

VISTI E APPROVAZIONI:



**Autorità di Sistema Portuale
del Mare Adriatico Meridionale**

PORTO DI BRINDISI

PROGETTO DEFINITIVO

**POTENZIAMENTO DEGLI ORMEGGI NAVI RO - RO A COSTA MORENA OVEST
REALIZZAZIONE DI UN PONTILE CON BRICCOLE**

IL PRESIDENTE:

IL SEGRETARIO GENERALE:

IL DIRIGENTE AREA TECNICA:

IL PROGETTISTA:

Prof. Ing. Alessandro TOGNA



IL COORD.RE SICUREZZA PROG.:

Prof. Ing. Alessandro TOGNA

IL RESP.LE DEL PROCEDIMENTO:

IL DIRETTORE DEI LAVORI:

IL COORD.RE SICUREZZA ESEC.:

ELABORATO N.:

ELABORATO:

**RELAZIONE TECNICA
AZIONI SULLE BRICCOLE**

R03

DATA :

NOVEMBRE 2018

AGGIORNAMENTO NORMATIVO

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

**AUTORITÀ DI SISTEMA PORTUALE DEL MARE ADRIATICO
 MERIDIONALE - PORTO DI BRINDISI**

**POTENZIAMENTO DEGLI ORMEGGI NAVI RO-RO A COSTA MORENA
 OVEST - REALIZZAZIONE DI UN PONTILE CON BRICCOLE**

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE TECNICA: AZIONI SULLE BRICCOLE

Indice

1	Premesse	2
2	Flotta di progetto.....	3
3	Metodologia per la valutazione delle azioni sulla briccola.....	4
3.1	Azioni dovute al vento	4
3.2	Calcolo delle forze di ormeggio	4
3.3	Energia di accosto in fase di ormeggio	5
3.4	Azioni dovute al moto ondoso.....	7
4	Calcolo delle azioni di progetto	9
4.1	Energia di accosto e reazione esercitata dai fender	10
4.2	Azioni dovute al moto ondoso.....	13
4.3	Azioni dovute al vento	14
4.4	Calcolo della resistenza del sistema di ormeggio e capacità delle bitte	15
5	Riepilogo delle azioni agenti sulle briccole di ormeggio.....	17

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

1 Premesse

La presente relazione riporta le linee guida che hanno consentito di definire le caratteristiche tecniche del terminale per navi tipo RO/RO e RO/PAX previsto presso la banchina di Costa Morena Ovest nel Porto di Brindisi.

Il terminale è destinato a navi RO/RO con rampe di carico/scarico poste a poppa e prevede l'ormeggio delle navi in senso trasversale alla banchina esistente con la poppa rivolta verso terra. Le navi si vengono ad affiancare ad una serie di sei briccole di ormeggio disposte lungo un asse ortogonale al ciglio di banchina con interasse di 30 m, eccetto la più distante dal ciglio banchina che ha interasse di 58 m. Sulle briccole di ormeggio sono stati posizionati i fender per l'assorbimento degli impatti della nave e le bitte per assicurare l'ormeggio delle navi anche in condizioni più estreme di esercizio.

Dal punto di vista strutturale la soluzione qui proposta prevede che le briccole siano costituite da sei pali verticali in acciaio con irrigidimenti costituiti da travi reticolari.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

2 Flotta di progetto

In Tabella 2-1 sono riportate le principali grandezze delle navi RO-RO che attualmente servono il porto di Brindisi.

Per il seguente studio sono state utilizzate le dimensioni caratteristiche delle navi tipo RO-RO riportate in Tabella 2-2, desunte dalle tabelle con le dimensioni delle navi indicate dal PIANC. Le grandezze presentate fanno riferimento ad un intervallo di confidenza pari al 75%. Le tabelle fornite dal PIANC riportano, oltre alle dimensioni caratteristiche delle navi, i valori dell'area laterale e trasversale esposta all'azione del vento in condizioni di pieno carico ed in condizioni di zavorramento.

Tabella 2-1. Dimensioni caratteristiche delle navi RO-RO che servono attualmente il porto di Brindisi.

	GT	Loa	B	Full draft
	[t]	[m]	[m]	[m]
RED STAR ONE	5678	99.5	18.30	4.40
IONIAN SPIRIT	4299	109.0	17.20	4.60
ELLY T.	12338	130.0	23.50	5.10
IONIAN QUEEN	19796	192.90	29.40	6.75

Tabella 2-2. Dimensioni caratteristiche delle navi RO-RO con intervallo di confidenza 75% (fonte PIANC)

GRT [t]	DT [t]	Loa [m]	Lbp [m]	B m]	Full free board[m]	max draft [m]	wind area [m ²]			
							lateral		front	
							full load	ballast	full load	ballast
1000	2190	73	66	14	2.7	3.5	880	970	232	232
2000	4150	94	86	16.6	3.9	4.5	1210	1320	314	323
3000	6030	109	99	18.3	4.7	5.3	1460	1590	374	391
5000	9670	131	120	20.7	6.1	6.4	1850	2010	467	497
7000	13200	148	136	22.5	7.3	7.2	2170	2350	541	583
10000	18300	169	155	24.6	8.8	8.2	2560	2760	632	690
15000	26700	196	180	27.2	10.7	9.6	3090	3320	754	836
20000	34800	218	201	29.1	12.4	10.7	3530	3780	854	960
30000	50600	252	233	32.2	15.2	12.4	4260	4550	1020	1160

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

3 Metodologia per la valutazione delle azioni sulla briccola

Nel presente capitolo sono riportate le metodologie di calcolo e i riferimenti utilizzati per determinare le azioni cui sono soggette le strutture di ormeggio del terminale marittimo.

