

# HUB PORTUALE ravenna



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico centro settentrionale



APPROFONDIMENTO CANALI CANDIANO E BAIONA,  
ADEGUAMENTO BANCHINE OPERATIVE ESISTENTI,  
NUOVO TERMINAL IN PENISOLA TRATTAROLI E  
RIUTILIZZO MATERIALE ESTRATTO IN ATTUAZIONE  
AL P.R.P VIGENTE 2007 - I FASE - PORTO DI RAVENNA

## PROGETTO ESECUTIVO

oggetto

file

codice

scala

Revisione

data

causale

redatto

verificato

approvato

responsabile delle Integrazioni Specialistiche: **Ing. Lucia de Angelis**

responsabile del Procedimento: **Ing. Matteo Graziani**

committente

contraente generale



Autorità di Sistema Portuale  
del Mare Adriatico centro settentrionale

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Centro Settentrionale  
Via Antico Squero, 31  
48122 Ravenna



**Consorzio Stabile  
Grandi Lavori S.c.r.l.**

Consorzio Stabile Grandi Lavori Srl  
Piazza del Popolo 18  
00187 Roma



**Dredging  
International**

DEME - Dredging International NV  
Haven 1025 - Scheldedijk 30  
2070 Zwijndrecht - Belgium

progettisti



Technital S.p.A.  
Via Carlo Cattaneo, 20  
37121 Verona

*Direttore Tecnico*  
**Dott. Ing. Filippo Busola**



F&M Ingegneria SpA  
Via Bevedere 8/10  
30035 Mirano (VE)

*Direttore Tecnico*  
**Dott. Ing. Tommaso Tassi**



SISPI srl  
Via Filangieri 11  
80121 Napoli

*Direttore Tecnico*  
**Dott. Ing. Marco Di Stefano**

## SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	CALCOLO DEL SISTEMA DI DIFESA ELASTICA.....	2
2.1	NAVI DI PROGETTO .....	2
2.2	ENERGIA NORMALMENTE PRODOTTA DURANTE L'ATTRACCO DI UNA NAVE (EN) .....	4
2.3	ENERGIA DI ATTRACCO ANOMALA (EA).....	4
2.4	VELOCITÀ DI ATTRACCO (VB) .....	5
2.5	COEFICIENTE DI BLOCCO (CB).....	7
2.6	COEFFICIENTE DI MASSA AGGIUNTA (CM) .....	8
2.7	COEFFICIENTE DI ECCENTRICITÀ (CE) .....	9
2.8	COEFFICIENTE DI CONFIGURAZIONE DELL'ATTRACCO (CC) .....	10
2.9	COEFFICIENTE DI DEFORMABILITÀ (CS) .....	11
3	DIMENSIONAMENTO PARABORDO DI PROGETTO .....	11
4	DIMENSIONAMENTO DELLE BITTE DI PROGETTO.....	14
4.1	VERIFICA DELLA TRAVE DI CORONAMENTO .....	15
4.2	VERIFICA DELLA BITTA .....	18

## 1 PREMESSA

La presente relazione descrive i nuovi arredi di banchina previsti alla banchina IFA da fornire e porre in opera nell'ambito degli interventi di consolidamento e adeguamento funzionale della banchina.

Il progetto prevede la rimozione degli attuali arredi di banchina (bitte, parabordi e scalette alla marinara) e la fornitura e posa in opera di nuovi arredi di banchina.

In particolare si prevede:

- la fornitura e posa in opera di n. 8 bitte da 1000 kN in acciaio S355J2H EN 10219 CE poste ad interasse reciproco pari a 30.0 m;
- la fornitura e posa in opera di n.2 scalette alla marinara in acciaio inox AISI 316L incassate nella trave di coronamento da collocare nella medesima posizione di rilievo;
- la fornitura e posa in opera di n. 13 parabordi cilindrici in gomma con catenarie in acciaio zincato.

Il progetto definitivo, come rappresentato dal Direttore dell'Esecuzione, ha dimensionato i parabordi nell'ipotesi di utilizzo contemporaneo di n.2 elementi con riferimento alla nave di progetto indicata nella relazione 1114.GEN.N\_Relazione cantierizzazione. In fase di sviluppo del progetto esecutivo si è ritenuto di sottoporre al RUP ed al DE, quale intervento migliorativo, un dimensionamento che considera, a parità di nave di progetto, la condizione estrema di utilizzo di un solo parabordo nella fase di ormeggio/disormeggio come anche suggerito dal PIANC.

Come specificato nel seguito le analisi condotte per i parabordi con riferimento alle tipologie navi che usualmente ormeggiano in tale banchina definiscono valori di energia da assorbire incompatibili con le dimensioni dei parabordi previsti in fase di progettazione definitiva (d,est 1000 mm – d,int 500 mm - L =1500 mm) nell'ipotesi estrema che venga sollecitato un solo elemento.

Si è proceduto pertanto ad effettuare le verifiche su parabordi cilindrici di maggiori dimensioni secondo le linee guida PIANC del 2002 e per la banchina IFA si è optato per la fornitura di parabordi cilindrici aventi d,est 1600 mm – d,int 800 mm - L =2000 mm ritenuta migliorativa dalla Stazione Appaltante.

Si riporta inoltre il dimensionamento delle bitte da 1000 kN previste in progetto.

## 2 CALCOLO DEL SISTEMA DI DIFESA ELASTICA

Durante la manovra di attracco della nave si produce energia cinetica che deve essere assorbita da un idoneo sistema di parabordi.

Ne consegue la necessità di effettuare un dimensionamento che sia conforme alle "Linee guida per la progettazione di sistemi di parabordo: 2002", rilasciato dall'Associazione Internazionale di Navigazione.

Le navi di progetto prese a riferimento per l'attracco alla banchina IFA risultano quelle navi che usualmente ormeggiano in banchina desunte dalla relazione sulla cantierizzazione elaborata in fase di progettazione definitiva.

