° .

4.3.2 Rinfianco

Il rinfianco dei cassoni verrà realizzato con pietrame; nelle verifiche per tale materiale è stato assunto un angolo d'attrito interno $\phi = 38^\circ$, pesi di volume secco e saturo pari rispettivamente a 18 kN/m^3 e 21 kN/m^3 .

4.3.3 Terrapieni

I materiali di riempimento saranno costituiti da materiale arido, avente le seguenti caratteristiche:

- materiale arido privo di limi e argille;
- pezzatura $< 100 \text{ mm}$
- passante al vaglio di $2 \text{ mm} > 10\%$;

Le specifiche tecniche sono descritte nel dettaglio nel cap. 5 della Relazione di calcolo della pavimentazione (Elaborato C100AT002).

Nelle verifiche è stato assunto un angolo d'attrito interno $\phi = 38^\circ$, pesi di volume secco e saturo pari rispettivamente a 18 kN/m^3 e 21 kN/m^3 .

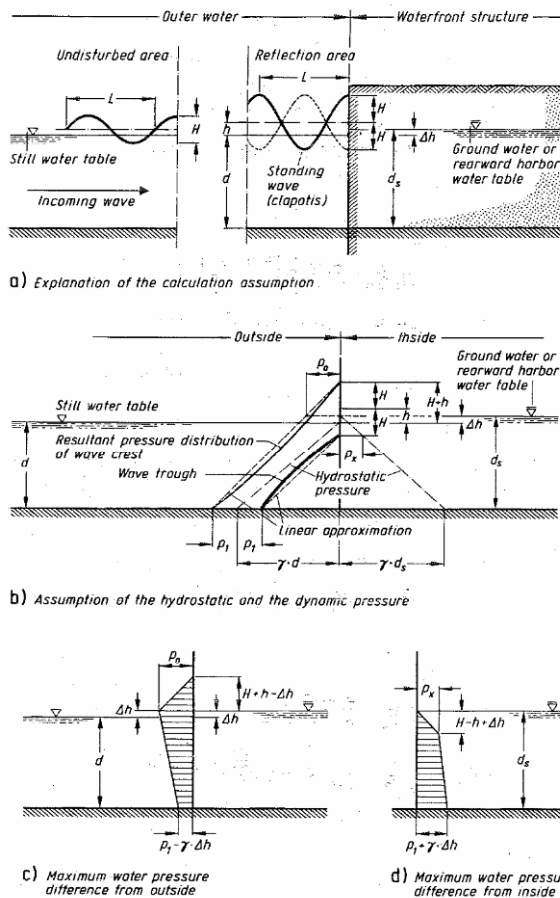
Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	12	47

5 CRITERI DI PROGETTO

5.1 Carichi e fattori di carico – riferimenti teorici

5.1.1 Moto ondoso

La pressione sugli elementi strutturali è stata valutata secondo la teoria di Sainflou (vedi Figura 4).



- H = Height of incoming wave [m],
 L = Length of incoming wave [m],
 h = Rise of water level during wave action = difference in level between the still water level and the mean water level in the reflected wave on the face of the wall
 $= \frac{\pi \cdot H^2}{L} \cdot \coth \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}$ [m],
 Δh = Difference between the still water level and the ground water or rearward harbour water table [m],
 d_s = Depth of ground water or rearward harbour water table [m],
 γ = Weight of the water [kN/m³],
 p_1 = Pressure increase (wave crest) or decrease (wave trough) at foot of structure due to wave action
 $= \gamma \cdot H / \cosh \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}$ [kN/m²],
 p_0 = Maximum water pressure difference ordinate at level of the landside water table according to Fig. R 135-1c)
 $p_0 = (p_1 + \gamma \cdot d) \cdot \frac{H + h - \Delta h}{H + h + d}$ [kN/m²],
 p_x = Water pressure difference ordinate level of the wave trough according to Fig. R 135-1d)
 $= \gamma \cdot (H - h + \Delta h)$ [kN/m²].

Figura 4 – Pressione dovuta al moto ondoso (Teoria di Sainflou)

La metodologia impiegata per il calcolo delle azioni dell'onda sul cassone è contenuta nelle "Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti" edite dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1996).

Il calcolo delle sovrappressioni indotte dalla cresta e dal cavo d'onda è eseguito con la teoria di Sainflou, valida per strutture a parete verticale in condizione di onda non frangente, che rappresenta il caso in questione poiché i fondali in corrispondenza del piede dei cassoni risultano superiori a 1.5 volte l'altezza d'onda incidente.

Con riferimento allo schema delle seguenti figure, le formule utilizzate per determinare le pressioni caratteristiche dovute all'onda di progetto sono le seguenti:

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	13	47

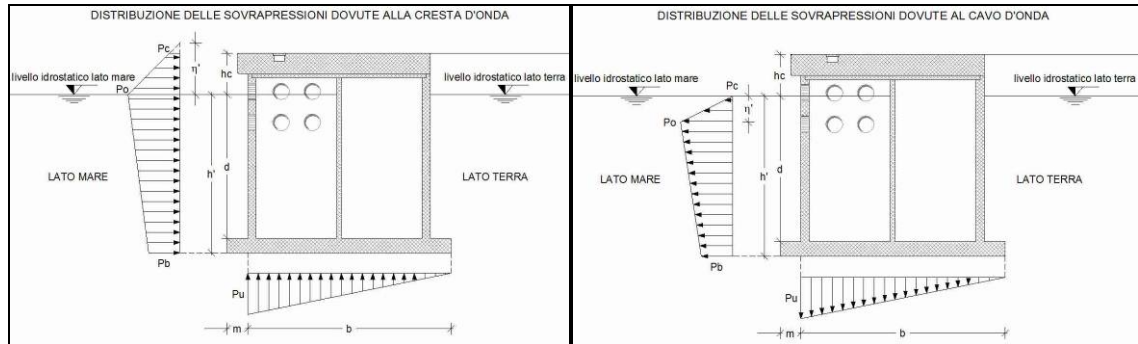


Figura 5 – Schema di riferimento di calcolo per le condizioni di cresta (a sinistra) e di cavo (a destra) dell'onda

cresta d'onda

$$\begin{cases}
 p_0 = \gamma_w \left(d + \frac{H_d}{\cosh kd} \right) \frac{\eta^*}{d + \eta^*} \\
 p_c = p_0 \frac{\eta^* - h_c}{\eta^*} \\
 p_b = \gamma_w \frac{H_d}{\cosh kd} \frac{h'}{d} - p_0 \left(\frac{h'}{d} - 1 \right) \\
 p_u = p_b \frac{b}{b + m}
 \end{cases}$$

$$\eta^* = H_d + h_0$$

$$h_0 = \frac{\pi H_d^2}{L} \frac{1}{\tanh kd}$$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

cavo d'onda

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	14	47

$$\begin{cases} p_c = 0 \\ p_0 = \gamma_w \eta' \\ p_b = \gamma_w \frac{H_d}{\cosh kd} \left(\frac{h' - \eta'}{d - \eta'} \right) - p_0 \left(\frac{h' - \eta'}{d - \eta'} - 1 \right) \\ p_u = p_b \frac{b}{b + m} \end{cases}$$

$$\eta' = H_d - h_0$$

$$h_0 = \frac{\pi H_d^2}{L} \frac{1}{\tanh kd}$$

$$k = \frac{2\pi}{L}$$

dove:

- h_0 = sopraelevazione del livello medio rispetto al livello di riposo nel fenomeno del clapotis;
- γ_w = peso specifico dell'acqua di mare;
- H_d = altezza d'onda di progetto;
- L = lunghezza d'onda al piede del cassone, calcolata con riferimento al periodo d'onda significativo T_s

In accordo con le “Istruzioni Tecniche per la progettazione delle dighe frangiflutti”, per le verifiche di stabilità in fase di cresta si è assunto per l'altezza d'onda incidente $H_i = H_{1/20} \approx 1.40 H_s$ e $H_i = H_{1/100} \approx 1.67 H_s$ per le verifiche in fase di cavo d'onda, mentre il periodo significativo è stato assunto pari a $T_s \approx T_p/1.1$.

5.1.2 Azioni dovute al riempimento dei cassoni

Si prevede di riempire le celle dei cassoni con inerte o materiale di dragaggio.

La spinta del materiale di riempimento delle celle è valutata con la teoria di Koenen relativa ai silos. La pressione verticale della zavorra agente sul solettone di base risulta pari a:

$$q = \frac{p}{\tan^2(45 - \varphi/2)}$$

dove p è la pressione orizzontale alla base della parete verticale delle celle.

Il valore della massima pressione orizzontale agente sulle pareti delle celle risulta:

$$P_{\max} = \frac{\gamma \cdot F}{U \cdot \operatorname{tg} \delta}$$

e la profondità h_0 a cui si manifesta:

$$h_0 = \frac{2 \cdot p_{\max}}{\gamma \cdot \operatorname{tg}^2(45 - \varphi/2)}$$

nella parte alta della cella, si mobilita una spinta di tipo attivo fino alla profondità h_1 :

$$h_1 = \frac{a}{2 \cdot \operatorname{tg}(45 - \varphi/2)}$$

Il livello della zavorra all'interno dei cassoni è stato determinato in modo da garantire la stabilità globale; è riportato nel paragrafo 8.2.2.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	15	47

5.1.3 Carichi sismici

Per il sisma si fa riferimento a quanto indicato nella normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica, varata dalla Presidenza del Consiglio dei Ministri con l'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 (OPCM 3274) e nell'Eurocodice 8. In tale documento viene fissato un sisma di riferimento per le verifiche dell'opera agli stati limiti ultimi, un'azione caratterizzata da una probabilità di superamento del 10% in un periodo di vita utile di 50 anni: in tali condizioni il sisma di riferimento presenta un tempo di ritorno T_{NCR} di 475 anni.

I cassoni si trovano in zona sismica di III categoria. I valori caratteristici di questa zona sono riportati nella tabella che segue.

Zona sismica	Categoria suolo	a_{gR}	γ_I	S	r
N°	-	m/s^2	-	-	-
3	C	0.15g	1.0	1.25	2

Tabella 2 – Valori caratteristici della zona sismica III

Per determinare le azioni sismiche si adotta un'analisi pseudostatica.

Il coefficiente sismico orizzontale k_h è pari a:

$$k_h = \frac{a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S}{g \cdot r}$$

Il coefficiente sismico verticale k_v è assunto pari a $0.33k_h$.

Il fattore d'importanza γ_I dei cassoni è assunto pari a 1.0.

In presenza di sisma la forza idrodinamica è presa in conto secondo la formulazione di Westergaard E_{wd} , applicata $0.4 H'$.

$$E_{wd} = \frac{7}{12} k_h \gamma_w H'^2$$

dove γ_w = peso specifico dell'acqua

H' = altezza del livello dell'acqua a partire dalla base del cassone

La distribuzione di pressioni di questa spinta idrodinamica ha un andamento parabolico e può essere calcolata nel seguente modo:

$$q(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \gamma_w \sqrt{h \cdot z}$$

dove: h = quota del pelo libero dell'acqua rispetto alla base del cassone

z = coordinata verticale diretta verso il basso, con origine al pelo libero dell'acqua

Tale spinta, secondo quanto prescritto dal Testo Unico è stata applicata lato darsena del cassone.

5.1.4 Sovraccarichi sui piazzali

Sui piazzali della banchina portuale si considera un sovraccarico uniformemente distribuito di 30 kN/m^2 .

5.1.5 Tiro di bitta

Per determinare il tiro di bitta si considerano navi aventi una portata lorda di 5000t (vedere la Relazione di calcolo arredi banchina). Sono state pertanto previste bitte da 60 t, ancorate alla sovrastruttura della banchina.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	16	47

5.2 Geotecnica

Le caratteristiche geotecniche del terreno, che forniscono le indicazioni e i parametri necessari per il dimensionamento delle strutture portuali di progetto, sono state ricavate sulla base dei sondaggi effettuati e dei risultati delle prove di laboratorio.