Tali azioni sono dovute principalmente al vento che agisce sulla superficie delle navi, alla corrente, alle maree e all'energia cinetica propria della nave durante le fasi di accosto. Nel caso in esame il regime di marea e la conformazione del porto di Brindisi consentono di trascurare le correnti e le escursioni di marea. Pertanto per determinare le sollecitazioni di progetto è possibile far riferimento solo all'azione del vento e del moto ondoso e all'energia di impatto durante le fasi di accosto.

3.1 Azioni dovute al vento

Il calcolo della forza F_w esercitata dal vento sulla nave è può essere effettuato in prima approssimazione con la formula:

$$F_w = C_w \rho_w A \frac{U_w^2}{2g} \quad [\text{kN}]$$

dove:

- U_w è la velocità del vento espresso in m/s;
- A è la superficie della nave investita dal vento espressa in m^2 , nel caso di vento laterale viene considerata l'area laterale A_L della nave mentre nel caso di vento frontale viene utilizzata l'area trasversale A_T ;
- ρ_w è la densità dell'aria pari a 0.01225 kN/m^3 ;
- g è l'accelerazione di gravità pari a 9.81 m/s^2 ;

Il coefficiente C_w dipende dalla forma della nave, in mancanza di dati specifici è solito assegnare al coefficiente il valore di 0.9 per vento in prua e 1.3 per vento al traverso.

3.2 Calcolo delle forze di ormeggio

Per assicurare, anche in condizioni estreme, un ormeggio sicuro per la nave è necessario che la resistenza complessiva fornita dalle cime di ormeggio non sia inferiore alle forze agenti sulla nave, in questo caso alla massima azione dovuta alla spinta del vento.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

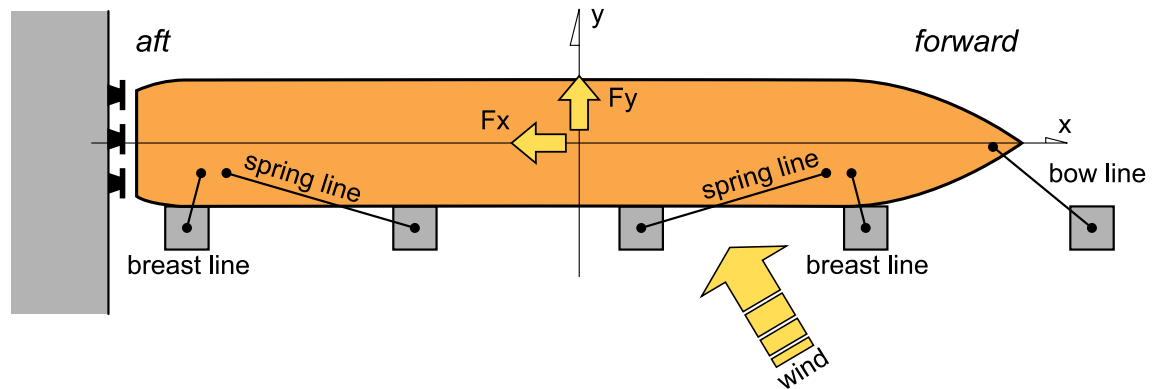


Figura 3-1. Schema di calcolo per l'azione del vento con indicazione delle cime di ormeggio.

Per effettuare il calcolo delle resistenze delle cime di ormeggio si è fatto riferimento alla procedura di calcolo proposta dal OCIMF per la navi tipo tanker.

Con riferimento allo schema di ormeggio illustrato in Figura 3-1, la resistenza alle forze trasversali che agiscono sulla nave viene affidata interamente alle *breasting lines*, mentre la resistenza alle forze longitudinali viene affidata esclusivamente alle *spring lines*. Nel calcolo non viene tenuto conto del contributo dato dalle cime “alla lunga” (*bow line*).

Il calcolo della resistenza offerta dal sistema di ormeggio viene effettuato verificando che la tensione applicata sulla cima maggiormente caricata non superi il 55% del carico minimo di rottura (MBL).

Considerando un'efficienza pari al 70% per le *breasting lines* e una efficienza pari al 90% per le *spring lines* è possibile determinare in prima approssimazione la resistenza del gruppo di cime di ormeggio utilizzando le seguenti espressioni:

$$R_{x,max} = 0.55 \cdot 0.9 \cdot S \cdot MBL$$

$$R_{y,max} = 0.55 \cdot 0.7 \cdot BR \cdot MBL$$

Dove S e BR rappresentano rispettivamente il numero di cime di ormeggio appartenenti al gruppo delle *spring lines* e delle *breast lines*.

3.3 Energia di accosto in fase di ormeggio

Durante la fase di accosto della nave una parte della sua energia cinetica viene assorbita dai fender presenti sulle briccole di ormeggio. La conoscenza di tale energia di accosto consente di scegliere il tipo di fender più idoneo e di valutare la reazione esercitata dal fender necessaria per il corretto dimensionamento delle briccole di ormeggio.