### 2.1 NAVI DI PROGETTO

Le tipologie di navi considerate nel progetto definitivo e inserite nella relazione di cantierizzazione, anche a valle degli incontri avuti con i vari terminalisti sono di seguito riportate:

## 2. Sintesi degli incontri avuti con i Terminalisti ed ipotesi assunte

Dopo gli incontri avuti con i vari terminalisti, finalizzati a capire il funzionamento delle varie attività e le singole esigenze in termini di gestione degli arrivi e delle partenze delle navi, si è stilato un quadro riassuntivo delle esigenze, inteso come arrivo navi, dei vari terminalisti che si può così riassumere:

TERMINALISTI:	ARRIVI NAVE:
BUNGE Nord	Una nave da 220 m di lunghezza ogni 10 giorni
BUNGE Sud	Due navi da 100 m di lunghezza al mese
ALMA	Una nave da 180 m di lunghezza a settimana
LLOYD	Una nave da 220 m di lunghezza sempre presente in banchina
UNIGRA' (ITALTERMINALI)	Una nave da 190 m di lunghezza a settimana
TERMINAL NORD	Due navi da 200 m circa sempre presenti in banchina
T&C	Traghetto da 200 m presente in banchina a giorni alternati
<b>IFA</b>	<b>Una nave da 220 m sempre presente in banchina</b>
Vecchia Enel Futuro GNL	Quattro navi aggiuntive all'anno, nel primo anno di esercizio della banchina (terminata nel 2021), poi occupazione pressoché totale

Le tipologie di navi per cui sono state effettuate le analisi risultano pertanto:

- **Vessel 1** (*Bulk carriers*): Lunghezza pari a  $L_{max}=220$  m come da Relazione di cantierizzazione cantierizzazione → dwt corrispondente 60.000 t
- **Vessel 2** (*General Cargo Ship*): Lunghezza pari a  $L_{max}=210$  m come da Relazione di cantierizzazione cantierizzazione → dwt corrispondente 40.000 t



BULK CARRIERS							
dwt (t)	M <sub>D</sub> (t)	L <sub>OA</sub> (m)	L <sub>BP</sub> (m)	B (m)	D (m)	F (m)	C <sub>B</sub> ---
400,000	464,000	375	356	62.5	24.0	9.5	0.848
350,000	406,000	362	344	59.0	23.0	9.1	0.848
300,000	350,000	350	333	56.0	21.8	8.6	0.840
250,000	292,000	335	318	52.5	20.5	8.1	0.832
200,000	236,000	315	300	48.5	19.0	7.4	0.833
150,000	179,000	290	276	44.0	17.5	6.8	0.822
125,000	150,000	275	262	41.5	16.5	6.4	0.816
100,000	121,000	255	242	39.0	15.3	5.9	0.817
80,000	98,000	240	228	36.5	14.0	5.4	0.821
60,000	74,000	220	210	33.5	12.8	4.9	0.802
40,000	50,000	195	185	29.0	11.5	4.4	0.791
20,000	26,000	160	152	23.5	9.3	3.5	0.763
10,000	13,000	130	124	18.0	7.5	2.9	0.758



GENERAL CARGO SHIPS							
dwt (t)	M <sub>D</sub> (t)	L <sub>OA</sub> (m)	L <sub>BP</sub> (m)	B (m)	D (m)	F (m)	C <sub>B</sub> ---
40,000	54,500	209	199	30.0	12.5	4.5	0.712
35,000	48,000	199	189	28.9	12.0	4.3	0.714
30,000	41,000	188	179	27.7	11.3	4.1	0.714
25,000	34,500	178	169	26.4	10.7	4.0	0.705
20,000	28,000	166	158	24.8	10.0	3.8	0.697
15,000	21,500	152	145	22.6	9.2	3.5	0.696
10,000	14,500	133	127	19.8	8.0	3.2	0.703
5,000	7,500	105	100	15.8	6.4	2.7	0.724
2,500	4,000	85	80	13.0	5.0	2.3	0.750

## 2.2 ENERGIA NORMALMENTE PRODOTTA DURANTE L'ATTRACCO DI UNA NAVE (EN)

L'energia cinetica di una nave in movimento è calcolata come:

$$E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2$$

dove

E = energia cinetica della stessa nave [kJm]

M = massa della nave (pari allo spostamento dell'acqua) [t]

v = velocità della nave in avvicinamento alla banchina [m/s]

Nella manovra di attracco, l'energia di progetto che deve essere assorbita dal parabordo è ottenuta come:

$$E_d = f \cdot E = \frac{1}{2} \cdot M \cdot v^2 \cdot C_e \cdot C_m \cdot C_s \cdot C_c$$

dove

E<sub>N</sub> = La normale energia di attracco che deve essere assorbita dal parabordo (kJm)

M = Massa della nave (dislocamento in tonnellate) al livello di confidenza stabilito. <sup>1</sup>

V = velocità di avvicinamento perpendicolare alle linea di attracco <sup>2</sup> (m/s).

C<sub>M</sub> = Coefficiente di massa aggiunta

C<sub>E</sub> = coefficiente di eccentricità

C<sub>C</sub> = coefficiente della configurazione di attracco

C<sub>S</sub> = coefficiente di deformabilità

## 2.3 ENERGIA DI ATTRACCO ANOMALA (EA)

Talvolta possono determinarsi condizioni di impatto anomalo ad esempio per errori umani, mal funzionamenti, condizioni atmosferiche eccezionali o una combinazione di questi fattori.

L'energia anomala che deve essere assorbita dai parabordi può essere calcolata come segue:

$$E_A = F_S \times E_N$$

dove,

E<sub>A</sub> = energia di attracco anomala che deve essere assorbita dai fender (kJm)

<sup>1</sup> Il PIANC suggerisce 50% o 75% come limiti di confidenza (M50 o M75) appropriate nella maggior parte dei casi.

<sup>2</sup> La velocità di avvicinamento (VB) è solitamente basata su una misurazione del 50% del limite di confidenza (M50). La velocità di avvicinamento (VB) è solitamente basata su una misurazione del 50% del limite di confidenza (M50).

$F_s$  = fattore di sicurezza per l'attracco anomalo

Il PIANC ha fornito le indicazioni riportate in tabella per indicare i fattori di sicurezza da applicare nei calcoli in funzione delle diverse tipologie di navi in condizioni di accosto anomalo.