5.2.1 Dati caratteristici del terreno

In questo paragrafo sono riassunte le caratteristiche geotecniche dei terreni. Per un'analisi più dettagliata si rimanda alla Relazione geologica e geotecnica. (rif. Allegato B100AS002).

In tutte le verifiche si devono assumere i seguenti dati caratteristici dei materiali.

Dati caratteristici dei materiali	
Peso di volume asciutto del rinfianco in pietrame a tergo cassone	18.0 kN/m ³
Peso di volume saturo del rinfianco in pietrame a tergo cassone	21.0 kN/m ³
Peso di volume immerso del rinfianco in pietrame a tergo cassone	11.0 kN/m ³
Angolo di attrito interno del rinfianco in pietrame	38°
Angolo di attrito interno rinfianco – cassone	0.0°
Angolo di attrito scanno imbasamento (ϕ_s)	38°
Angolo di attrito cassone - scanno imbasamento ($\delta = 2/3 \phi_s$)	25°

I parametri di resistenza meccanica e di deformabilità ottenuti dalle prove di laboratorio, per il materiale in sito (denominato Argilla di Taranto) sono qui di seguito riportati:

Parametri di resistenza a taglio e deformabilità del terreno del terreno di fondazione	
Coesione (c')	30 kPa
Angolo di attrito interno (ϕ')	27°
Modulo di elasticità (E_{50})	15 MPa
Coefficiente di Poisson (ν)	0.20
Grado di sovraconsolidazione (OCR)	10

5.2.2 Spinta delle terre

In assenza di sisma il calcolo della spinta delle terre sulle pareti perimetrali dei cassoni è condotto con riferimento alla teoria di Rankine.

In presenza di sisma il coefficiente di spinta del terreno è calcolato con la formula di Mononobe-Okabe, assumendo che tra struttura e terreno si sviluppino stati di spinta attivi; l'espressione generale è la seguente:

$$K_{ac} = \frac{\cos^2(\phi - \psi - \beta)}{\cos \psi * \cos^2 \beta * \cos(\delta + \beta + \psi) * \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \psi - i)}{\cos(\delta + \beta + \psi) \cos(i - \beta)}} \right]^2}$$

dove:

ϕ = angolo d'attrito

ψ = arctg C (con C = coefficiente di intensità sismica)



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	17	47

β = angolo di inclinazione paramento contro terra

δ = angolo d'attrito terra - muro

i = angolo d'inclinazione del pendio a monte

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	18	47

6 APPROCCIO PROGETTUALE

6.1 Periodi di ritorno

I periodi di ritorno adottati per le verifiche delle strutture sono riportati qui di seguito:

Moto ondoso

CONDIZIONE	T_r (anni)
IN ASSENZA DI SISMA	100
IN PRESENZA DI SISMA	1
FASE PROVVISORIA	1

Sisma

Da normativa si assume una probabilità di superamento del 10%

$T_R = 475$ anni

6.2 Condizioni di progetto

Le condizioni di progetto per le verifiche sono riassunte nella Tabella 3:

CONDIZIONE	T_R onda (anni)	Moto ondoso
RARA (SENZA SISMA)	100 100	CAVO CRESTA
RARA (CON SISMA)	1 1	CAVO CRESTA
PROVVISORIA	1 1	CAVO CRESTA

Tabella 3 Condizioni di progetto

6.3 Criteri di verifica

Le verifiche di stabilità del sistema struttura – terreno sono effettuate con riferimento al metodo semiprobabilistico agli stati limiti, così come riportato negli Eurocodici EC7 e EC8. In particolare, sono considerati gli *stati limiti ultimi*, che sono quelli associati al collasso della struttura o dell'insieme terreno – struttura.

Le verifiche sono condotte secondo il *Metodo dei coefficienti di sicurezza parziali*: l'Eurocodice 7 (prEN 1997-1:2004) propone 3 approcci di progetto alternativi, ciascuno dei quali implementa coefficienti parziali che sono applicati direttamente alle azioni o agli effetti delle azioni, ed alle singole resistenze o alla resistenza globale. I coefficienti parziali si applicano ai cosiddetti valori caratteristici dei parametri (contrassegnati col pedice “k”) per determinare i corrispondenti valori di progetto (contrassegnati col pedice “d”).

Il valore di progetto F_d di un'azione viene espresso in termini generali da

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k$$

Essendo F_k il valore caratteristico dell'azione considerata e γ_f il coefficiente parziale che tiene conto:

- delle possibilità delle variazioni sfavorevoli delle azioni;
- delle possibilità di una poco accurata modellazione delle azioni;
- di incertezze nella valutazione negli effetti delle azioni

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	19	47

Il valore di progetto X_d di una caratteristica di resistenza del terreno viene espresso in termini generali da:

$$X_d = \frac{X_K}{\gamma_M}$$

Essendo X_K il valore caratteristico della proprietà di resistenza considerata e γ_M il coeff. parziale che comprende:

- variazioni sfavorevoli dei valori caratteristici;
- poca precisione nei coefficienti di conversione;
- incertezze nelle proprietà geometriche ed in quelle del modello di resistenza.

Le azioni di progetto opportunamente combinate, insieme alle proprietà del materiale e ai dati geometrici, sono applicate al modello di calcolo che idealizza la struttura per determinare gli effetti E_d e la resistenza di progetto R_d .

Pertanto le verifiche di sicurezza sono soddisfatte quando è verificata la disuguaglianza: $R_d \geq E_d$

Le verifiche di stabilità dei cassoni sono condotte seguendo l'approccio progettuale DA1-C2 ("Design Approach 1 – Combination 2", come previsto dalla normativa europea), nel quale i coefficienti parziali sono applicati alle caratteristiche di resistenza dei terreni (γ_ϕ alla tangente dell'angolo di resistenza a taglio $\tan \phi'_k$ e γ_c alla coesione efficace c_k , o γ_{cu} alla coesione non drenata c_{uk} e γ_{qu} alla resistenza non confinata q_u) e ad eventuali azioni variabili (γ_Q).

Nella Tabella 4 sono sintetizzati i valori dei coefficienti di sicurezza utilizzati nell'ambito dell'approccio DA1-C2.

Caratteristiche di resistenza dei terreni				Azioni variabili		Carichi permanenti
γ_ϕ	γ_c	γ_{cu}	γ_{qu}	γ_Q		γ_G
				sfavorevoli	Favorevoli	
1.25	1.25	1.4	1.4	1.3	0	1.0

Tabella 4 - Coefficienti di sicurezza parziali previsti nell'OPCM 3274 e nell'Eurocodice 7 (approccio DA1-C2)

In particolare, si procede alle seguenti verifiche di sicurezza:

- verifica di sicurezza contro il collasso per scorrimento del cassone
- verifica di sicurezza contro il collasso per il ribaltamento del cassone;
- verifiche geotecniche di capacità portante e di stabilità all'equilibrio limite globale.

Per la verifica di sicurezza contro il collasso per scorrimento dovrà essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$H_d < V_d \cdot \tan \delta_d$$

dove:

- H_d = componente orizzontale del carico di progetto comprendente la spinta esercitata dal terreno retrostante;
- V_d = carico efficace di progetto, normale al piano di posa del cassone;
- V_d = carico efficace di progetto, normale al piano di posa del cassone;
- δ_d = valore di progetto dell'angolo d'attrito all'interfaccia tra cassone e fondazione.

Per la verifica di sicurezza contro il collasso per ribaltamento del cassone dovrà essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$M_{Rd} < M_{sd}$$

dove:

- M_{Rd} = momento delle forze ribaltanti di progetto;
- M_{sd} = momento delle forze stabilizzanti di progetto.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	20	47

Per le verifiche geotecniche, la capacità portante del terreno è stata determinata mediante la formula di Brinch Hansen. L'analisi di stabilità di equilibrio limite globale è stata effettuata con l'ausilio di un programma agli elementi finiti, basato sul metodo di Bishop semplificato, allo scopo di meglio determinare le reali condizioni di stabilità dell'insieme struttura - fondazione.

Nella configurazione definitiva dell'opera si verifica la stabilità dell'insieme struttura - terreno anche in presenza di sisma.

Le verifiche di sicurezza in condizioni sismiche sono condotte con riferimento alla normativa italiana riportata nell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 marzo 2003, integrata per alcuni aspetti dall'Eurocodice 8.

Per determinare le azioni sismiche si adotta un'analisi pseudostatica.

L'Eurocodice 8 definisce il coefficiente sismico verticale k_v in funzione di k_h definito nel paragrafo 5.1.3 e vale $k_v = \pm 0.5k_h$ quando il rapporto fra le accelerazioni di progetto verticale a_{vg} ed orizzontale a_g è maggiore di 0.6, viceversa vale $k_v = \pm 0.33k_h$.

Sulla base dei dati accelerometrici italiani (A. L. Simonelli, "Eurocodice 8: valutazione delle azioni sismiche al suolo ed effetti sulla spinta dei terreni") si può assumere che in generale, il rapporto fra le accelerazioni di progetto a_{vg}/a_g sia inferiore a 0.6, pertanto il valore del coefficiente sismico verticale adottato nei calcoli è pari a:

$$k_v = \pm 0.33k_h$$

Nelle verifiche sismiche, trattandosi di una situazione eccezionale, si assume un coefficiente parziale per le azioni variabili $\gamma_Q = 1.0$.

Le verifiche di stabilità devono essere eseguite sia a lungo termine ($T_r = 100$ anni) che a breve termine ($T_r = 1$ anno).

6.4 Fasi di costruzione e trasporto dei cassoni

I cassoni saranno costruiti in un apposito sito di prefabbricazione; saranno poi trasportati via mare sul luogo previsto e fatti affondare zavorrandoli opportunamente con acqua. In un secondo tempo si provvederà a riempire le celle di zavorra solida fino a raggiungere le quote necessarie per garantirne la stabilità globale.

Durante la fase provvisoria ($T_r = 1$ anni) i cassoni saranno lasciati con la quota di sommità a +1.0m; il riempimento del terrapieno retrostante sarà effettuato fino alla quota +1.0 m s.l.m.m. Si provvederà poi alla realizzazione della sovrastruttura con getto in opera fino alla quota +3.0m e realizzazione del piazzale.

Le varie fasi di costruzione dei cassoni che devono essere prese in considerazione nelle verifiche sono le seguenti:

1. cassone in galleggiamento;
2. cassone appena posato, senza zavorra solida
3. cassone con zavorra solida;
4. cassone finito (quota della sovrastruttura pari a +3.0m s.l.m.m.) e terrapieno a tergo (fino a +3.0 m s.l.m.m)

Le caratteristiche dei cassoni in fase di galleggiamento sono riportate nel capitolo 8.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	21	47

7 ANALISI DEI CARICHI

Si riportano di seguito le indicazioni relative ai carichi elementari considerati per il dimensionamento statico.

7.1 Peso proprio (carico permanente)

I pesi propri strutturali delle opere in cemento armato vengono valutati assumendo un peso specifico $\gamma = 25.0 \text{ kN/m}^3$. In particolare si distinguono nelle diverse fasi dell'opera i carichi strutturali del cassone, delle predalle di copertura aventi uno spessore di 20 cm.

7.2 Zavorre (carico permanente)

Per garantire la stabilità globale dei cassoni è necessario che tutte le celle siano riempite fino alla sommità con un materiale avente un peso specifico saturo $\gamma_z = 21 \text{ kN/m}^3$. Si assume un angolo di attrito interno del materiale di zavorra pari a $\phi = 25^\circ$, l'angolo di attrito d zavorra/parete p assunto pari a $\delta = 2/3\phi = \delta = 2/3\phi = 16.67^\circ$.

Per i riempimenti si prevedono colonne uniformemente distribuite su tutte le celle, aventi i seguenti il livello di zavorra h_z :

- celle perimetrali della parete forata (lato darsena) $h_z = 5.0 \text{ m}$
- celle perimetrali (lato terrapieno): $h_z = 7.8 \text{ m}$

Nelle celle perimetrali della parete forata lo strato superiore di zavorra è costituito da un tappo di cls di 1.50 m di spessore, per prevenire l'asportazione del materiale di zavorra; nelle verifiche è stato considerato, a favore di sicurezza, come se il materiale di riempimento fosse tutto omogeneo ($\gamma_z = 21.0 \text{ kN/m}^3$).