Il calcolo dell'energia E_f che i fender devono assorbire è stato effettuato utilizzando l'approccio proposto dal PIANC utilizzando la seguente formula:

$$E_f = C_H \cdot C_E \cdot C_C \cdot C_S \cdot (0.5 \cdot M_d \cdot V^2) \quad [\text{kNm}]$$

dove:

- V: è la velocità di accosto della nave, che dipende dalle condizioni meteomarine e dalla presenza o meno dei rimorchiatori;

- M_d : è il dislocamento (la massa) della nave;
- C_H : è il coefficiente di massa aggiunta che tiene conto del volume di acqua che si muove assieme alla nave, nei calcoli effettuati è stato determinato con la formula di Vasco Costa;
- C_E : è il coefficiente di eccentricità che tiene conto dell'energia spesa dalla nave per effettuare la rotazione rispetto al punto di contatto. Con riferimento alla Figura 3-2 il coefficiente di eccentricità è funzione del raggio di inerzia della nave, dell'angolo di approccio α , del raggio R che unisce il centro di massa della nave e il punto di contatto, e dell'angolo Φ formato tra la velocità e il raggio R ;
- C_C : è il coefficiente di assorbimento dell'acqua dietro il parabordo, che nel caso di strutture aperte, vale 1.0;
- C_S : è il coefficiente di flessibilità che tiene conto dell'assorbimento di energia dovuto alla deformazione della chiglia della nave contro i fender e può valere tra 0.9 e 1.0.

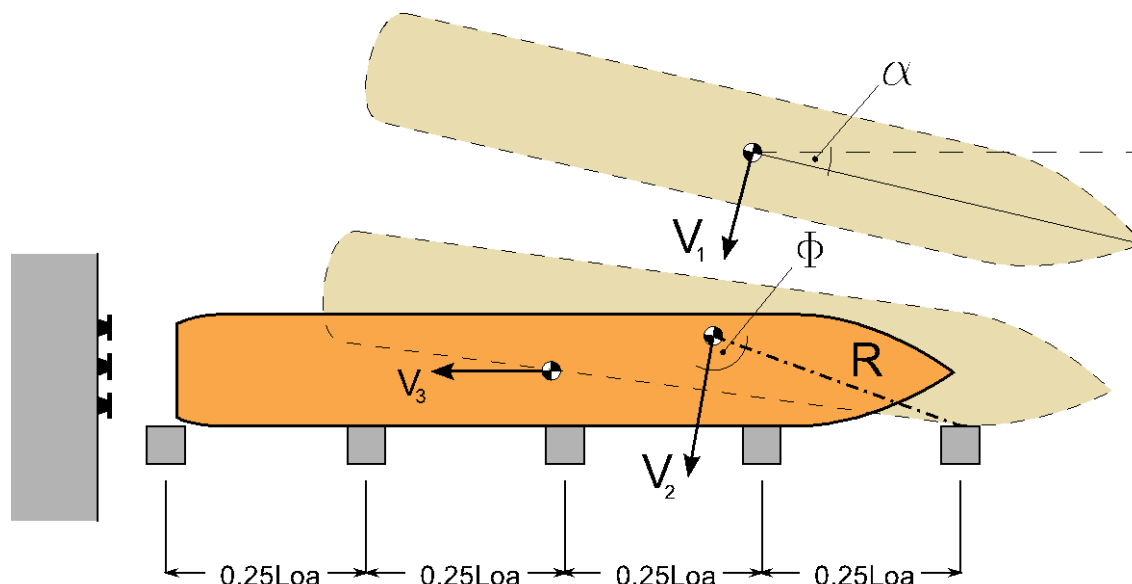


Figura 3-2. Schema di calcolo per il calcolo del coefficiente di eccentricità.

Il calcolo dell'energia di accosto è stato effettuato tenendo conto che la manovra di accosto e ormeggio viene effettuata in assenza di rimorchiatori. In tali condizioni generalmente l'angolo di approccio della nave può essere assunto pari 10° . La velocità di accosto è stata definita per ogni classe di nave sulla base delle condizioni relative alla manovra di ormeggio e del dislocamento della nave. In Figura 3-3 sono riportate le curve che forniscono, in funzione del DWT della nave e delle condizioni di ormeggio, le velocità di accosto della nave suggerite dal PIANC.