Table 1 PIANC factors of safety $F_s$		
Type of Berth Impact	Vessel	Factory for Abnormal Impact Applied to Berthing Energy (Cab)
Tanker and Bulk Cargo	Largest	1,25
	Smallest	1,75
Container	Largest	1,50
	Smallest	2,00
General Cargo		1,75
Ro-Ro and Ferries		2.0 or higher
Tugs, Work Boast, etc.		2,00

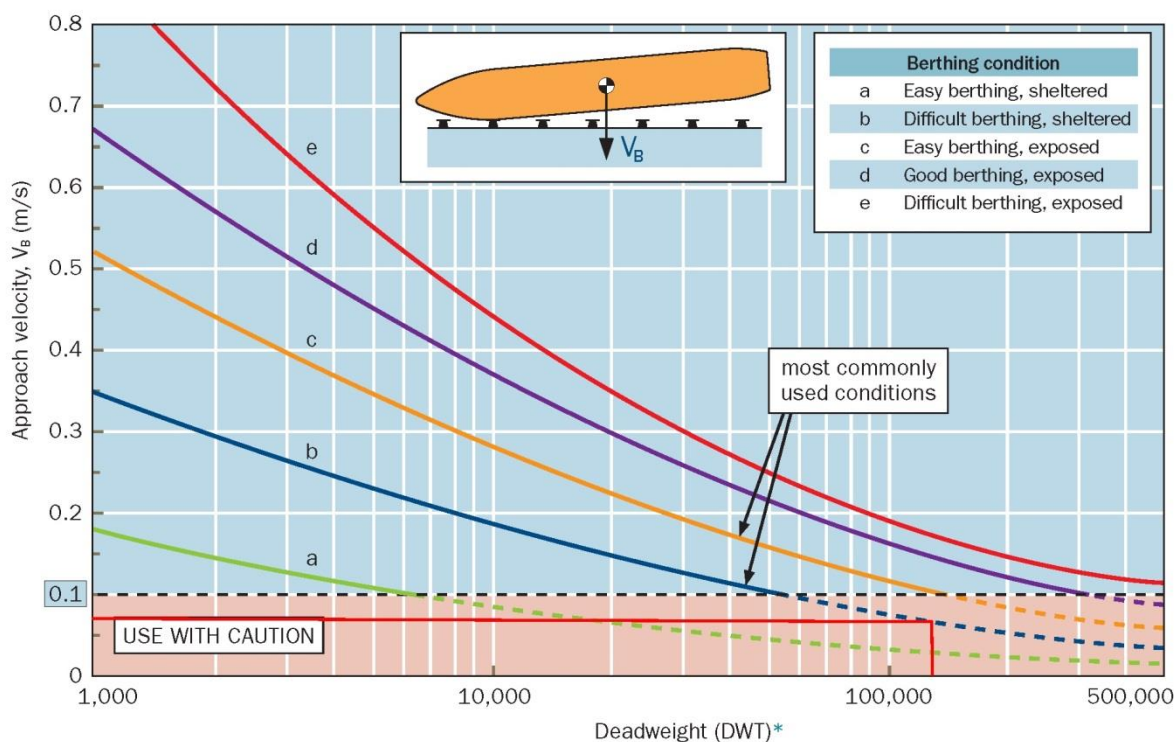
Fonte: PIANC 2002; Conseguenze che un calcolo sbagliato dei fender può avere sulle operazioni di attracco.

Il PIANC sottolinea che “i fattori di impatto anomalo, se presenti, non devono essere inferiori ad 1.1 né superiori a 2.0, tranne in casi di circostanze eccezionali”.

## 2.4 VELOCITÀ DI ATTRACCO (VB)

La velocità di attracco dipende dalla difficoltà riscontrata nella manovra, dalla disposizione dell'ormeggio e dalle dimensioni della nave.

Tutte le possibili condizioni sono solitamente suddivise in 5 categorie, come mostrato nella figura.



Fonte: Progettazione di parabordi: stampato dalla Trelleborg AB, 2007

Dove individuiamo la denominazione delle diverse condizioni di attracco secondo la seguente tabella:

Condizioni d'ormeggio

a	Ormeggio facile, protetto
b	Ormeggio difficile, protetto
c	Ormeggio facile, esposto
d	Ormeggio ottimale, esposto
e	Ormeggio difficile, esposto

Nel caso in esame si è utilizzata la curva "a" considerando un velocità di attracco ( $V_B$  da 0.10 m/sec), in modo da ottenere un sistema di parabordo idoneo.



## 2.5 COEFFICIENTE DI BLOCCO (CB)

Il coefficiente di blocco ( $C_B$ ) è una funzione della carena che viene espresso dalla seguente espressione:

$$C_B = \frac{M}{L_{BP} \times B \times D \times \rho_{sw}}$$

dove,

M = dislocamento della nave (t)

$L_{BP}$  = lunghezza tra le perpendicolari (m)

B = Larghezza (m)

D = pescaggio (m)

$\rho_{sw}$  = densità dell'acqua marina  $\approx 1.025\text{t/m}^3$

Typical block coefficients ( $C_B$ )	
Container vessels	0.6-0.8
General Cargo and bulk carriers	0.72-0.85
Tankers	0,059
Ferries	0.55-0.65
Ro-Ro vessels	0.7-0.8
<i>Source: PIANC 2002; TABLE 4.2.2</i>	



## 2.6 COEFFICIENTE DI MASSA AGGIUNTA (CM)

Il coefficiente di massa aggiuntiva consente di tenere conto della massa virtuale dell'acqua coinvolta nel movimento della nave, in aggiunta a quella vera e propria della nave stessa.

Difatti, assieme alla nave si muove anche una massa d'acqua  $M_w$ , ed, in genere, per il calcolo del coefficiente indicato viene fornita la formula seguente:

$$C_M = \frac{M_s + M_w}{M_s}$$

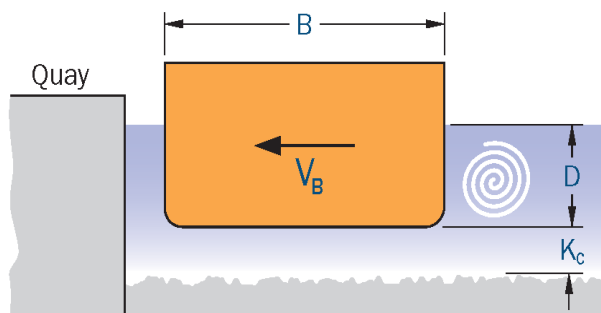
in cui:

$M_s$  è la massa della nave;

$M_w$  è la massa dell'acqua.