Il calcolo delle azioni indotte sulle pareti laterali e sul fondo viene valutato secondo la teoria dei silos. Le pressioni efficaci esercitate dall'inerte di zavorramento sulle pareti delle celle e sul solettone di base sono valutate con la teoria di Koenen dei sili per celle a piccola pianta e grande altezza. Nella parte alta della cella si assume pertanto una condizione di spinta attiva su una altezza pari a:

$$h_1 = a/2 \text{tg} (45 - \phi/2) = 2.68 \text{ m}$$

con "a" uguale al lato minore della cella pari a 3.41m.

Per le spinte derivanti dalla sola zavorra solida, si assume quanto riportato in Tabella 5.

riempimento celle [m]	Quota [m] / pressione orizzontale [kN/mq]	Pressione fondo [kN/mq]	Carico su parete [kN/m]
5.0	-2.0 / 0.0 -3.09 / 4.85 -5.73 / 10.75 -7.00 / 31.25	17.10	85,9
7.8	+0.80 / 0.0 -1.89 / 4.85 -4.53 / 10.75 -7.00 / 34.82	26.68	86.18

Tabella 5 – Spinte derivanti dalla zavorra solida

Con il termine carico su parete si intende il carico verticale che viene trasferito alle pareti per effetto dell'attrito. In forma semplificata risulta il carico complementare alla pressione sul fondo cella; viene calcolata per unità di lunghezza del silos nella seguente forma:

$$q = [(\gamma' * F * h) - p * F] / h$$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	22	47

Ai dati relativi alla zavorra solida vanno ovviamente sovrapposti quelli relativi alla zavorra liquida che esercita una pressione massima alla quota -7.0 pari a 70.7 kN/mq.

Durante l'affondamento del cassone, per la distribuzione delle zavorre interne i setti interni dei cassoni devono essere verificati nelle seguenti condizioni provvisorie di dislivello, poiché

- Dislivello d'inerte immerso di 2 m tra due celle contigue
- $\Delta q = 2 \cdot 11 \cdot \text{tg}^2(45-25/2) = 8.93 \text{ kN/m}^2$
- dislivello d'inerte immerso di 2 m tra due celle contigue con angolo di attrito di 25°
- Dislivello d'acqua di 1 m fra due celle contigue
 $\Delta q = 1 \cdot 10.1 = 10.1 \text{ kN/m}^2$

Risulta pertanto dimensionante la differenza fra due livelli liquidi.

7.3 Carichi permanenti sovrastruttura

Al di sopra delle predelle di copertura si realizza una sovrastruttura in calcestruzzo gettata in opera dello spessore medio di 1.0 m; assumendo un peso specifico nominale pari a 23 kN/m³ si perviene ad un sovraccarico permanente pari a 23.0 kN/m². L'assunzione del peso specifico del materiale della sovrastruttura è tale da considerare la realizzazione di canaletta e altre cavità.

7.4 Spinta idrostatica permanente (carico permanente)

Le pressioni idrostatiche vengono valutate assumendo un peso specifico per l'acqua marina pari a $\gamma = 10.10 \text{ kN/m}^3$; il livello medio coincide con la quota 0.00. Alle spinte idrostatiche, oltre alle azioni sulle pareti, è associata ovviamente la sottospinta sul fondo.

7.5 Spinta delle terre lato terrapieno (carico permanente)

I cassoni contengono, nella configurazione finale, la spinta delle terre lato terrapieno. In condizioni statiche si considera il fattore di spinta a riposo $K_0 = 1 - \text{sen } \varphi = 1 - \text{sen}(38^\circ) = 0.384$.

Pe il terreno si assume:

- $\gamma_d = 18.0 \text{ kN/m}^3$ peso del terreno asciutto;
- $\gamma_d = 21.0 \text{ kN/m}^3$ peso del terreno saturo
- $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$ peso del terreno sommerso

Le spinte delle terre sono legate anche al livello di falda che determina la parte sommersa e la parte non sommersa. Nella definizione delle spinte delle terre, al solo fine di semplificare i calcoli, si considera la spinta in condizioni "asciutte", e si associa al carico variabile relativo alle pressioni idrauliche, in deduzione, il termine $-(\gamma_d - \gamma') \cdot h_w \cdot k_{\text{spinta}}$.

7.6 Sovraccarichi sui piazzali (carico accidentale)

Sui piazzali della banchina portuale si considera pertanto un sovraccarico uniformemente distribuito di 30 kN/m², che esercita un'azione spingente sulla parete del cassone.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	23	47

7.7 Carico accidentale dovuto all'azione delle navi - tiro di bitta

Per determinare il carico accidentale dovuto all'azione delle navi si considerano 2 bitte da 60t poste a una distanza di 50 m l'una dall'altra.

$$\text{Tiro } T = 2 \times 60 / 50 = 23.5 \text{ kN/m}$$

Il tiro di bitta risulta pertanto pari a 24 kN/m.

7.8 Carico accidentale dovuto al moto ondoso

7.8.1 Dati di moto ondoso

Nello “Studio meteomarinò” (Allegato C10OAS003) è stata studiata la propagazione del moto ondoso dal largo fino al paraggio di interesse, col metodo basato sulla trasposizione geografica dei dati di moto ondoso rilevati dall'ondametro della rete ondometrica nazionale posta al largo di Crotonè. Con tale metodo si sono ottenute altezze d'onda significativa per tempi di ritorno di 100 anni dell'ordine dei 7 m.

L'agitazione di moto ondoso all'interno del bacino portuale (Allegato C10OAS003) è stata studiata mediante modelli matematici (MIKE21-Boussinesq Wave); le simulazioni effettuate in diverse condizioni di agibilità delle banchine (con o senza navi ormeggiate) hanno permesso di determinare l'altezza d'onda riflessa in prossimità delle opere per diversi periodi di ritorno riassunti nella Tabella 6.

L'analisi completa dell'agitazione del moto ondoso è riportata nella relazione “Studio meteomarinò - Agitazione residua interna” (Allegato C10OAS003).

	Hs totale		Condizione
	T _R = 100 anni	T _R = 1 anno	
Sporgente	1.4	0.6	Senza navi
Banchina di riva (sud)	0.9	0.3	con 2 navi
Darsena (ovest)	0.7	0.2	con 1 nave
Finger	1.8	0.7	con 1 nave

Tabella 6 – Altezze d'onda davanti alle opere

Nella Tabella 7 sono riportati i valori di altezza d'onda significativa incidente assunti per il dimensionamento e la verifica delle opere, nell'ipotesi di una riflessione parziale delle banchine.

	Hs di progetto	
	T _R = 100 anni	T _R = 1 anno
Sporgente	1.0	0.4
Banchina di riva (sud)	0.65	0.2
Darsena (ovest)	0.45	0.15
Finger	1.4	0.45

Tabella 7 - Altezze d'onda di progetto

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	24	47

7.8.2 Pressioni di moto ondoso sui cassoni

In questo paragrafo sono riportate le pressioni dovute al moto ondoso; per le sottopressioni si assume una distribuzione triangolare con riferimento alla Figura 5.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i valori delle pressioni dovute al moto ondoso per le diverse condizioni di progetto:

- Rara in assenza di sisma;
- Rara in presenza di sisma;
- Provvisoria

Condizione rara (senza sisma) – $T_r = 100$ anni $H_s = 0.45$ m $T_p = 10,6$ s

$\eta' = -0.48$	CAVO $T_r = 100$ anni	
	Pressione (kN/m ²)	Quota (m l.m.m.)
p_c	0.0	0.0
p_{ox}	4.83	-0.48
p_1	4.28	-7.00
p_b	4.22	-7.70
p_u	4.22	-

$\eta^* = +0.43$ m	CRESTA $T_r = 100$ anni	
	Pressione (kN/m ²)	Quota (m l.m.m.)
p_c	0.0	0.43
p_o	4.31	0.0
p_1	3.59	-7.00
p_b	3.52	-7.70
p_u	3.52	-

Condizione rara (con sisma) e condizione provvisoria (cassone vuoto) - $T_r = 1$ anno $H_s = 0.15$ m $T_p = 7.5$ s

$\eta' = -0.16$	CAVO $T_r = 1$ anno	
	Pressione (kN/m ²)	Quota (m l.m.m.)
p_c	0.0	0.0
p_{ox}	1.65	-0.16
p_1	1.20	-7.00
p_b	1.15	-7.70
p_u	1.15	-

$\eta^* = +0.14$ m	CRESTA $T_r = 1$ anno	
	Pressione (kN/m ²)	Quota (m l.m.m.)
p_c	0.0	0.38
p_o	1.41	0.14
p_1	1.0	-7.00
p_b	0.96	-7.70
p_u	0.96	-

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	25	47

DARSENA FINGER

 Condizione rara (senza sisma) – $T_r = 100$ anni $H_s = 1.4m$ $T_p = 10,6s$

$\eta' = -1.36$	CAVO $T_r = 100$ anni	
	Pressione (kN/m ²)	Quota (m l.m.m.)
p_c	0.0	0.0
p_{ox}	13.71	-1.36
p₁	13.32	-7.00
p_b	13.27	-7.70
p_u	13.27	-

$\eta^* = +1.43m$	CRESTA $T_r = 100$ anni	
	Pressione (kN/m ²)	Quota (m l.m.m.)
p_c	0.0	1.43
p_o	13.89	0.0
p₁	11.17	-7.00
p_b	10.90	-7.70
p_u	10.90	-

 Condizione rara (con sisma) e condizione provvisoria (cassone vuoto) - $T_r = 1$ anno $H_s = 0.45m$ $T_p = 7.5s$.

$\eta' = -0.48$	CAVO $T_r = 1$ anno	
	Pressione (kN/m ²)	Quota (m l.m.m.)
p_c	0.0	0.0
p_{ox}	4.8	-0.48
p₁	3.59	-7.00
p_b	3.46	-7.70
p_u	3.46	-

$\eta^* = +0.43m$	CRESTA $T_r = 1$ anno	
	Pressione (kN/m ²)	Quota (m l.m.m.)
p_c	0.0	0.43
p_o	4.29	0.0
p₁	3.01	-7.00
p_b	2.88	-7.70
p_u	2.88	-

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	26	47

8 VERIFICHE NAUTICHE DI STABILITÀ DEI CASSONI

8.1 Galleggiamento e affondamento cassoni

8.1.1 Riferimenti teorici

La stabilità nautica, cioè la capacità del cassone in equilibrio di ‘galleggiamento dritto’ di reagire alle inclinazioni, dipende dalla posizione relativa tra il baricentro G e il centro di carena C_0 , che sono i punti di applicazione rispettivamente del peso proprio del cassone e della spinta di Archimede, uguali in modulo ma di segno opposto.

In condizioni di equilibrio statico G e C_0 sono situati su una stessa verticale e G è al di sopra di C_0 . Nel caso, invece, che il corpo in galleggiamento sia soggetto ad una oscillazione trasversale di piccola ampiezza, il nuovo centro di carena C' non si troverà più sulla stessa verticale di G e nascerà una coppia di forze che tenderà a far ruotare il corpo in senso contrario e a riportarlo in equilibrio, a condizione che la retta d'azione della spinta di Archimede incontri la verticale iniziale al di sopra di G (vedere Figura 6).

Il centro di curvatura della curva individuata dalle successive posizioni del centro di carena al variare dell'angolo di inclinazione è denominato, nel punto iniziale C_0 , metacentro trasversale di carena m, mentre il relativo raggio di curvatura r, cioè la distanza C_0m , prende il nome di raggio metacentrico trasversale. Per piccole oscillazioni, inferiori a 10° , si può assumere con buona approssimazione che tale curva sia sostituibile con l'arco di circonferenza avente raggio r e centro in m.