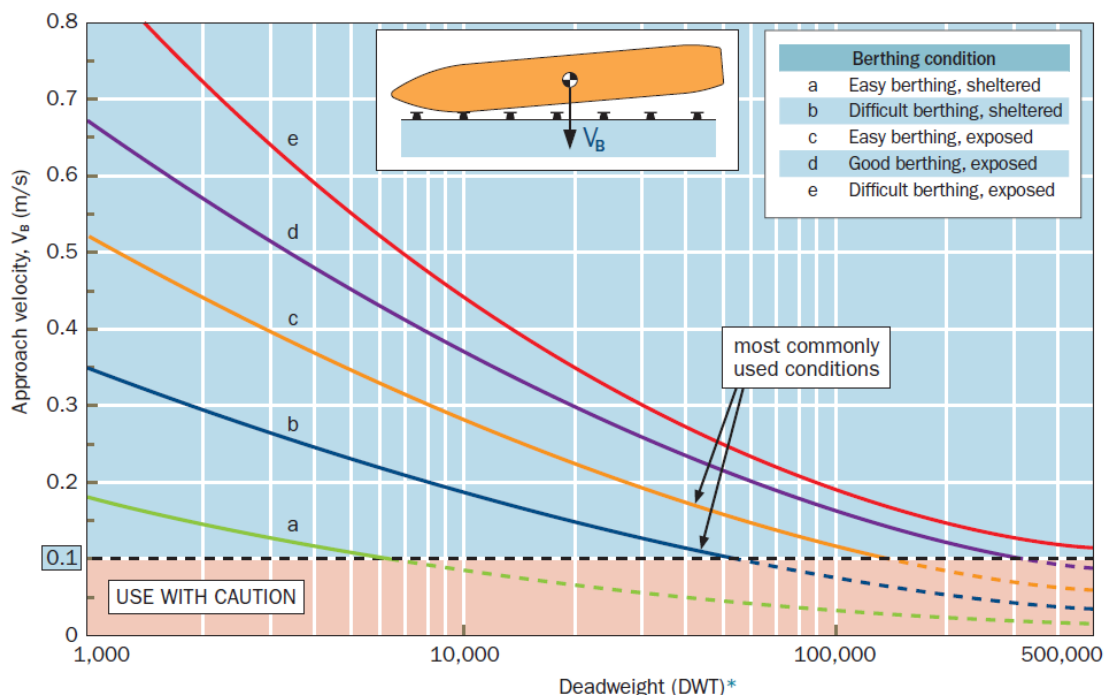


Figura 3-3. Velocità di accosto delle navi.

3.4 Azioni dovute al moto ondoso

In prima approssimazione è possibile valutare l'azione che il moto ondoso esercita sulla nave utilizzando le seguenti formule analitiche proposte dalle ROM 02-90:

$$F_{y,wave} = C_{fw} \cdot C_{dw} \cdot \gamma_w \cdot H_s^2 \cdot D' \cdot \sin \alpha$$

$$F_{x,wave} = C_{fw} \cdot C_{dw} \cdot \gamma_w \cdot H_s^2 \cdot D' \cdot \cos \alpha$$

Le formule sono state ottenute su base analitica valutando la pressione sulla chiglia della nave prodotta da un'onda regolare.

Il coefficiente C_{fw} , variabile tra 0 e 0.065, è funzione della lunghezza d'onda L_w e del pescaggio della nave D , mentre il coefficiente C_{dw} , variabile tra 0 e 2.0, è funzione della lunghezza d'onda L_w in prossimità della nave e della profondità h su cui è ormeggiata la nave. In Figura 3-4 sono riportati i diagrammi con i valori di C_{fw} e C_{dw} .

Il parametro D' è una lunghezza che rappresenta la proiezione della nave rispetto alla direzione delle onde incidenti: $L_{pp} \cdot \sin(\alpha) + B \cdot \cos(\alpha)$.

Per valutare le caratteristiche di moto ondoso in prossimità della zona di ormeggio si è fatto riferimento alla relazione di dispersione delle onde risolta per iterazione.

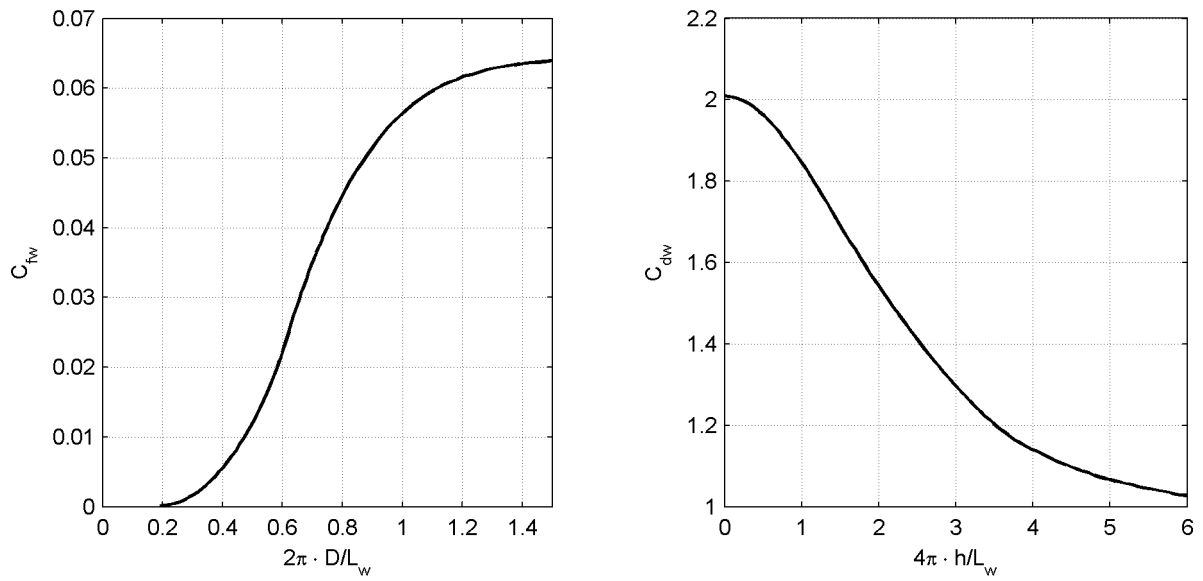


Figura 3-4. Valori dei coefficienti C_{fw} e C_{dw} per il calcolo della forza esercitata dal moto ondoso sulla nave (ROM 02-90).

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

4 Calcolo delle azioni di progetto

Il terminale RO-RO oggetto del presente studio è stato progettato considerando navi RO-RO aventi GRT compreso tra 3.000 e 15.000 t, aventi lunghezza Loa compresa tra 109 m e 196 m.

Le strutture di ormeggio del terminale sono costituite da briccole di ormeggio (*mooring dolphins*) equidistanziate lungo un asse ortogonale alla banchina di riva esistente. Il terminale è stato di fatto designato per consentire l'ormeggio su due fronti di accosto in modo che le navi presentino la poppa alla banchina di riva.