Tale coefficiente dipende dalle dimensioni della nave e varia con la larghezza, il pescaggio ed il franco sottochiglia.

Nel caso in esame si determinerà il Coefficiente di massa aggiunta secondo il metodo Vasco Costa che viene normalmente utilizzato quando la profondità dell'acqua non supera di molto il pescaggio della nave.



PIANC (2002)	Shigera Ueda (1981)	Vasco Costa* (1964)
for $\frac{K_c}{D} \leq 0.1$ $C_M = 1.8$	$C_M = \frac{\pi \times D}{2 \times C_B \times B}$	$C_M = 1 + \frac{2D}{B}$
for $0.1 \leq \frac{K_c}{D} \leq 0.5$ $C_M = 1.875 - 0.75 \left[ \frac{K_c}{D} \right]$		
for $\frac{K_c}{D} \geq 0.5$ $C_M = 1.5$		

where,

D = draft of vessel (m)

B = beam of vessel (m)

$L_{BP}$  = length between perpendiculars (m)

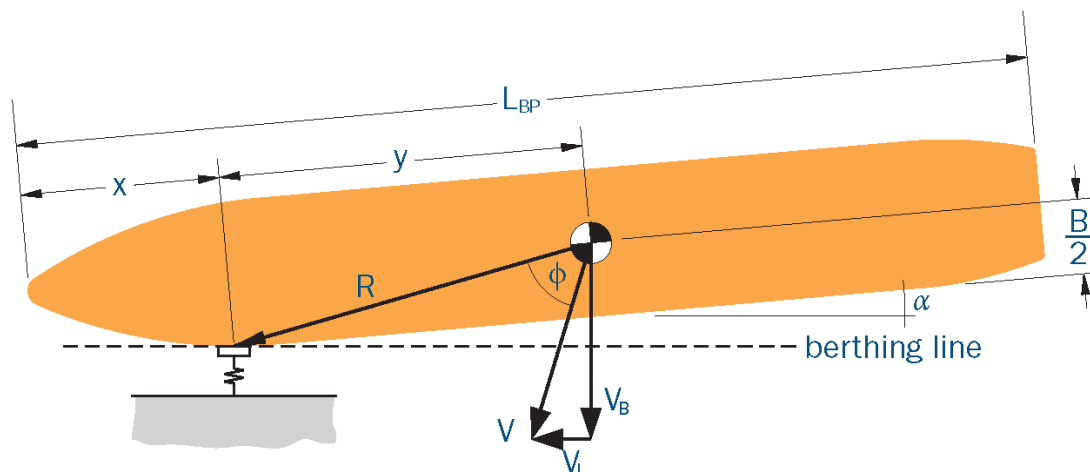
$K_c$  = under keel clearance (m)

\* valid where  $V_B \geq 0.08m/s$ ,  $K_c \geq 0.1D$

Fonte: *Progettazione di parabordi: stampato dalla Trelleborg AB, 2007*

## 2.7 COEFFICIENTE DI ECCENTRICITÀ (CE)

Il coefficiente di eccentricità tiene conto dell'energia dissipata dalla rotazione della nave nel punto di impatto con i parabordi.  $C_E$  varia tra 0.3 e 1.0 a seconda dei diversi tipi di ormeggio in quanto la velocità ( $V$ ) non è sempre perpendicolare alla linea di ormeggio.



$V_L$  = longitudinal velocity component (forward or astern)

Fonte: FENDER DESIGN smpato da Trelleborg AB, 2007

Poniamo:

$$x+y = 0.5 \times L_{BP}$$

$$R = \sqrt{y^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2}$$

$$K = (0.19 \times C_B + 0.11) \times L_{BP}$$

Il coefficiente di eccentricità sarà calcolato con la relazione:

$$C_E = \frac{K^2 + R^2 \cos^2 \phi}{K^2 + R^2}$$

dove,

B = Larghezza della nave (m)

$C_B$  = coefficiente di blocco

$L_{BP}$  = lunghezza tra le perpendicolari (m)

R = centro della massa nel punto di impatto (m)

K = raggio di girata (m)

Per semplificare, il PIANC considera  $\varphi$  di 90 gradi. Per cui l'espressione diventa:

$$C_E = \frac{K^2}{K^2 + R^2}$$

## 2.8 COEFFICIENTE DI CONFIGURAZIONE DELL'ATTRACCO (CC)

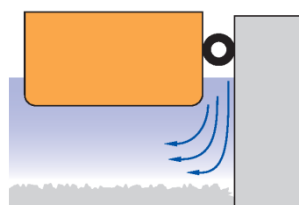
Il coefficiente di configurazione dell'attracco dipende dalla tipologia di struttura adibita all'accosto, e varia a seconda questa risultati di tipo aperto (come ad esempio un impalcato su pali) oppure di tipo chiuso (cassoni/paratie).

Quando le navi attraccano con angoli acuti alle strutture solide, l'acqua tra la carena e la banchina fa da cuscino e disperde una piccola quantità di energia durante l' attracco.

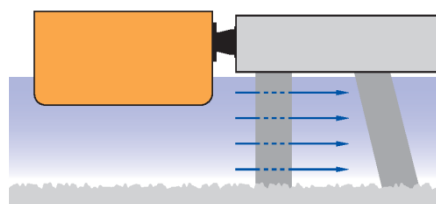
PIANC recommends the following values:

$C_c = 1.0$	<ul style="list-style-type: none"> <li>   Open structures including berth corners</li> <li>   Berthing angles &gt; 5°</li> <li>   Very low berthing velocities</li> <li>   Large underkeel clearance</li> </ul>
$C_c = 0.9$	<ul style="list-style-type: none"> <li>   Solid quay structures</li> <li>   Berthing angles &gt; 5°</li> </ul>

Closed structure



Semi-closed structure



## 2.9 COEFFICIENTE DI DEFORMABILITÀ (CS)

Questo fattore è determinato dal rapporto tra l'elasticità del fender e quella dello scafo della nave, che assorbe pertanto una frazione dell' energia in gioco. Per sicurezza è stato assunto il valore di  $C_s=1$ , utilizzato per dissipatori ad alta deformabilità.