Pertanto, l'attitudine del corpo in galleggiamento ad opporsi alle inclinazioni trasversali vicine alla posizione dritta è determinabile dal valore della distanza tra il metacentro m e il baricentro G, definita come altezza metacentrica w:

$$w = \rho - a = \rho - (z_g - z_c)$$

dove

- a = distanza tra il baricentro e il centro iniziale di carena C_0

- z_g, z_c = altezza rispettivamente di G e C_0 rispetto al fondo del cassone

- $\rho = \frac{J_{\min}}{V_c}$, essendo J_{\min} il momento d'inerzia minimo della sezione di galleggiamento iniziale e V_c il

volume di carena del corpo in posizione dritta

Nel caso di formazione di uno specchio liquido all'interno del galleggiante, per effetto di un carico sbandante avente lo stesso peso specifico del liquido in cui il cassone è immerso, l'espressione del raggio metacentrico andrà così modificata:

$$\rho = \frac{J_{\min} - \sum_i J_i}{V_c}$$

dove J_i è il momento d'inerzia del generico specchio libero del liquido interno rispetto ad un asse baricentrico parallelo all'asse di rotazione.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	27	47

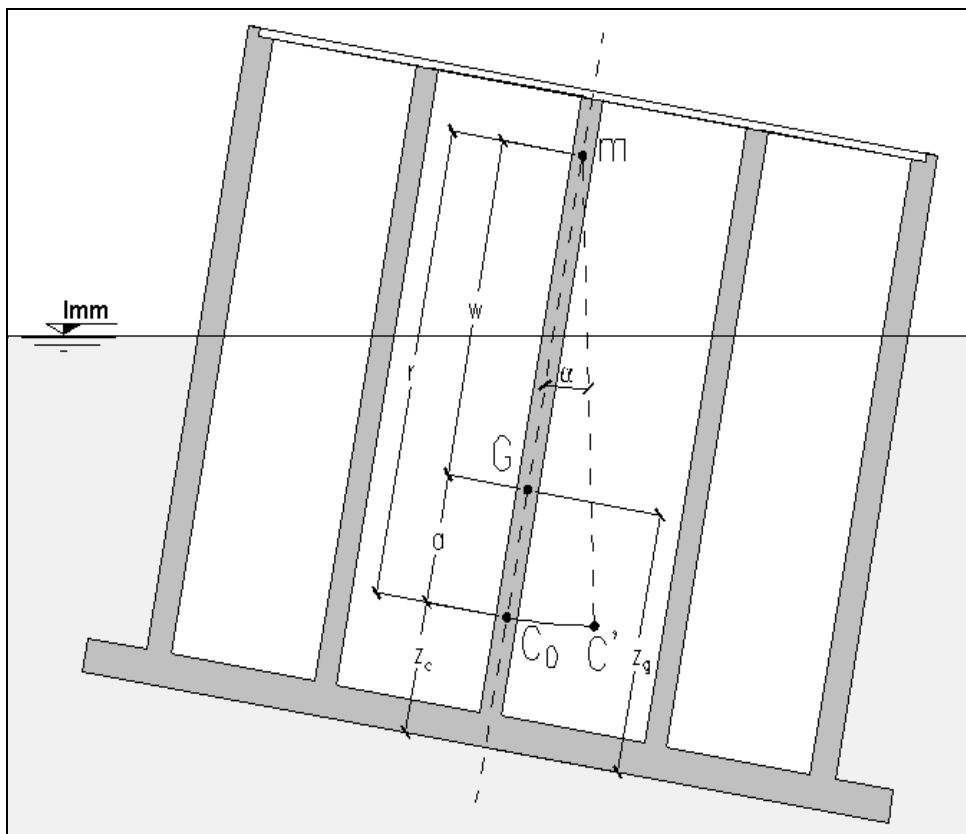


Figura 6 – Stabilità nautica del cassone per oscillazione trasversale

Per verificare la stabilità iniziale al galleggiamento del cassone basterà quindi soddisfare la seguente disuguaglianza:

$$w = \rho - a > 0$$

Per le verifiche di stabilità dei cassoni, tuttavia, sono stati adottati valori minimi di sicurezza per l'altezza metacentrica pari a:

$w > 0.50$ m in fase di trasporto

$w > 0.30$ m in fase di affondamento

8.1.2 Risultati

La darsena è formata da 16 cassoni tipo B (D1 ÷ D16), costituiti da 2 x 8 celle, le cui caratteristiche geometriche e in galleggiamento sono riassunte nella Tabella 8.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	28	47

Caratteristiche cassone tipo B - 2 x 8 celle (D1 ÷ D16)			
Larghezza fusto cassone	B_f	m	8.76
Larghezza base cassone	B	m	10.76
Lunghezza cassone	L	m	29.48
Altezza cassone pref.	h'	m	8.7
Altezza fusto	h_f	m	8.0
dimensione cella (B)		m	3.88
dimensione cella (L)	a	m	3.41
n° celle lungo larghezza B	b	N°	2
n° celle lungo lunghezza L	n	N°	8
Vol fusto		m^3	388.4
Vol soletta copertura		m^3	51.6
Vol solettone		m^3	222.0
Vol cassone senza sovrastruttura		m^3	662.0
Sezione di galleggiamento – area fusto		m^2	258.24
Area sezione orizzontale di cls		m^2	48.55
Peso cassone vuoto (solettone.+fusto+sol cop)		kN	16552.0
Peso cassone vuoto (solettone.+fusto+sol cop) a m lineare		kN/m	561.5

Tabella 8 – Cassone tipo B (2 x 8 celle): caratteristiche geometriche e in galleggiamento

Il pescaggio del cassone durante il galleggiamento è pari a 6.3m

Affinché sia garantita la stabilità durante in galleggiamento durante il trasporto, è necessario versare 0.10 m di zavorra solida ($\gamma_z = 21 \text{ kN/m}^3$).

VERIFICA DI STABILITA' IN FASE DI TRASPORTO								
VOLUME CARENA	L_{MIN}	L_{MAX}	INERZIA	ρ	Z_{CARENA}	Z_M	Z_G	ΔZ
m^3	m	m	m^4	m	m	m	m	m
1670.38	8.76	29.48	1651.43	0.99	3.09	4.07	3.51	0.57

Tabella 9 - Verifica di stabilità in fase di trasporto

Come si può osservare dalla Tabella 9 la stabilità in fase di trasporto è garantita poiché $\Delta z > 0.50\text{m}$.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	29	47

Affinché il cassone raggiunga la quota dello scanno di imbasamento posta a -7.70 m l.m.m. è necessario pompare nelle celle zavorra liquida finché il livello dell'acqua raggiunge 3.72 m dal fondo del cassone.

E' stata inoltre verificato che durante l'affondamento il cassone avesse in ogni momento $\Delta z > 0.30\text{m}$, pertanto la stabilità è garantita.

9 VERIFICHE DI STABILITÀ DEI CASSONI

9.1 Combinazioni di carico

Per le verifiche si devono considerare i seguenti casi:

1) Lungo termine – terrapieno – cassoni pieni (con zavorra solida)

- cavo;
- cresta.

2) Fase provvisoria - acqua da entrambe le parti - cassoni vuoti (senza materiale di riempimento nelle celle – solo acqua)

- cresta.

9.2 Ipotesi assunte

In tutte le verifiche di seguito riportate si sono assunti i dati e proprietà caratteristiche dei materiali riportati nei criteri di progetto (capitolo 5).

Per quanto riguarda il materiale utilizzato per il riempimento delle celle, il peso di volume saturo è stato assunto pari a 21.0 kN/m^3 .

Per quanto riguarda le azioni statiche dovute all'acqua, si adotta il criterio di considerare come quasi permanenti le azioni associate al livello medio mare e di assumere come variabili le azioni conseguenti a un'eventuale variazione del livello idrostatico rispetto al livello medio mare (livello di falda nel terrapieno retrostante).

La spinta del terreno a tergo del cassone è calcolata con riferimento alla teoria di Rankine. I valori caratteristici del diagramma di spinta sono calcolati applicando i coefficienti parziali alle caratteristiche di resistenza del terreno.

Si considera l'azione di un sovraccarico accidentale uniforme di 30 kN/m^2 si in assenza di sisma che in presenza di sisma. Nelle verifiche allo scorrimento e al ribaltamento si considera che il sovraccarico agisca, in favore di sicurezza, soltanto sul terrapieno retrostante e non sul cassone.

Anche per le spinte idrostatiche sulle pareti del cassone si deve distinguere tra una quota parte di carico quasi permanente, associata al livello medio mare e una quota parte di carico variabile per effetto di marea e cavo di onda lunga.

Le verifiche di stabilità del cassone sono condotte con il metodo semiprobabilistico agli stati limite con riferimento allo stato limite ultimo, applicando l'approccio DA1-C2 proposto dall'Eurocodice 7.

Amplificando le azioni variabili non favorevoli alla stabilità con il coefficiente parziale $\gamma_Q = 1.3$ e assumendo coefficienti di combinazione dei carichi pari a 1, si ottengono i carichi e momenti di progetto:

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	30	47

Risultante forze orizzontali	$H_d =$	kN/m
Risultante forze verticali	$V_d =$	kN/m
Momento stabilizzante	$M_{Sd} =$	kNm/m
Momento ribaltante	$M_{Rd} =$	kNm/m

Tabella 10 – Riepilogo delle risultanti e dei momenti che agiscono su un cassone – Tabella tipo

La forza resistente di progetto, $R_d = V_d \cdot \tan \delta_d$, si ottiene applicando il coefficiente parziale $\gamma_\phi = 1.25$ alla tangente dell'angolo d'attrito scanno-cassone:

$$\tan \delta_d = \tan (2/3 \times \phi) / \gamma_\phi$$

I rapporti tra le resistenze di progetto e le azioni di progetto devono risultare:

$$\frac{V_d \tan \delta_d}{H_d} > 1$$

$$\frac{M_{Sd}}{M_{Rd}} > 1$$

Per il calcolo delle pressioni sull'imbasamento, al fine di verificare un'eventuale parzializzazione della sezione di appoggio si è fatto riferimento ai valori caratteristici delle azioni e delle proprietà di resistenza del terreno, ponendo quindi tutti i coefficienti parziali pari a 1. Il centro di pressione risulta interno al nocciolo d'inerzia della base d'appoggio, quindi la sezione è interamente reagente:

Coefficienti parziali = 1.0		
Risultante forze verticali	$V =$	kN/m
Momento risultante rispetto a piede lato darsena	$M =$	kNm/m
Larghezza della base d'appoggio	$B =$	m
Eccentricità dei carichi verticali	$e =$	m
Pressione lato darsena	$\sigma_{max} =$	kN/m ²
Pressione lato terrapieno	$\sigma_{min} =$	kN/m ²

Tabella 11 – Pressioni di riepilogo sull'imbasamento – Tabella tipo

In presenza di sisma la forza risultante dei pesi propri e il relativo momento rispetto al filo lato darsena dell'opera si ottengono incrementando i termini sopra riportati del fattore $(1 \pm k_v)$, per tenere conto delle azioni inerziali associate al sisma verticale. La spinta del terreno a tergo del cassone, è calcolata con riferimento alla teoria di Mononobe-Okabe, applicando i coefficienti parziali alle caratteristiche di resistenza del terreno e assumendo cautelativamente un angolo di attrito terreno-cassone $\delta = 0$. In particolare, si distingue la componente di spinta statica da quella dinamica. Si assumono i coefficienti parziali delle azioni variabili $\gamma_Q = 1.0$.

I risultati per ogni condizione di carico sono riassunti nei paragrafi successivi.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	31	47

9.3 Risultati

Nei paragrafi seguenti sono riportate le verifiche a scorrimento e a ribaltamento dei cassoni e della capacità portante del terreno per le diverse condizioni di progetto, assumendo i seguenti dati:

DARSENA – CASSONE TIPO 2 x 8 celle

- Peso cassone prefabbricato fino a quota +1.0 (solettone + fusto + soletta copertura) = 561.5 kN/m
- Livello zavorra all'interno delle celle: 5 m nelle celle perimetrali forate e 7.8m nelle altre;
- Peso specifico della zavorra = 21kN/m³

9.3.1 Verifiche di stabilità a scorrimento e a ribaltamento

Condizione	T _R (anni)	Moto ondoso	H _s (m)	T _p (s)	Liv _{darsena} (m)	Liv _{terrap} (m)	FS	
							Slitt.	Rib.
Rara (senza sisma) R1	100	Cavo	0.45	10.6	0.0	0.50	1.56	2.17
Rara (con sisma) R2	1	Cavo	0.20	7.5	0.0	0.0	1.10	1.87
Rara (con sisma) R3	1	Cresta	0.20	7.5	0.0	0.0	1.12	2.94

Nella condizione provvisoria di cassone vuoto (senza zavorra solida nelle celle) i fattori di sicurezza FS allo slittamento e al ribaltamento risultano ampiamente >1.