Le navi, per mettersi all'ormeggio, manovrano in modo da affiancarsi alle briccole, con la poppa diretta verso la banchina. L'impatto della nave contro le briccole di ormeggio viene assorbito dai fender presenti su ogni bricola che sono in grado di assorbire l'energia cinetica della nave. Successivamente la nave si ormeggia approntando le cime di ormeggio sulle bitte predisposte sulle briccole di ormeggio ed in banchina, in modo da poter impedire sia i movimenti longitudinali che quelli trasversali della nave.

Le briccole di ormeggio sono soggette ad **azioni di accosto**, che si presentano in occasione della manovra di avvicinamento della nave, e ad **azioni di ormeggio** che si verificano in presenza di vento e di moto ondoso che possono comportare una spinta sulla nave che viene poi trasferita alle strutture di ormeggio con le cime di ormeggio o attraverso i parabordi.

Nei paragrafi a seguire sono riportati i calcoli che hanno permesso di determinare le azioni sulle briccole di ormeggio in fase di accosto ed in fase di ormeggio.

Le azioni di accosto sono state valutate utilizzando il metodo dell'energia cinetica presentato in precedenza. Sulla base del risultato del calcolo dell'energia di accosto della nave è stato quindi selezionato una tipologia di parabordo che ha consentito di valutare, sulla base delle curve deformazione/reazione fornite per ogni tipologia di fender, la reazione risultante sulla struttura.

Le azioni di ormeggio, dovute al vento e al moto ondoso, sono state valutate utilizzando le metodologie di calcolo precedentemente illustrate. Tali azioni sono state assunte come azioni di tipo statico ripartite in ugual misura sulle briccole in contatto con la murata della nave.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

4.1 Energia di accosto e reazione esercitata dai fender

Utilizzando l'equazione dell'energia cinetica precedentemente illustrata è stato condotto il calcolo dell'energia di accosto della nave in fase di ormeggio. In relazione alle caratteristiche di esposizione del pontile ed agli spazi di manovra all'interno della rada di Brindisi sono state assunte condizioni di manovra difficili ma in condizioni protette dal moto ondoso e dal vento (curva "b" del grafico di Figura 3-3).

Sulla base dell'esperienza degli ormeggiatori e dei piloti del porto si è constatato che le condizioni più gravose ai fini delle manovre di ormeggio si verificano in presenza dei venti di grecale.

Per tale ragione per il calcolo dell'energia da assorbire sul fronte di accosto sul lato Est del pontile si è scelto di incrementare del 30% i valori di velocità in manovra per tenere conto della possibilità di condizioni meteomarine più intense.

In Tabella 4-1 è riportato il calcolo dell'energia di accosto ottenuta per le diverse navi RO-RO esaminate in condizioni meteomarine più sfavorevoli.

Sul fronte di ormeggio lato Est è stato quindi ottenuto un valore massimo di energia pari a 781 kNm (*abnormal energy*) per la nave di dimensioni maggiori (Loa=196 m). Sul fronte di ormeggio lato ovest, considerato che la manovra non è resa più difficile dalla presenza del vento da grecale, è possibile far riferimento all'energia normale di accosto (*normal energy*) pari a 520 kNm.

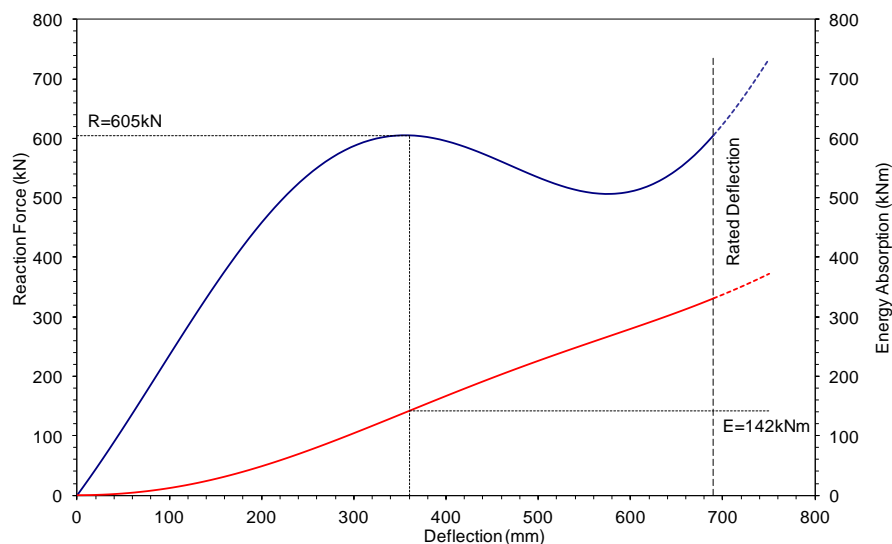


Figura 4-1. Curva di deformazione/reazione e deformazione/energia assorbita per un parabordo.

Il sistema di fender selezionato è costituito da parabordi a due braccia del tipo UE con gomma tipo 1.0, avente altezza 1.2 m e lunghezza 0.8 m collegati ad un pannello rettangolare di ripartizione dell'urto di dimensioni 2.0 m × 3.0 m. L'elemento così composto è in grado di assorbire un'energia massima di 331 kNm con una deformazione massima del 57.5% (690 mm). La reazione massima sprigionata dal singolo elemento è pari a 605 kN che viene raggiunta per valori di energia prossimi a 140 kNm per poi mantenersi quasi costante all'aumentare della

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

deformazione. In Figura 4-1 sono riportate le curve di deformazione/energia, deformazione/reazione per ogni parabordo.