$C_s = 1.0$	Soft fenders ( $\delta_f > 150\text{mm}$ )
$C_s = 0.9$	Hard fenders ( $\delta_f \leq 150\text{mm}$ )

## 3 DIMENSIONAMENTO PARABORDO DI PROGETTO

Le analisi condotte per le due navi di progetto sopra definite con riferimento alle linee guida del PIANC definiscono i seguenti valori di energia di assorbimento per cui dimensionare i parabordi di progetto:

### Vessel details :

Vessel type	Vessel1
Ship type	Bulk Carriers / OBO's
Dimension by	DWT
DWT(t)	60000
Displacement(t)	74000
Length of ship(m)	220
Length between perpendiculars(m)	210
Beam(m)	33.5
Laden draft(m)	12.8
Block coefficient ( $C_B$ )	0.802
Free board(m)	4.9

### Berthing scenario :

Approach	Side berthing
Type of structure	Closed structure
Berthing angle(°)	10
Distance from bow to point of impact(%)	25
Under keel clearance(m)	1.70
Added mass calculation method	Vasco costa
Added mass coefficient	1.76
Eccentricity coefficient	0.61
Berth configuration coefficient	1
Softness factor	1
Radius of gyration(K)	55.10
Impact of center of mass(R)	55.11

## Speed :

Berthing condition	Difficult berthing sheltered
Berthing velocity(m/s)	0.10 *
Normal energy ( $E_n$ )(kNm)	397.23
Safety factor	1.25
Abnormal energy ( $E_a$ )(kNm)	496.53

## Vessel details :

Vessel type	Vessel2
Ship type	Cargo Vessels
Dimension by	DWT
DWT(t)	40000
Displacement(t)	54500
Length of ship(m)	209
Length between perpendiculars(m)	199
Beam(m)	30
Laden draft(m)	12.5
Block coefficient ( $C_B$ )	0.713
Free board(m)	4.5

## Berthing scenario :

Approach	Side berthing
Type of structure	Closed structure
Berthing angle(°)	10
Distance from bow to point of impact(%)	25
Under keel clearance(m)	2
Added mass calculation method	Vasco costa
Added mass coefficient	1.83
Eccentricity coefficient	0.58
Berth configuration coefficient	1
Softness factor	1
Radius of gyration(K)	48.85
Impact of center of mass(R)	51.96

## Speed :

Berthing condition	Difficult berthing sheltered
Berthing velocity(m/s)	<b>0.10 *</b>
<b>Normal energy (<math>E_n</math>)(kNm)</b>	<b>289.23</b>
Safety factor	1.75
<b>Abnormal energy (<math>E_a</math>)(kNm)</b>	<b>506.15</b>

Il valore di energia di assorbimento di progetto risulta pertanto pari a 506.15 kN m.

Con riferimento alla seguente tabella riepilogativa delle energie di assorbimento di parabordi cilindrici in gomma si prevede di utilizzare per la banchina IFA parabordi cilindrici in gomma aventi diametro esterno pari a 1600 mm, diametro interno pari a 800 mm e larghezza pari a 2000 mm.

### CYLINDRICAL FENDER DIMENSIONS & PERFORMANCE

OD x ID (mm)	OD/ID	R (kN)	E (kNm)	P (kNm <sup>2</sup> )	€	Weight (kg/m)	
100 x 50	0.50	43	0.8	547	0.019	7.0	Extruded
125 x 65	0.52	51	1.3	500	0.025	10.6	
150 x 75	0.50	65	1.8	552	0.028	15.6	
175 x 75	0.43	92	2.7	781	0.029	23.2	
200 x 90	0.45	98	3.5	693	0.036	29.6	
200 x 100	0.50	86	3.3	547	0.038	27.8	
250 x 125	0.50	108	5.1	550	0.047	43.4	
300 x 150	0.50	129	7.4	547	0.057	62.6	
380 x 190	0.50	164	11.8	550	0.072	100.4	
400 x 200	0.50	172	13.1	547	0.076	111.2	
450 x 225	0.50	194	16.6	549	0.086	140.8	
500 x 250	0.50	275	28	700	0.102	175	
600 x 300	0.50	330	40	700	0.121	253	
700 x 400	0.57	325	52	517	0.160	309	
750 x 400	0.53	380	61	605	0.161	377	
800 x 400	0.50	440	72	700	0.164	449	
875 x 500	0.57	406	81	517	0.200	482	
925 x 500	0.54	461	93	587	0.202	567	
1000 x 500	0.50	550	112	700	0.204	702	
1050 x 600	0.57	487	117	517	0.240	695	
1100 x 600	0.55	541	131	574	0.242	795	
1200 x 600	0.50	660	162	700	0.245	1010	
1200 x 700	0.58	542	151	493	0.279	889	
1300 x 700	0.54	650	184	591	0.283	1122	
1300 x 750	0.58	595	178	505	0.299	1055	
1400 x 700	0.50	770	220	700	0.286	1375	
1400 x 750	0.54	705	214	598	0.304	1307	
1400 x 800	0.57	649	208	516	0.320	1235	
1500 x 750	0.50	825	253	700	0.307	1579	
1500 x 800	0.53	760	246	605	0.324	1506	
<b>1600 x 800</b>	<b>0.50</b>	<b>880</b>	<b>288</b>	<b>700</b>	<b>0.327</b>	<b>1796</b>	
1600 x 900	0.56	757	273	535	0.361	1637	
1650 x 900	0.55	812	295	574	0.363	1789	
1750 x 900	0.51	929	340	657	0.366	2107	
1750 x 1000	0.57	811	325	516	0.401	1929	
1800 x 900	0.50	990	364	700	0.368	2273	
1850 x 1000	0.54	921	372	586	0.404	2266	
2000 x 1000	0.50	1101	450	701	0.409	2806	
2000 x 1200	0.60	871	415	462	0.476	2395	
2100 x 1200	0.57	974	467	517	0.479	2778	
2200 x 1200	0.55	1083	524	575	0.484	3180	
2400 x 1200	0.50	1321	647	701	0.490	4041	

Considerato che l'energia di assorbimento del parabordo è pari a 288 kN m/m, considerando una larghezza dell'elemento pari a 2.0 m l'energia di assorbimento complessiva risulta pari a 576 kN m e pertanto la verifica risulta pienamente soddisfatta ( $576 \text{ kN m} > 506.15 \text{ kN m}$ ).