Condizione	T _R (anni)	V _d kN/m	H _d kN/m	FSslit	M _{Sd} kNm/m	M _{Rd} kNm/m	FSrib
R1	100	1280.9	392.9	1.56	12509.4	5763.0	2.17
R2	1	1255.1	546.3	1.10	12107.0	6490.2	1.87
R3	1	1245.7	535.8	1.12	11176.1	3799.4	2.94

DARSENA – FINGER – CASSONE TIPO 2 x 8 celle

Condizione	T _R (anni)	Moto ondoso	H _s (m)	T _p (s)	Liv _{darsena} (m)	Liv _{terrap} (m)	FS	
							Slitt.	Rib.
Rara (senza sisma) R1	100	Cavo	1.4	10.6	0.0	0.0	1.56	1.74
Rara (con sisma) R2	1	Cavo	0.45	7.5	0.0	0.0	1.10	1.43
Rara (con sisma) R3	1	Cresta	0.45	7.5	0.0	0.0	2.15	1.70

Nella condizione provvisoria di cassone vuoto (senza zavorra solida nelle celle) i fattori di sicurezza FS allo slittamento e al ribaltamento risultano ampiamente >1.

Condizione	T _R (anni)	V _d kN/m	H _d kN/m	FSslit	M _{Sd} kNm/m	M _{Rd} kNm/m	FSrib
R1	100	1259.0	387.6	1.56	10893.7	6275.2	1.74
R2	1	1166.6	509.1	1.10	10363.5	7233.0	1.43
R3	1	1135.2	253.1	2.15	10270.3	6034.0	1.70

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	32	47

9.3.2 Verifica di capacità portante del terreno

Nelle tabelle seguenti sono riportate le pressioni sul piano di posa, al fine di verificare un'eventuale parzializzazione della sezione di appoggio. Il centro di pressione risulta interno al nocciolo d'inerzia della base d'appoggio, quindi la sezione è interamente reagente. Sono riportate inoltre le pressioni alla base dello scanno. Le pressioni sono state calcolate nella condizione di progetto rara (Tempo di ritorno di 100 anni e fase di cavo).

DARSENA (CON TERRAPIENO)

		Sul piano di posa	Alla base dello scanno
Risultante forze verticali	V =	kN/m 1283.0	1465.9
Momento risultante rispetto a piede lato darsena	M =	kNm/m 7167.9	7782.2
	d =	m 5.59	5.31
Larghezza della base d'appoggio	B =	m 10.76	12.79
Eccentricità dei carichi verticali	e =	m 0.21	0.07
Pressione lato darsena	σ_{\max} =	kN/m ² 133.0	118.4
Pressione lato terrapieno	σ_{\min} =	kN/m ² 105.5	110.8

DARSENA FINGER

		Sul piano di posa	Alla base dello scanno
Risultante forze verticali	V =	kN/m 1243.3	1426.3
Momento risultante rispetto a piede lato darsena	M =	kNm/m 4586.2	5182.7
	d =	m 3.69	3.63
Larghezza della base d'appoggio	B =	m 10.76	12.79
Eccentricità dei carichi verticali	e =	m 1.69	1.75
Pressione lato darsena	σ_{\max} =	kN/m ² 224.5	261.7
Pressione lato terrapieno	σ_{\min} =	kN/m ² 6.6	0



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	33	47

10 ANALISI DEI CEDIMENTI

10.1 Metodologia

Il calcolo dei cedimenti è stato effettuato utilizzando la stratigrafia di progetto e i parametri geotecnici riportati nella Relazione geologica e geotecnica (allegato B10OAS002), sulla base delle dalle indagini integrative condotte nel primo semestre 2006.

I cedimenti sono stati stimati per la sezione trasversale della banchina antistante l'isola di S. Nicola, da realizzare su un fondale di progetto di -7 m s.m.m..

Il materiale di riempimento a tergo dei cassoni per la realizzazione dei nuovi piazzali di movimentazione dei containers sarà costituito da materiale arido, le cui specifiche sono indicate nel dettaglio cap. 5 della Relazione di calcolo della pavimentazione (Allegato C10OTS002).

Le nuove indagini geotecniche eseguite hanno portato a definire il materiale in sito (a partire da -4 m s.l.m.) come Argilla di Taranto, caratterizzata dai seguenti parametri meccanici (rif. Relazione geologica e geotecnica - Allegato B10OAS002):

$$c' = 30 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 27^\circ$$

$$\text{OCR} = 10.$$

I carichi agenti sono stati valutati tenendo conto della geometria del cassone e delle fasi di posa dello stesso, nonché del riempimento a tergo.

Il calcolo dei cedimenti è stato condotto mediante l'utilizzo del codice di calcolo agli elementi finiti PLAXIS descritto brevemente nel paragrafo 10.4.1.

10.2 Carichi e geometria

Il calcolo dei cedimenti per la sezione della darsena è stato eseguito con riferimento al cassone di dimensioni di base 29.48 x 10.76 m e altezza 8.70 m. In Figura 7 viene riportata la sezione schematizzata nel modello.

La pavimentazione è stata schematizzata facendo riferimento alle caratteristiche geometriche e ai parametri geotecnici dei diversi materiali e del terreno di fondazione, come definito nella relazione geologica e geotecnica.

Dalla stratigrafia di progetto riportata nella relazione geologica e geotecnica si ricava che il piano di posa dei cassone è costituito da uno strato di terreno omogeneo, denominato "Argilla di Taranto". Le caratteristiche e i parametri geotecnici dei vari materiali impiegati nel modello vengono riportati nella tabella alla pagina seguente.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	34	47

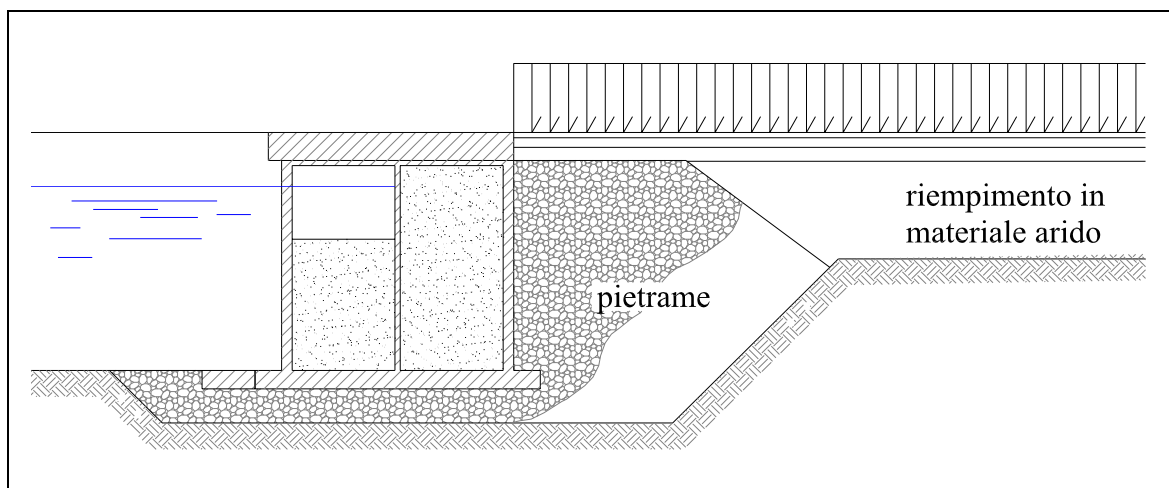


Figura 7 – Sezione darsena

DESCRIZIONE TERRENO	γ	γ_w	ϕ'	c'	ν	E
Trave di coronamento	25.00	-	-	-	0.15	34000
Conglomerato bituminoso	23.50	-	-	-	0.35	1500
Stabilizzato	19.00	21.00	40	10	0.25	80
Cassone	25.00	-	-	-	0.15	34000
Riempimento cassone	21.00	-	-	-	0.30	30
Riempimento in materiale arido	18.00	21.00	38	-	0.30	50
Rinfiante in pietrame	18.00	21.00	38	-	0.30	50
Argilla di Taranto	20.00	20.00	27	30	0.20	15*

Tabella 12 – Parametri geotecnici di progetto

dove:

- γ Peso di volume del terreno espresso in kN/m^3
- γ_w Peso di volume saturo del terreno espresso in kN/m^3
- ϕ' Angolo d'attrito interno del terreno espresso in gradi
- c' Coesione del terreno espressa in kPa
- ν Coefficiente di Poisson
- E Modulo elastico espresso in MPa
- * Modulo elastico E_{50} espresso in MPa

Nell'analisi sono state considerate le diverse fasi di realizzazione della banchina; in particolare si sono simulate la seguenti fasi realizzative:

- esecuzione scavo del fondale fino alla quota di imbasamento del cassone;
- realizzazione basamento in pietrame e posa del cassone;
- riempimento a tergo del cassone in pietrame;
- realizzazione della trave di coronamento e realizzazione della pavimentazione
- applicazione sovraccarico accidentale (30 kN/m^2).

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	35	47

Nell'analisi è stato considerato un sovraccarico accidentale uniformemente ripartito $q = 30 \text{ kN/m}^2$, applicato sul piazzale fino al limite interno del cassone. (vedi Figura 7)

L'analisi mediante il codice di calcolo PLAXIS è stata condotta al fine di valutare gli spostamenti totali dovuti alla posa del cassone e al riempimento a tergo e i cedimenti derivanti dai sovraccarichi accidentali.

10.3 Fasi di lavorazione

I risultati ottenuti, dall'analisi mediante il codice di calcolo, in termini di spostamenti totali indotti dalle diverse fasi di lavoro sono riportati di seguito: in Figura 8 vengono rappresentati gli spostamenti totali dell'area di calcolo simulata al termine della fase del riempimento a tergo del cassone (i cedimenti sono complessivi dei precedenti dovuti alla posa del cassone).

Come si può vedere i cedimenti massimi in fase di costruzione si hanno in corrispondenza del piano di posa della pavimentazione (localizzati nella zona immediatamente a tergo del cassone) e sono dell'ordine dei 4 cm.