Ipotizzando che la nave entri in contatto con tutti i fender presenti sulla briccola di ormeggio, si è ritenuto necessario predisporre sul fronte di ormeggio lato Est un sistema di fender costituito da tre gruppi di parabordi per poter assorbire un'energia di accosto superiore a 900 kNm. Mentre, sul lato Ovest, visto che il valore atteso dell'energia di accosto risulta inferiore sono presenti due soli gruppi di parabordi in grado di assorbire una energia massima di circa 600 kNm.

Le massime reazioni che agiscono sulla briccola di ormeggio esercitate dai fender si hanno in occasione dell'accosto della nave di dimensioni maggiori (Loa=196 m) e risultano pari a:

- 1800 kN sul fronte di accosto lato Est
- 1200 kN sul fronte di accosto lato Ovest.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	---	---------------------

Tabella 4-1. Calcolo dell'energia di accosto per le diverse navi RO-RO esaminate.

SHIP DATA											
Deadweight	GRT	3000	t	5000	t	7000	t	10000	t	15000	t
Displacement	MD	6030	t	9670	t	13200	t	18300	t	26700	t
Overall Length	LOA	109	m	131	m	148	m	169	m	196	m
Beam	B	18.3	m	20.7	m	22.5	m	24.6	m	27.2	m
Laden Draft	D	5.3	m	6.4	m	7.2	m	8.2	m	9.6	m
Freeboard	T	4.7	m	6.1	m	7.3	m	8.8	m	10.7	m
Block Coefficient	CB	0.613		0.593		0.585		0.571		0.554	
BERTHING DATA											
Berthing Mode		Dolphin		Dolphin		Dolphin		Dolphin		Dolphin	
Structure Type		Open		Open		Open		Open		Open	
Eccentricity Method		Full		Full		Full		Full		Full	
Under Keel Clearance	UKC	7.7	m	6.6	m	5.8	m	4.8	m	4.4	m
Impact from Bow	x	30	%	30	%	30	%	30	%	30	%
		29.7	m	36	m	40.8	m	46.5	m	54	m
Radius of Gyration	K	22.42	m	26.72	m	30.08	m	33.87	m	38.75	m
Impact to Centre of Mass	R	21.81	m	26.14	m	29.43	m	33.35	m	38.48	m
Berthing Angle	a	10	deg	10	deg	10	deg	10	deg	10	deg
Velocity Vector Angle	g	55.19	deg	56.68	deg	57.53	deg	58.36	deg	59.3	deg
Added Mass Coefficient	CM	1.579		1.618		1.64		1.667		1.706	
Eccentricity Coefficient	CE	0.672		0.659		0.652		0.643		0.633	
Berth Coefficient	CC	1		1		1		1		1	
Softness Coefficient	CS	1		1		1		1		1	
BERTHING ENERGY											
Berthing Velocity	VB	300	mm/s	270	mm/s	230	mm/s	200	mm/s	190	mm/s
Normal Energy		288	kNm	376	kNm	373	kNm	392	kNm	520	kNm
Factor of Safety		1.5		1.5		1.5		1.5		1.5	

Abnormal Energy	432 kNm	564 kNm	560 kNm	588 kNm	781 kNm
-----------------	---------	---------	---------	---------	---------

4.2 Azioni dovute al moto ondoso

L'azione del moto ondoso sulla nave all'ormeggio è stata calcolata considerando un fondale di progetto di 14 m. Le condizioni più gravose si verificano in condizioni di massimo pescaggio della nave, quando la nave si trova a pieno carico.

Il calcolo è stato eseguito ipotizzando che all'interno della rada di Brindisi sia presente un moto ondoso che si presenta con angolo di 90° rispetto all'asse della nave (mare la traverso), con un'altezza d'onda significativa di 1.5 m, valore ritenuto cautelativo considerando che il punto di ormeggio si trova in una zona protetta.

Per ogni classe di nave RO-RO è stata determinata l'azione esercitata dal moto ondoso al variare del periodo di picco T_p . Il grafico di Figura 4-2 riporta l'andamento della forza sulla nave in funzione del periodo di picco, variabile tra 5.0 s e 8.0 s. Si può osservare che le condizioni più dure per le navi si presentano in occasione di onde di breve periodo mentre al crescere del periodo, e quindi della lunghezza d'onda la forza tende a diminuire.

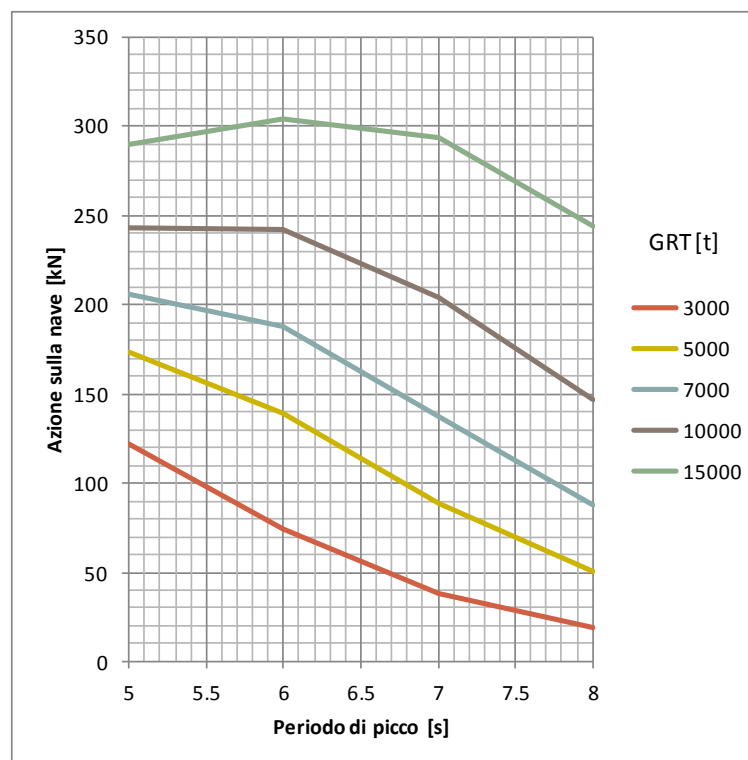


Figura 4-2. Andamento dell'azione del moto ondoso sulla nave al variare del periodo di picco T_p .