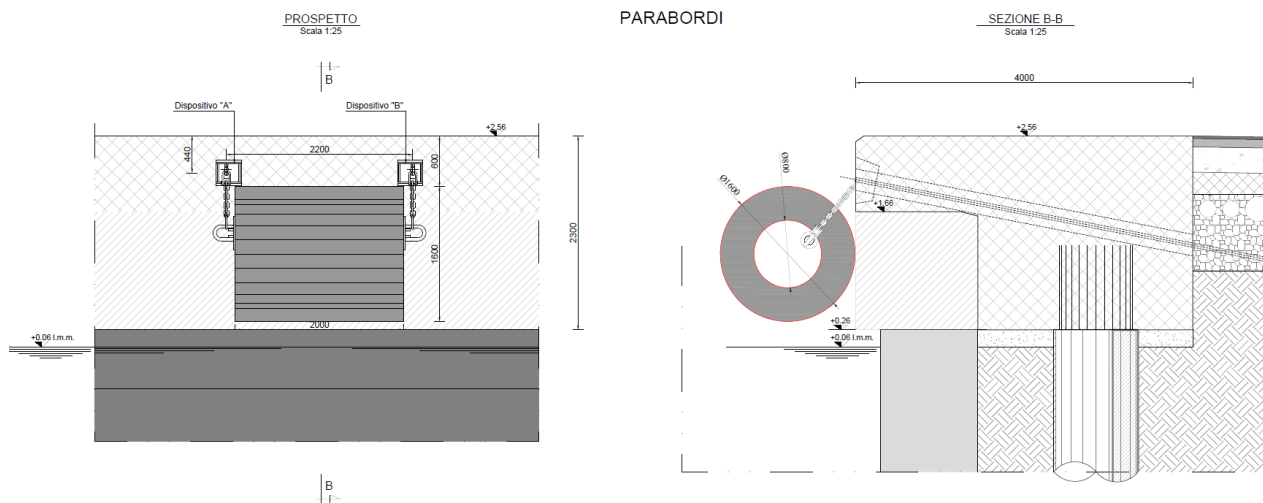


Figura 1 – Parabordo di progetto banchina IFA

#### 4 DIMENSIONAMENTO DELLE BITTE DI PROGETTO

La trave di coronamento risulta sottoposta alle sollecitazioni indotte dal tiro delle bitte, per il quale si considera una componente orizzontale ortogonale alla banchina pari a 1000 kN (valore caratteristico).

La trave di coronamento presenta un'altezza di 2.30 m ed una larghezza di 4.00 m.

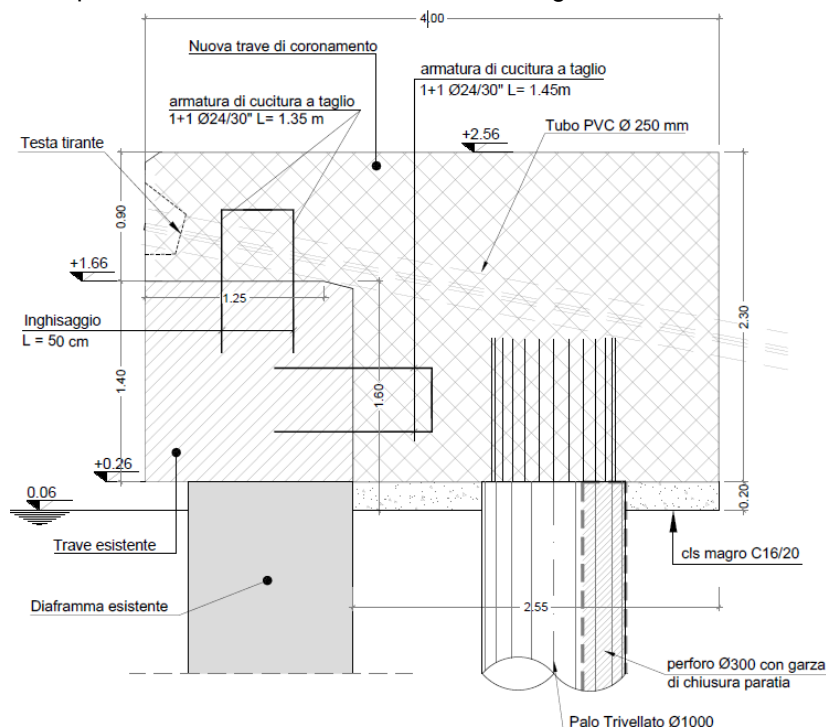


Figura 2 – Particolare trave di coronamento



I calcoli e le verifiche sono stati eseguiti con l'ausilio dei codici di calcolo SAP2000 per quanto riguarda l'analisi della sollecitazione, con il software open source VCASlu del Prof. Piero Gelfi per la verifica a momento flettente della sezione in c.a..

Nel piano orizzontale della banchina la trave di coronamento è stata schematizzata come una trave continua di dimensioni  $2,30 \times h = 4,00$  m vincolata con molle elastiche (tiranti di ancoraggio) disposte ad interasse costante di 1,50 m e caricata orizzontalmente dal tiro alla bitta ( $F = 1.000$  kN).

La rigidezza delle molle, in analogia con quanto previsto dal progetto definitivo posto a base d'appalto, è stata calcolata come segue:

$$E = 210.000 \text{ N/mm}^2$$

$$A = 1.735 \text{ mm}^2 (\Phi 47)$$

$$L = 15,00 \text{ m}$$

$$k = EA/L = 24.290 \text{ kN/m}$$

$$\xi = 11^\circ$$

$$k_m = 24.290 \times \cos 11^\circ = 23.844 \text{ kN/m}$$

Nella figura seguente è riportato lo schema di calcolo sopra descritto.