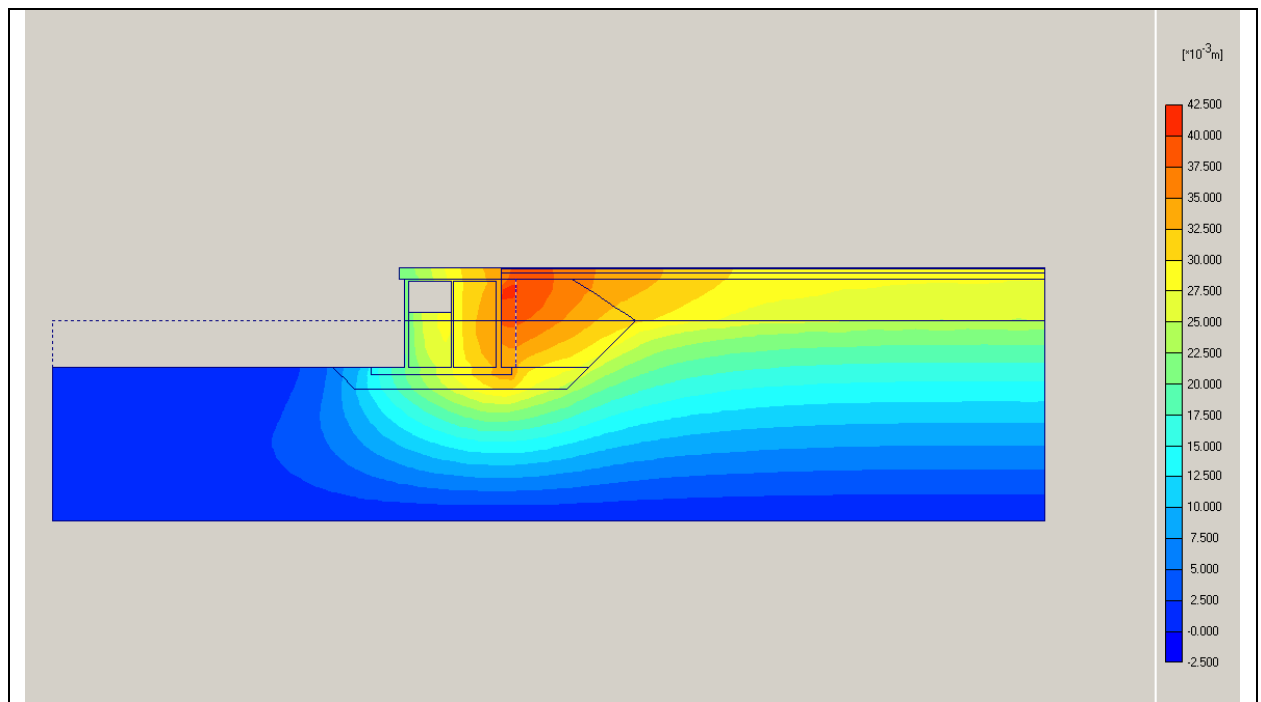


Figura 8 – Spostamenti totali al termine del riempimento a tergo del cassone

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	36	47

10.4 Cedimenti dovuti ai sovraccarichi

I risultati ottenuti, dall'analisi mediante il codice di calcolo, in termini di cedimenti indotti dal sovraccarico accidentale sono riportati nella Figura 9.

Questi cedimenti sono da intendersi come "cedimenti in esercizio", cioè come cedimenti che si manifestano a lungo termine, rispetto alla situazione esistente al termine dei lavori di realizzazione, per effetto del comportamento elastico e della consolidazione dei terreni sottostanti la pavimentazione, sotto il permanere dei carichi massimi previsti. Come si può vedere dalla figura l'entità dei cedimenti del coronamento del cassone è al massimo dei 4 mm.

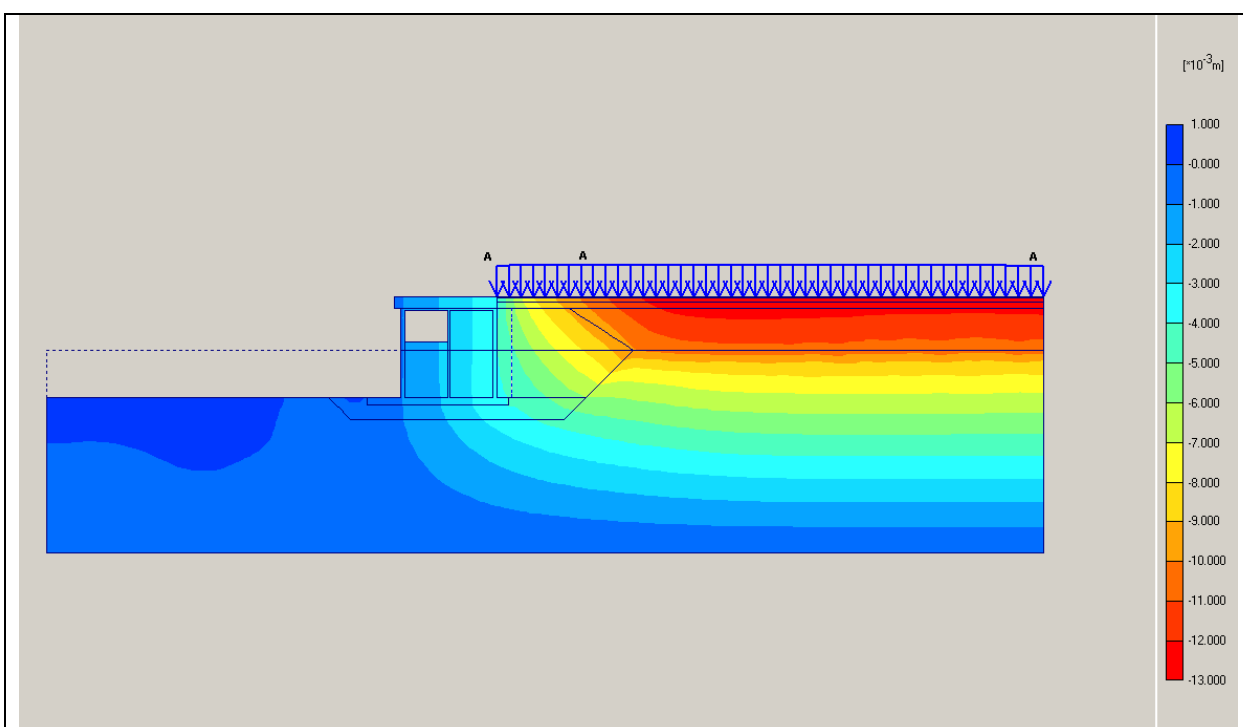


Figura 9 – Cedimenti (spostamenti verticali) nell'ipotesi di carico dovuto al sovraccarico distribuito di 30 kPa

10.4.1 Descrizione del codice di calcolo PLAXIS

Lo sviluppo del codice di calcolo PLAXIS è iniziato nel 1987 presso il Politecnico di Delft, su iniziativa del Dutch Department of Public Works and Water Management.

Originariamente concepito come un codice di calcolo agli elementi finiti per l'analisi dei corpi arginali e dei terreni molli dei polders olandesi, è stato successivamente ampliato per coprire la maggior parte delle problematiche di ingegneria geotecnica.

Nel 1993 è stata formata una società, denominata PLAXIS BV, per lo sviluppo continuo del codice di calcolo.

La ricerca e lo sviluppo sono finanziati grazie agli introiti da nuove licenze, ma soprattutto grazie al CUR (Center for Civil Engineering Research and Codes), un consorzio di più di 30 società europee interessate allo strumento di calcolo che forniscono, oltre al supporto economico, anche il necessario collegamento con la realtà applicativa e la validazione sul campo.

Il codice di calcolo è supportato da un valido background scientifico ed il suo standard tecnico è mantenuto costantemente elevato grazie al contributo delle numerose strutture di ricerca che collaborano direttamente allo sviluppo. Tra queste si ricorda la Delft University of Technology (Olanda), l'Institut für Geotechnik di Stoccarda

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	37	47

(Germania), l'Università di Oxford (Gran Bretagna), il Massachusetts Institute of Technology (USA), l'Università di Grenoble (Francia), ecc..

Modellazione del comportamento del terreno

PLAXIS è un codice di calcolo non lineare agli elementi finiti espressamente concepito per i problemi di ingegneria geotecnica (problemi deformativi e filtrazione/consolidazione nei terreni e nelle rocce).

Il comportamento meccanico dei terreni può essere descritto attraverso diversi modelli che forniscono approcci più o meno accurati.

Modello elastico lineare

L'approccio più semplice è quello elastico lineare isotropo, che si basa su due soli parametri, il modulo di Young E e il rapporto di Poisson; il modello elastico lineare, tuttavia, non è sempre valido per trattare i problemi deformativi dei terreni, in particolare quando le deformazioni sono significative.

Un approccio più affine al comportamento reale dei terreni è quello descritto dal modello di Mohr-Coulomb; si tratta di un modello elastoplastico lineare (elastico – perfettamente plastico) che si basa su cinque parametri, di cui due descriventi il comportamento elastico (E , ν) analogamente al modello lineare, due il comportamento plastico (ϕ e c , rispettivamente angolo di attrito interno e coesione) ed uno (ψ) la dilatanza del materiale. Tale modello è stato utilizzato nella presente analisi.

Modello incrudente isotropo

Per descrivere il comportamento dei terreni coesivi, fortemente dipendente dalla storia tensionale, nel codice PLAXIS è disponibile un modello incrudente, in grado di rappresentare l'incrudimento isotropo del materiale mediante l'espansione della superficie di snervamento descritta alla Mohr-Coulomb. Oltre ai parametri impiegati nel modello Mohr-Coulomb, il modello incrudente necessita di ulteriori parametri descriventi il comportamento elastico (il modulo E è infatti dipendente dallo stato tensionale), cioè $E_{50,ref}$, modulo di deformazione ricavato da compressione in cella triassiale al 50 % della rottura per una tensione di contenimento di 100 kPa, E_{ur} , modulo di deformazione ricavato da prove di estensione per scarico in cella triassiale, e $E_{oed,ref}$, modulo di deformazione in cella edometrica ricavato sulla curva di compressione vergine.

Modello viscoplastico

Per lo studio dei terreni coesivi e, in particolare, dei problemi di deformazione viscosa e di consolidazione si fa riferimento al modello SSC (Soft Soil Creep), la cui principale peculiarità consiste nel tener conto di:

- rigidità variabile in funzione del livello di sollecitazione (curva di compressione logaritmica);
- distinzione tra curva di carico e di scarico;
- compressione secondaria viscosa;
- memoria della tensione di preconsolidazione;
- rottura secondo il criterio di Mohr-Coulomb.

Il modello necessita di ulteriori parametri per descrivere il comportamento deformativo dei terreni.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	38	47

11 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Nell'ambito della presente progettazione definitiva è stata condotta una verifica di stabilità globale nelle condizioni di esercizio. La verifica, condotta per il complesso cassone+terreno, è riferita alla sezione tipo di progetto mostrata in Figura 10.

11.1 Descrizione metodo di calcolo

Le verifiche di stabilità globale, condotte mediante l'ausilio di un programma di calcolo, devono fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1.00 in condizioni di sisma. Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate. Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

l	lunghezza della base della striscia
α	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
b	larghezza della striscia $b=l \cdot \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
c	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
u	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sfuerzo normale alla base della striscia
T	sfuerzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop semplificato si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left[\frac{c_i \cdot b_i + (N_i / \cos \alpha_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi_i}{m} \right]}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i}$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\tan \phi_i \cdot \tan \alpha_i}{F} \right) \cdot \cos \alpha_i$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	39	47

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop semplificato contiene al secondo membro il termine m che è funzione di F . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per F da inserire nell'espressione di m ed iterando fino a far coincidere il valore calcolato con il valore assunto.

11.2 Stabilità in condizioni di esercizio per il complesso cassone-terreno

11.2.1 Descrizione stratigrafica e carichi di progetto

Descrizione terreno

Simbologia adottata

γ	Peso di volume del terreno espresso in kN/m^3
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kN/m^3
ϕ'	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c'	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kPa
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso in gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kPa

Il modello è stato realizzato schematizzando la stratigrafia come indicato nella Figura 10, facendo riferimento sia per il cassone che per la trave di coronamento a terreni dotati di un peso specifico equivalente, ma privi di caratteristiche di resistenza meccanica. In particolare, per la trave di coronamento si è assunto un peso specifico $\gamma=23 \text{ kN/m}^3$, per il cassone è stato valutato il peso complessivo in opera, $P=16552+28173=44725 \text{ kN}$, comprendente il peso della struttura in c.a. e della zavorra previsti in progetto, rapportandolo al volume effettivamente introdotto nel modello di calcolo. Utilizzando le caratteristiche geometriche del cassone previsto in progetto:

$$L_c=29.48 \text{ m}$$

$$B_c=10.76 \text{ m}$$

$$H_c=8.70 \text{ m,}$$

ipotizzando una larghezza inferiore, al netto delle mensole, data da $B_{\text{mod}}=B_c-2x1=8.76 \text{ m}$, è stato ricavato il peso specifico equivalente introdotto nel modello:

$$\gamma_{\text{eq. cassone}}=P/(L_c \times B_{\text{mod}} \times H_c) \approx 19.90 \text{ kN/m}^3$$

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	40	47

In Tabella 13 sono riassunti i parametri geotecnici di riferimento utilizzati nelle verifiche di stabilità globale.