In Tabella 2 sono riportati i valori della forza ottenuta sulle navi all'ormeggio per un moto ondoso con angolo di attacco di 90° rispetto all'asse della nave al variare del periodo T_p .

Quando la nave si trova all'ormeggio e il moto ondoso spinge la nave contro le briccole di ormeggio l'azione complessiva che agisce sulla nave viene contrastata dalla reazione esercitata dalle briccole con le quali la nave è in contatto.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	---	---------------------

In prima approssimazione è possibile ipotizzare che tale azione sia di tipo statico e sia pari alla forza complessiva sulla nave suddivisa in misura uguale sulle briccole di ormeggio.

Tabella 2. Azioni esercitate sulle navi all'ormeggio dovute al moto ondoso incidente

GRT	Loa	B	Max Drafft.	max wave force [kN]			
				T=5.0 s	T=6.0 s	T=7.0 s	T=8.0 s
[t]	[m]	[m]	[m]				
3000	109	18.3	5.3	122	75	38	19
5000	131	20.7	6.4	173	139	88	50
7000	148	22.5	7.2	206	188	137	87
10000	169	24.6	8.2	243	242	204	147
15000	196	27.2	10.7	290	304	294	244

Tabella 3. Azioni sulle briccole di ormeggio dovute alla spinta del moto ondoso sulla nave.

GRT	Loa	Fy [Udir=90°]	N° di briccole	Max wave force	Max dolphin reaction
				[kN]	[kN]
[t]	[m]	[kN]			
3000	109	122	3	41	
5000	131	173	4	43	
7000	148	206	5	41	
10000	169	243	5	49	
15000	196	304	5	61	

4.3 Azioni dovute al vento

L'azione del vento sulla nave è stata calcolata utilizzando un vento orario di 20.0 m/s, utilizzando l'equazione illustrata in precedenza. Applicando un fattore di raffica di 1.25 si ottiene un vento mediato sui 30 secondi di 25.0 m/s. Le massime azioni laterali e longitudinali dovute al vento calcolate per le diverse navi RO-RO esaminate sono riportate in Tabella 4-4.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest - Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	---	---------------------

Tabella 4-4. Massime azioni dovute al vento sulle navi RO-RO esaminate.

GRT	Loa	B	Max Draft.	max wind force [kN]			
				Fy [Udir=90°]		Fx [Udir=0°]	
				full load	ballast	full load	ballast
[t]	[m]	[m]	[m]				
3000	109	18.3	5.3	725	790	129	134
5000	131	20.7	6.4	919	999	161	171
7000	148	22.5	7.2	1078	1168	186	201
10000	169	24.6	8.2	1272	1371	217	237
15000	196	27.2	10.7	1535	1650	259	288

Quando la nave si trova all'ormeggio e il vento spinge la nave contro le briccole di ormeggio l'azione complessiva che agisce sulla nave viene contrastata dalla reazione esercitata dalle briccole con le quali la nave è in contatto.

In prima approssimazione è possibile ipotizzare che tale azione sia di tipo statico e sia pari alla forza complessiva sulla nave suddivisa in misura uguale sulle briccole di ormeggio.

Tabella 5. Azioni sulle briccole di ormeggio dovute alla spinta del vento sulla nave.

GRT	Loa	Max wind force	N° di briccole	Max dolphin reaction
[t]	[m]	[kN]		[kN]
3000	109	790	3	263.3
5000	131	999	4	249.7
7000	148	1168	5	233.5
10000	169	1371	5	274.3
15000	196	1645	5	329.0

4.4 Calcolo della resistenza del sistema di ormeggio e capacità delle bitte

Come indicato in precedenza la massima resistenza offerta dal sistema di cime di ormeggio può essere determinata a partire dal valore MBL del carico minimo di rottura a trazione della cima.

Generalmente le navi tipo RO-RO aventi le dimensioni considerate per il presente studio dispongono di cime di ormeggio aventi MBL compreso tra 190 kN e 573 kN come riportato in Tabella 4-6.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

Tabella 4-6. Dimensioni delle cime di ormeggio e MBL per navi tipo RO-RO.

	GRT [t]		Diameter [mm]		MBL [kN]	
GRT	<	2000	40 ÷ 48		190.2	÷ 266.7
2000	÷	6000	48 ÷ 60		266.7	÷ 404
6000	÷	10000	56 ÷ 64		353	÷ 457
10000	<	GRT	64 ÷ 72		457	÷ 573

Il calcolo della resistenza massima offerta dal sistema di ormeggio è stato effettuato considerando che sia a prua che a poppa della nave agisce un gruppo di quattro cime di ormeggio che lavora con un'efficienza pari al 70% mentre la resistenza longitudinale è affidata a due coppie di spring lines di cui ovviamente, a seconda della direzione della forza risultante sulla nave, una sola è sollecitata a trazione.