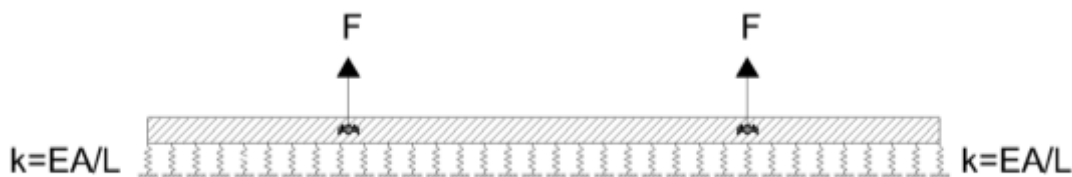


Figura 3 - Schema di calcolo trave di coronamento

#### 4.1 VERIFICA DELLA TRAVE DI CORONAMENTO

Le verifiche statiche allo Stato Limite Ultimo sono state condotte in accordo con le NTC2018

Dalla risoluzione delle strutture si ottengono i seguenti valori delle caratteristiche di sollecitazione:

$$M_{ed} = 4144 \text{ kNm}$$

$$V_{ed} = 656.84 \text{ kN}$$

La trave è realizzata in calcestruzzo classe di resistenza C35/45 ed armata con barre longitudinali  $\varnothing 20$  e staffe  $\varnothing 12/30$ . Di seguito si riporta una vista in sezione dell'armatura della trave oggetto di analisi.

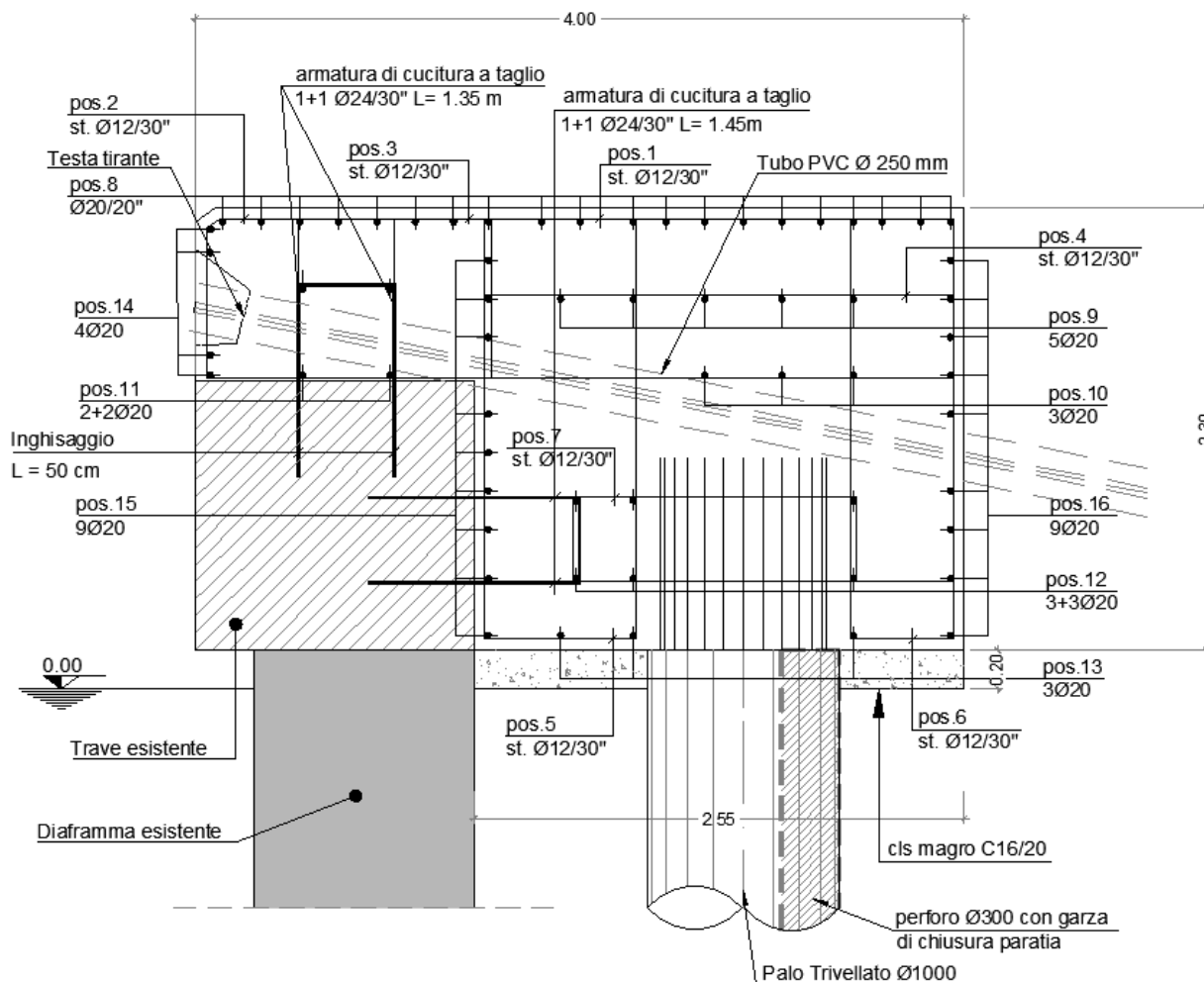


Figura 4 - Armatura nuova trave di coronamento

Ai fini delle verifiche di resistenza è stato trascurato il contributo offerto dalla trave esistente. Ai fini del calcolo del momento resistente della trave nel piano orizzontale a vantaggio di sicurezza sono state considerate le sole posizioni 14-15 e 16 delle armature rappresentate in figura Figura 4.

La sezione in c.a. così armata presenta dunque un momento resistente pari a

$$M_{rd} = 4895 \text{ kNm}$$

La sezione della trave di coronamento è dunque verificata agli SLU con coefficiente di sicurezza.

$$\eta = M_{rd}/M_{ed} = 1.18$$

Si prevede inoltre la posa in opera di apposita armatura di frettaggio in corrispondenza di ciascuna bitta come rappresentato nell'immagine seguente.