DESCRIZIONE TERRENO	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_u	c_u
Trave di coronamento	23.00	23.00	-	-	-	-
Cassone	19.90	19.90	-	-	-	-
Colmata	18.00	21.00	38	-	-	-
Rinfianco	18.00	21.00	38	-	-	-
Argilla	20.00	20.00	27	30	-	-

Tabella 13 – Parametri geotecnici di progetto

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto	
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m	
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m	
Nr.	X [m]	Y [m]
1	0.00	28.00
2	33.50	28.00
3	40.00	28.00
4	40.00	36.00
5	40.00	37.00
6	48.76	37.00
7	100.00	37.00

Descrizione stratigrafia e falda

Simbologia adottata

Nr. Identificativo del punto
 X, Y Coordinate dei vertici dello strato (espresse in m)

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito.

Trave di coronamento

Nr.	X[m]	Y[m]
1	40.00	36.00
2	48.76	36.00
3	48.76	37.00
4	40.00	37.00

Cassone

Nr.	X[m]	Y[m]
1	40.00	36.00
2	40.00	28.00
3	48.76	28.00
4	48.76	36.00

Colmata

N°	X[m]	Y[m]
1	48.76	37.00
2	48.76	36.00



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	41	47

3	55.26	36.00
4	61.93	31.00
5	100.00	31.00
6	100.00	37.00

Rinfianco

N°	X[m]	Y[m]
1	40.00	28.00
2	33.50	28.00
3	35.50	26.00
4	54.76	26.00
5	59.76	31.00
6	61.93	31.00
7	55.26	36.00
8	48.76	36.00
9	48.76	28.00

Argilla

Nr.	X[m]	Y[m]
1	0.00	0.00
2	100.00	0.00
3	100.00	31.00
4	61.93	31.00
5	59.76	31.00
6	54.76	26.00
7	35.50	26.00
8	33.50	28.00
9	0.00	28.00

Livello di falda

Nr.	X[m]	Y[m]
1	0.00	35.00
2	100.00	35.00

Carichi sul profilo

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra.

Nr.	Identificativo del sovraccarico agente
X_i	Ascissa del punto iniziale del carico ripartito espressa in m Per carico concentrato ascissa del punto di applicazione espressa in m
X_f	Ascissa del punto finale del carico ripartito espressa in m
V_i	Intensità del carico espressa in kN/m per $x=X_i$ Per carico concentrato intensità del carico espressa in kN
V_f	Intensità del carico espressa in kN/m per $x=X_f$

Nell'analisi è stato considerato un sovraccarico accidentale uniformemente ripartito $q=30 \text{ kN/m}^2$, applicato, a favore di sicurezza, solo a monte del cassone (ved. Figura 11).

Nr.	Tipo carico	X _i [m]	X _f [m]	V _i	V _f
1	DISTRIBUITO	48.76	100.00	30.00	30.00

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	42	47

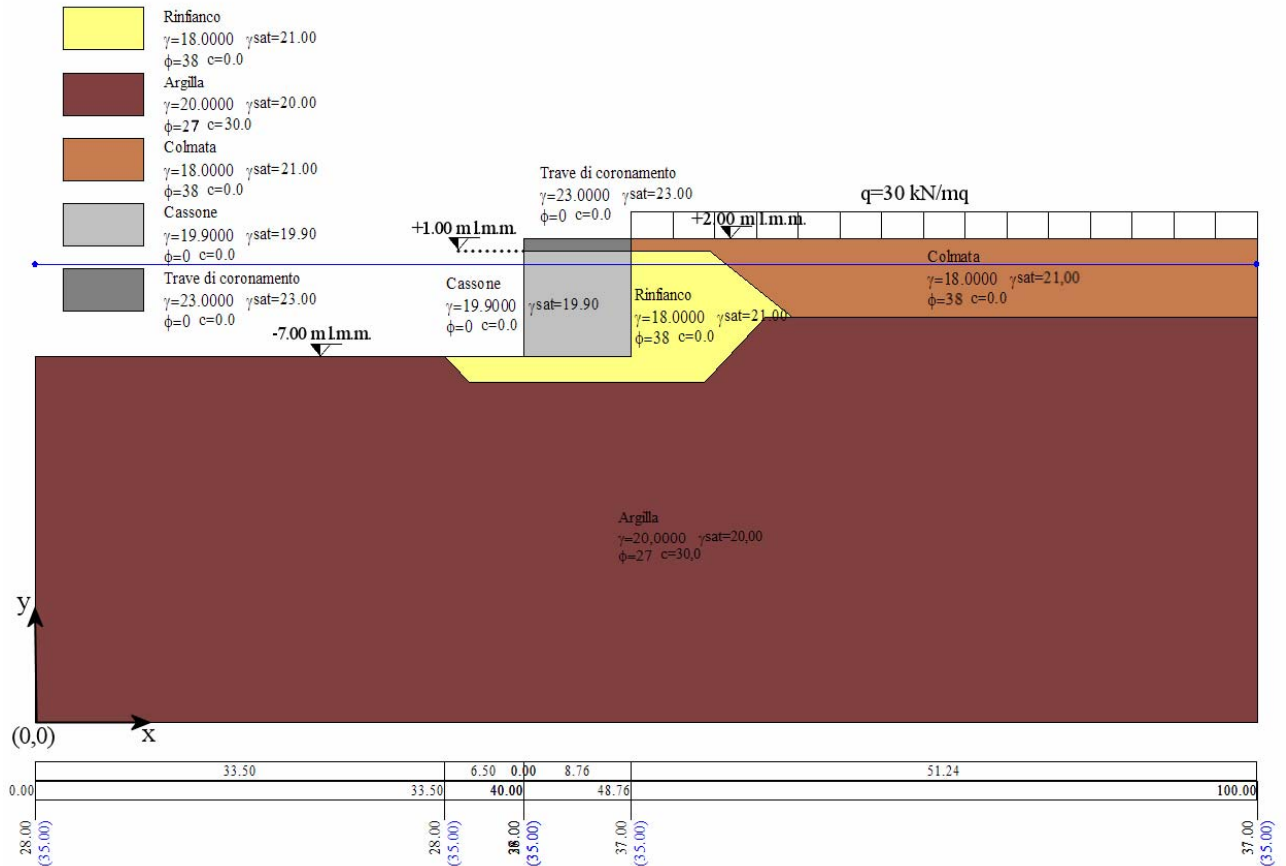


Figura 10 – Stratigrafia e carichi

11.2.2 Risultati analisi

Per l'analisi è stato utilizzato il metodo di BISHOP, e si è fatto riferimento alla Normativa vigente, con particolare riferimento al Testo Unico – Norme tecniche per le costruzioni del 30/03/2005.

I cassoni si trovano in zona sismica di III categoria, pertanto si è fatto riferimento ai valori caratteristici riportati nella Tabella 2 del paragrafo 5.1.3, e riassunti di seguito:

Zona sismica	Zona 3
Accelerazione al suolo (m/s^2)	0.15 g
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo	S=1.25
Coefficiente riduzione	r=2
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.33, in accordo con l'Eurocodice 8
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (%)	kh=(ag/g x S)/r = 9.38
Coefficiente di intensità sismica verticale (%)	kv=0.33 x kh = 3.09

Nella Tabella 4 del paragrafo 6.3, sono invece sintetizzati i valori dei coefficienti parziali utilizzati nell'ambito dell'approccio progettuale seguito (DA1-C2), riassunti di seguito:

Coefficiente parziale per le azioni variabili sfavorevoli	$\gamma_Q=1.30$
---	-----------------

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	43	47

Coefficiente parziale per i carichi permanenti $\gamma_G=1.00$
 Coefficienti parziali per le caratteristiche di resistenza dei terreni: $\gamma_{\phi}=1.25$ $\gamma_c=1.25$ $\gamma_{cu}=1.40$

Facendo riferimento a tali coefficienti sono state condotte le analisi in termini di tensioni efficaci e in presenza di falda, con il sovraccarico accidentale distribuito $q=30$ kN/m², considerando il sisma e ipotizzando che la componente verticale possa essere orientata sia verso il basso che verso l'alto. In totale sono state analizzate 780 superfici passanti per il punto P(48.76, 27.30), ottenendo, per la superficie critica, un coefficiente di sicurezza minimo pari a 1.110. Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- Lunghezza di corda inferiore a 1.00 m
- Freccia inferiore a 0.50 m
- Volume inferiore a 2.00 m³

Di seguito si riporta una breve descrizione di alcune superfici analizzate e i risultati dell'analisi per la sola superficie con coefficiente di sicurezza minimo (ved. Figura 11).

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	780	1.110	1	4.450	390

Caratteristiche delle superfici analizzate

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso m³

C_s coefficiente di sicurezza

Sono riportate le caratteristiche delle dieci superfici con coefficiente di sicurezza minore:

N°	C _x	C _y	R	x _v	y _v	x _m	y _m	V	C _s
1	42,00	43,00	17,09	33,80	28,00	58,01	37,00	158,60	1.110
2	42,00	42,00	16,18	33,89	28,00	57,39	37,00	155,91	1.117
3	42,00	44,00	18,02	33,72	28,00	58,60	37,00	161,27	1.119
4	42,00	45,00	18,95	33,63	28,00	59,18	37,00	163,93	1.128
5	42,00	46,00	19,88	33,55	28,00	59,73	37,00	166,56	1.132
6	42,00	41,00	15,28	33,98	28,00	56,74	37,00	153,19	1.135
7	42,00	47,00	20,83	33,47	28,00	60,27	37,00	169,17	1.140
8	42,00	48,00	21,78	33,39	28,00	60,79	37,00	171,75	1.151
9	42,00	40,00	14,39	34,06	28,00	56,07	37,00	150,48	1.158
10	42,00	49,00	22,73	33,31	28,00	61,30	37,00	174,31	1.162

11.2.3 Analisi della superficie critica

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	44	47

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X_s ascissa sinistra della striscia espressa in m

Y_{ss} ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m

Y_{si} ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m

X_g ascissa del baricentro della striscia espressa in m

Y_g ordinata del baricentro della striscia espressa in m

α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)

φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kPa

L sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa

W peso della striscia espresso in kN

Q carico applicato sulla striscia espresso in kN

N sforzo normale alla base della striscia espresso in kN

T sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kN

U pressione neutra alla base della striscia espressa in kN

E_s, E_d forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kN

X_s, X_d forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kN

Analisi della superficie - sisma verso l'alto

Numero di strisce=50

Coordinate del centro X[m]= 42.00 Y[m]= 43.00

Raggio del cerchio R[m]= 17.09

Intersezione a valle con il profilo topografico Xv([m])= 33.80

Yv([m])= 28.00

Intersezione a monte con il profilo topografico Xm[m]= 58.01

Ym[m]= 37.00

Coefficiente di sicurezza

Cs= 1.110

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	L	α	φ	c
1	33,80	28,00	28,00	34,28	28,00	27,75	34,12	27,92	0,54	-27,75	32.01	0
2	34,28	28,00	27,75	34,76	28,00	27,52	34,54	27,81	0,53	-25,96	32.01	0
3	34,76	28,00	27,52	35,23	28,00	27,30	35,01	27,70	0,52	-24,20	32.01	0
4	35,23	28,00	27,30	35,71	28,00	27,11	35,48	27,60	0,52	-22,46	32.01	0
5	35,71	28,00	27,11	36,19	28,00	26,93	35,96	27,51	0,51	-20,74	32.01	0
6	36,19	28,00	26,93	36,66	28,00	26,76	36,43	27,42	0,50	-19,04	32.01	0
7	36,66	28,00	26,76	37,14	28,00	26,61	36,91	27,34	0,50	-17,36	32.01	0
8	37,14	28,00	26,61	37,62	28,00	26,48	37,38	27,27	0,50	-15,69	32.01	0
9	37,62	28,00	26,48	38,09	28,00	26,36	37,86	27,21	0,49	-14,04	32.01	0
10	38,09	28,00	26,36	38,57	28,00	26,25	38,33	27,15	0,49	-12,39	32.01	0
11	38,57	28,00	26,25	39,05	28,00	26,16	38,81	27,10	0,49	-10,76	32.01	0
12	39,05	28,00	26,16	39,52	28,00	26,09	39,29	27,06	0,48	-9,14	32.01	0
13	39,52	28,00	26,09	40,00	28,00	26,02	39,76	27,03	0,48	-7,53	32.01	0
14	40,00	37,00	26,02	40,49	37,00	25,97	40,24	31,52	0,49	-5,90	26.85	13
15	40,49	37,00	25,97	40,97	37,00	25,94	40,73	31,50	0,49	-4,26	22.18	24