In Tabella 4-7 sono riportati i valori della resistenza massima offerta dal sistema di ormeggio per le diverse categorie di navi RO-RO esaminate. La tabella riporta i valori delle resistenze trasversali RyF ed RyA calcolate a prua ed a poppa della nave, e la resistenza longitudinale Rx offerta da una sola spring lines.

Tabella 4-7. Calcolo della resistenza massima offerta dal sistema di ormeggio per navi tipo RO-RO.

Lines		Forward	Spring	Aft	
Number of lines		4	2	4	
Efficiency		0.7	0.9	0.7	
RO-RO ship			max restraint		
GRT [t]	Loa [m]	MBL [kN]	RyF [kN]	Rx [kN]	RyA [kN]
3000	109	275.0	423.5	272.3	423.5
5000	131	350.0	539.0	346.5	539.0
7000	148	400.0	616.0	396.0	616.0
10000	169	450.0	693.0	445.5	693.0
15000	196	500.0	840.0*	540.0*	840.0*

* valore ottenuto ammettendo una percentuale del carico limite della cima di ormeggio del 60%

Confrontando i valori della forza dovuta al vento agente sulla nave con le resistenze massime offerte dal sistema di ormeggio si può verificare che la capacità di resistenza offerta dal sistema di ormeggio risulta sempre superiore alle forze agenti.

A seguire sono riportate le verifiche nelle condizioni più gravose, rappresentate dalla fase in cui la nave risulta scarica (*ballast condition*):

GRT [t]	Ry kN		Wind lateral kN		Rx kN		Wind front kN
3000	847	>	790		272	>	134
5000	1078	>	999		347	>	171
7000	1232	>	1168		396	>	201

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

10000	1386	>	1371	446	>	237
15000	1680*	>	1645	540*	>	288

*valore ottenuto ammettendo una percentuale del carico limite della cima di ormeggio del 60%

Il massimo tiro alla bitta con 25 m/s di vento, esercitato da due cime di ormeggio, risulta pari a 550 kN ($2 \times 0.55 \times \text{MBL}$).

Ma, in occasione di raffiche di vento ancora più forti, con velocità di 30 m/s (circa 60 nodi), le forze sulla nave di maggiori dimensioni possono assumere valori superiori a 2300 kN e la tensione sulle cime di ormeggio dovrà necessariamente aumentare fino a raggiungere il 90% del carico di rottura. In queste condizioni il tiro alla bitta risulterà pari a $2 \times 0.90 \times \text{MBL} = 900$ kN.

Sulla base di tale risultato si scelto di installare sulle briccole di ormeggio bitte aventi tiro di esercizio di 1000 kN ($2 \times \text{MBL}$) che possono operare anche in occasione di stati di vento ancor più intensi di quelli considerati per il calcolo.

5 Riepilogo delle azioni agenti sulle briccole di ormeggio

Sulla base dei diversi contributi determinati in precedenza è possibile valutare le azioni complessive che agiscono sulla singola briccola di ormeggio.

La massima reazione di accosto sul lato Est del pontile, per il quale il calcolo dell'energia di accosto è stato effettuato in condizioni meteomarine più sfavorevoli, e pertanto caratterizzato dalla presenza di tre fender per briccola, è stata valutata in 1800 kN, mentre sul lato Ovest, dove sono previsti due soli fender per briccola, la reazione massima è stata valutata pari a 1200 kN.

Le forze trasferite dalla nave all'ormeggio sulle strutture sono state valutate considerando la l'azione di venti con velocità pari a 60 nodi (30 m/s) e moto ondoso con altezza d'onda di 1.5 m e periodo compreso tra 5.0 e 8.0 secondi.

Le condizioni di esercizio più gravose si verificano in presenza della nave di dimensioni maggiori (Loa=196 m) che è caratterizzata da una superficie esposta al vento e al moto ondoso maggiore.

Il tiro alla bitta in condizioni limite di esercizio è stato valutato pari 900 kN pertanto si è scelto di installare bitte con un tiro limite di esercizio di 1000 kN.

La spinta della nave sulla briccola dovuta al vento è stata ottenuto considerando la spinta trasversale del vento sulla nave divisa per il numero di briccole che contrastano tale azione, il valore della massima spinta esercitata sulla briccola è risultato pari a circa 330 kN.

Autorità di Sistema Portuale del Mare Adriatico Meridionale – Porto di Brindisi	<i>Potenziamento degli ormeggi navi Ro-Ro a Costa Morena Ovest – Realizzazione di un pontile con briccole</i>	Progetto Definitivo
---	--	---------------------

Mentre la massima spinta della nave sulla briccola, dovuta al moto ondoso, risulta pari a circa 60 kN ed è stata ottenuta per la nave di maggiori dimensioni.

Sommando questi due contributi si ottiene, durante la fase di ormeggio della nave, una spinta massima sulla briccola pari a 390 kN.

In Tabella 5-1 sono riportati i valori di progetto per il dimensionamento delle briccole di ormeggio.

Tabella 5-1. Massime azioni agenti su di una briccola.

Massime azioni agenti su di una briccola			
Tiro alla bitta massimo (2×500 MBL)	F_{bollards}	1000	kN
Reazione di accosto (fornita da 2 parabordi) - Lato Ovest	R	1200	kN
Reazione di accosto (fornita da 3 parabordi) - Lato Est	R	1800	kN
Spinta dovuta al vento e al moto ondoso	$F_{\text{wind+wave}}$	390	kN