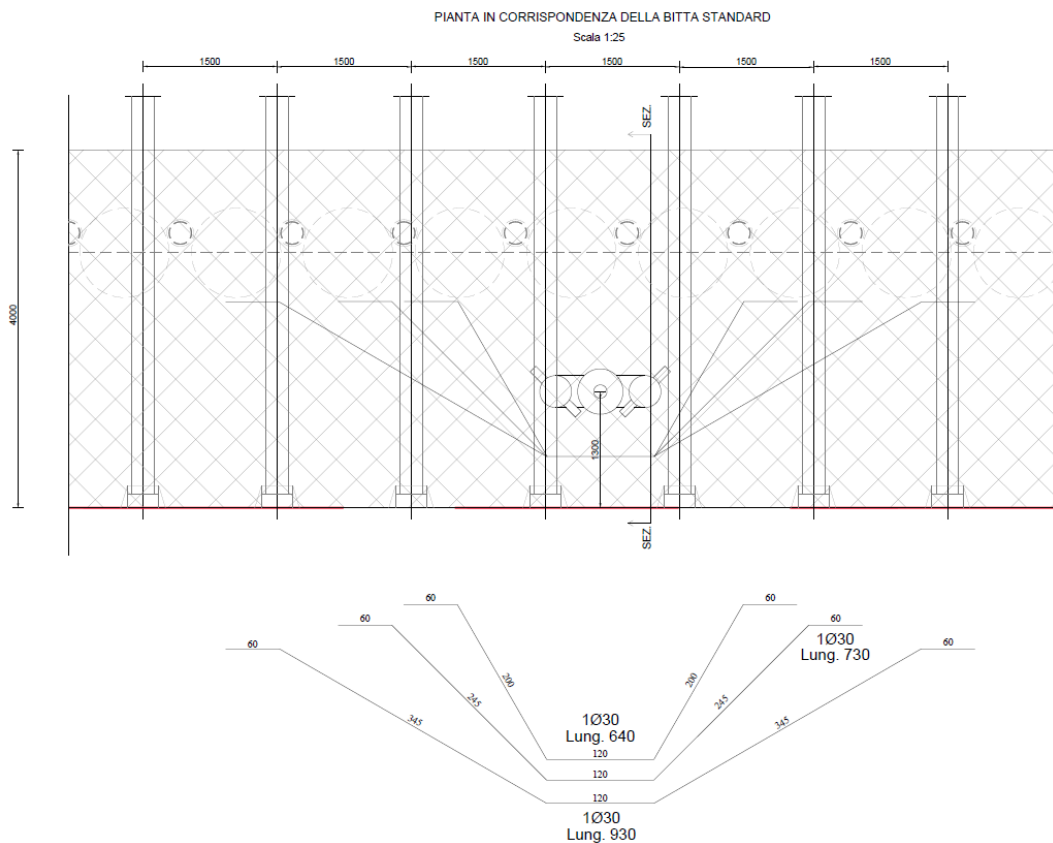


Figura 5 – Armatura di frettaggio

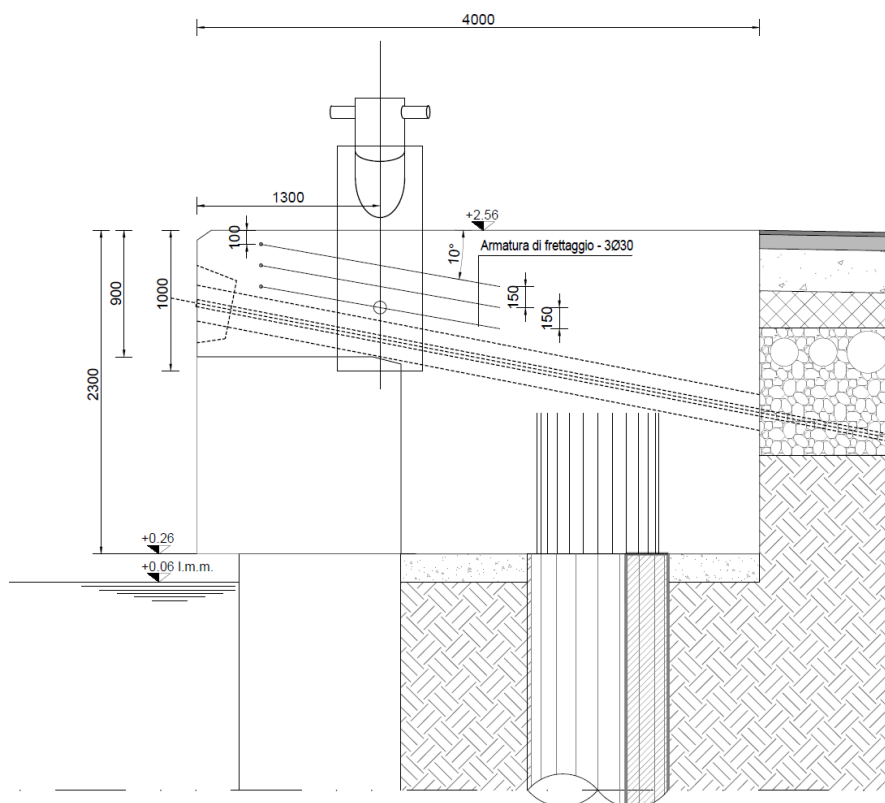


Figura 6 – Sezione sulla bitta d'ormeggio

## 4.2 VERIFICA DELLA BITTA

La sezione resistente della bitta è costituita da un profilo cavo in acciaio S355 del diametro esterno di 610 mm e spessore di 15 mm riempito di calcestruzzo ed armata con un'armatura minima costituita da 18 $\phi$ 20. Si considera resistente la sola sezione in acciaio, che presenta le seguenti caratteristiche geometriche:

$$A = 280 \text{ cm}^2$$

$$W = 4070 \text{ cm}^3$$

$$J = 124159 \text{ cm}^4$$

Il momento resistente della sezione risulta valere ( $f_{yd} = f_{yk}/1.05 = 338 \text{ N/mm}^2$ ):

$$M_{rd} = f_{yd} * W = 1376 \text{ kNm}$$

La verifica di resistenza fornisce:

$$M_{rd} = 1376 \text{ kNm} > M_{sd} 1050 \text{ kNm (SLU)}$$