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	45	47

16	40,97	37,00	25,94	41,46	37,00	25,92	41,22	31,49	0,49	-2,63	22,18	24
17	41,46	37,00	25,92	41,95	37,00	25,91	41,70	31,48	0,49	-0,99	22,18	24
18	41,95	37,00	25,91	42,43	37,00	25,91	42,19	31,48	0,49	0,64	22,18	24
19	42,43	37,00	25,91	42,92	37,00	25,93	42,68	31,49	0,49	2,27	22,18	24
20	42,92	37,00	25,93	43,41	37,00	25,96	43,16	31,50	0,49	3,90	22,18	24
21	43,41	37,00	25,96	43,89	37,00	26,01	43,65	31,52	0,49	5,54	24,61	18
22	43,89	37,00	26,01	44,38	37,00	26,07	44,14	31,55	0,49	7,18	32,01	0
23	44,38	37,00	26,07	44,87	37,00	26,15	44,62	31,58	0,49	8,83	32,01	0
24	44,87	37,00	26,15	45,35	37,00	26,24	45,11	31,63	0,49	10,48	32,01	0
25	45,35	37,00	26,24	45,84	37,00	26,34	45,60	31,68	0,50	12,15	32,01	0
26	45,84	37,00	26,34	46,33	37,00	26,46	46,08	31,73	0,50	13,82	32,01	0
27	46,33	37,00	26,46	46,81	37,00	26,60	46,57	31,80	0,51	15,51	32,01	0
28	46,81	37,00	26,60	47,30	37,00	26,75	47,06	31,87	0,51	17,21	32,01	0
29	47,30	37,00	26,75	47,79	37,00	26,92	47,54	31,96	0,51	18,93	32,01	0
30	47,79	37,00	26,92	48,27	37,00	27,10	48,03	32,05	0,52	20,66	32,01	0
31	48,27	37,00	27,10	48,76	37,00	27,30	48,52	32,15	0,53	22,41	32,01	0
32	48,76	37,00	27,30	49,26	37,00	27,52	49,01	32,16	0,55	24,21	32,01	0
33	49,26	37,00	27,52	49,76	37,00	27,77	49,51	32,27	0,56	26,07	32,01	0
34	49,76	37,00	27,77	50,26	37,00	28,03	50,01	32,40	0,57	27,95	32,01	0
35	50,26	37,00	28,03	50,76	37,00	28,32	50,51	32,54	0,58	29,86	32,01	0
36	50,76	37,00	28,32	51,26	37,00	28,63	51,01	32,69	0,59	31,82	32,01	0
37	51,26	37,00	28,63	51,76	37,00	28,97	51,51	32,85	0,60	33,81	32,01	0
38	51,76	37,00	28,97	52,26	37,00	29,33	52,01	33,03	0,62	35,85	32,01	0
39	52,26	37,00	29,33	52,76	37,00	29,72	52,51	33,22	0,63	37,95	32,01	0
40	52,76	37,00	29,72	53,26	37,00	30,14	53,01	33,42	0,65	40,11	32,01	0
41	53,26	37,00	30,14	53,76	37,00	30,59	53,51	33,64	0,68	42,34	32,01	0
42	53,76	37,00	30,59	54,26	37,00	31,09	54,01	33,88	0,70	44,65	32,01	0
43	54,26	37,00	31,09	54,76	37,00	31,63	54,51	34,14	0,73	47,06	32,01	0
44	54,76	37,00	31,63	55,26	37,00	32,21	55,01	34,43	0,77	49,58	32,01	0
45	55,26	37,00	32,21	55,72	37,00	32,80	55,48	34,73	0,75	52,12	32,01	0
46	55,72	37,00	32,80	56,18	37,00	33,45	55,94	35,05	0,79	54,70	32,01	0
47	56,18	37,00	33,45	56,63	37,00	34,16	56,39	35,34	0,85	57,45	32,01	0
48	56,63	37,00	34,16	57,09	37,00	34,97	56,85	35,74	0,93	60,43	32,01	0
49	57,09	37,00	34,97	57,55	37,00	35,90	57,30	36,19	1,03	63,72	32,01	0
50	57,55	37,00	35,90	58,01	37,00	37,00	57,70	36,63	1,19	67,45	32,01	0

Forze applicate sulle strisce [BISHOP]

N°	W	Q	N	T	U	Es	Ed	Xs	Xd
1	1,26	32,72	1,01	0,57	37,64	0,00	18,38	0,00	0,00
2	3,67	32,72	2,83	1,59	38,30	18,38	37,47	0,00	0,00
3	5,91	32,72	4,35	2,45	38,90	37,47	56,88	0,00	0,00
4	7,96	32,72	5,64	3,18	39,43	56,88	76,28	0,00	0,00
5	9,85	32,72	6,72	3,79	39,91	76,28	95,41	0,00	0,00
6	11,58	32,72	7,63	4,30	40,34	95,41	114,04	0,00	0,00
7	13,15	32,72	8,39	4,73	40,72	114,04	131,97	0,00	0,00
8	14,56	32,72	9,02	5,08	41,05	131,97	149,03	0,00	0,00
9	15,83	32,72	9,54	5,37	41,35	149,03	165,10	0,00	0,00
10	16,95	32,72	9,94	5,60	41,61	165,10	180,04	0,00	0,00
11	17,93	32,72	10,26	5,78	41,83	180,04	193,77	0,00	0,00



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	46	47

12	18,77	32,72	10,49	5,91	42,02	193,77	206,18	0,00	0,00
13	19,47	32,72	10,65	6,00	42,18	206,18	217,22	0,00	0,00
14	109,12	0,00	66,84	36,03	43,19	217,22	254,14	0,00	0,00
15	109,54	0,00	65,75	34,70	43,29	254,14	286,58	0,00	0,00
16	109,83	0,00	64,77	34,32	43,35	286,58	315,52	0,00	0,00
17	109,98	0,00	63,80	33,95	43,39	315,52	341,01	0,00	0,00
18	109,99	0,00	62,83	33,60	43,39	341,01	363,11	0,00	0,00
19	109,87	0,00	61,88	33,25	43,36	363,11	381,88	0,00	0,00
20	109,62	0,00	60,92	32,92	43,30	381,88	397,35	0,00	0,00
21	109,23	0,00	59,96	32,70	43,21	397,35	409,69	0,00	0,00
22	108,68	0,00	58,88	33,16	43,09	409,69	419,65	0,00	0,00
23	107,98	0,00	57,90	32,60	42,93	419,65	426,27	0,00	0,00
24	107,13	0,00	56,91	32,04	42,74	426,27	429,60	0,00	0,00
25	106,14	0,00	55,91	31,48	42,52	429,60	429,72	0,00	0,00
26	104,99	0,00	54,91	30,92	42,25	429,72	426,69	0,00	0,00
27	103,69	0,00	53,91	30,35	41,95	426,69	420,58	0,00	0,00
28	102,23	0,00	52,88	29,78	41,60	420,58	411,49	0,00	0,00
29	100,60	0,00	51,84	29,19	41,21	411,49	399,50	0,00	0,00
30	98,81	0,00	50,79	28,60	40,77	399,50	384,69	0,00	0,00
31	96,85	0,00	49,71	27,99	40,27	384,69	367,18	0,00	0,00
32	99,17	19,50	68,59	38,62	40,79	367,18	348,24	0,00	0,00
33	96,70	19,50	67,35	37,92	40,14	348,24	326,01	0,00	0,00
34	94,03	19,50	66,08	37,21	39,40	326,01	300,63	0,00	0,00
35	91,13	19,50	64,80	36,49	38,57	300,63	272,26	0,00	0,00
36	87,99	19,50	63,48	35,74	37,64	272,26	241,08	0,00	0,00
37	84,61	19,50	62,13	34,98	36,59	241,08	207,28	0,00	0,00
38	80,95	19,50	60,73	34,20	35,41	207,28	171,10	0,00	0,00
39	77,01	19,50	59,28	33,38	34,06	171,10	132,81	0,00	0,00
40	72,75	19,50	57,76	32,53	32,51	132,81	92,71	0,00	0,00
41	68,15	19,50	56,17	31,63	30,73	92,71	51,17	0,00	0,00
42	63,16	19,50	54,48	30,68	28,66	51,17	8,65	0,00	0,00
43	57,75	19,50	52,68	29,66	26,22	8,65	-34,31	0,00	0,00
44	51,85	19,50	50,73	28,56	23,30	-34,31	-77,00	0,00	0,00
45	42,04	17,85	44,78	25,22	18,22	-77,00	-115,19	0,00	0,00
46	36,58	17,85	43,26	24,36	14,57	-115,19	-151,74	0,00	0,00
47	27,95	17,85	39,08	22,01	9,96	-151,74	-183,85	0,00	0,00
48	20,63	17,85	36,51	20,56	3,93	-183,85	-210,82	0,00	0,00
49	12,90	17,85	32,02	18,03	0,00	-210,82	-232,75	0,00	0,00
50	4,54	17,85	24,62	13,86	0,00	-232,75	-250,60	0,00	0,00



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – Darsena Ovest	123.700 C1 OOA S 006	01	47	47

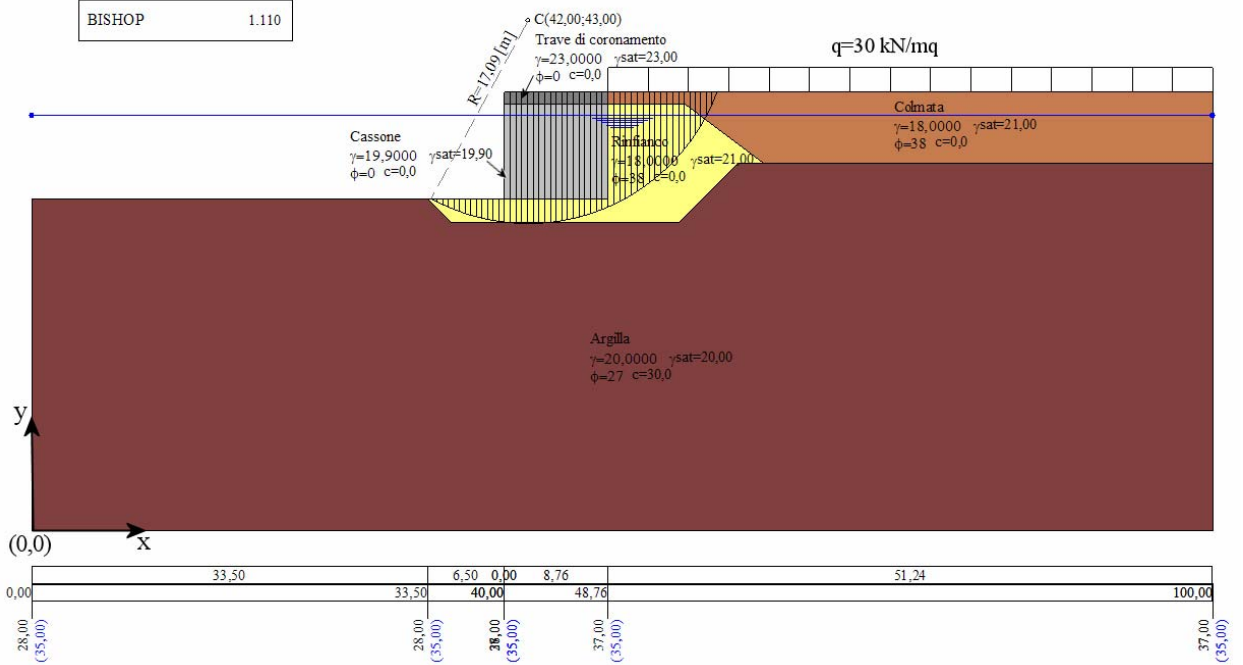


Figura 11 – Superficie critica