



Autorità di Sistema Portuale
del Mar Tirreno Centro Settentrionale

PORTI DI ROMA E DEL LAZIO - CIVITAVECCHIA - FIUMICINO - GAETA

Autorità di Sistema Portuale del Mar Tirreno Centro Settentrionale



NUOVO PORTO COMMERCIALE DI FIUMICINO

PROGETTO ESECUTIVO I LOTTO FUNZIONALE I STRALCIO

"Darsena Pescherecci e viabilità di accesso al cantiere"

Committente:

Il presidente
AVV. Francesco Maria Di Majo

Il responsabile del procedimento
Dott. Ing. Maurizio Marini

Il coordinatore generale
Dott. Ing. Giuseppe Solinas

Progettazione:

ACQUA
TECNO

Ing. Renato Marconi
Ing. Paolo Turbolente
Ing. Barbara Doronzo



Titolo elaborato

Elaborato

A.2202.12 | PE | R

RELAZIONE SUGLI ARREDI

ARR

Scala

Data		Preparato	Controllato	Approvato
Novembre 2020				
Revisione	Data			
01	Giugno 2021			
02	Febbraio 2022			

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. CALCOLO DEL TIRO SULLE BITTE BANCHINA MOLO DI SOTTOFLUTTO	4
2.1. Metodologia di calcolo	4
2.2. Velocità di progetto del vento	6
2.3. Bitta d'ormeggio - Banchina Sud (Sez. D-D, Sez. A-A).....	9
2.4. Bitta d'ormeggio - Banchina Sud (Sez. C-C, Sez. B-B).....	11
2.5. Bitta d'ormeggio - Pontile Bunkeraggio (Sez. F-F)	12
2.6. Bitta d'ormeggio - Banchina Nord (Sez. L-L)	13
2.7. Bitta d'ormeggio - Banchina di Riva (Sez. N-N)	15
3. VERIFICA ANCORAGGIO DELLA BITTA.....	17
3.1. Bitta 10 Ton.....	17
3.2. Bitta 20 Ton.....	20
3.3. Bitta 30 Ton.....	23
3.4. Bitta 50/60 Ton.....	25
4. BIBLIOGRAFIA.....	29

1. PREMESSA

L'Appalto prevede l'installazione di bitte di ormeggio sulle banchine della Darsena Pescherecci (Banchina Sud, Banchina Nord e Banchina di Riva), sul pontile bunkeraggio e a servizio dello scalo di alaggio.

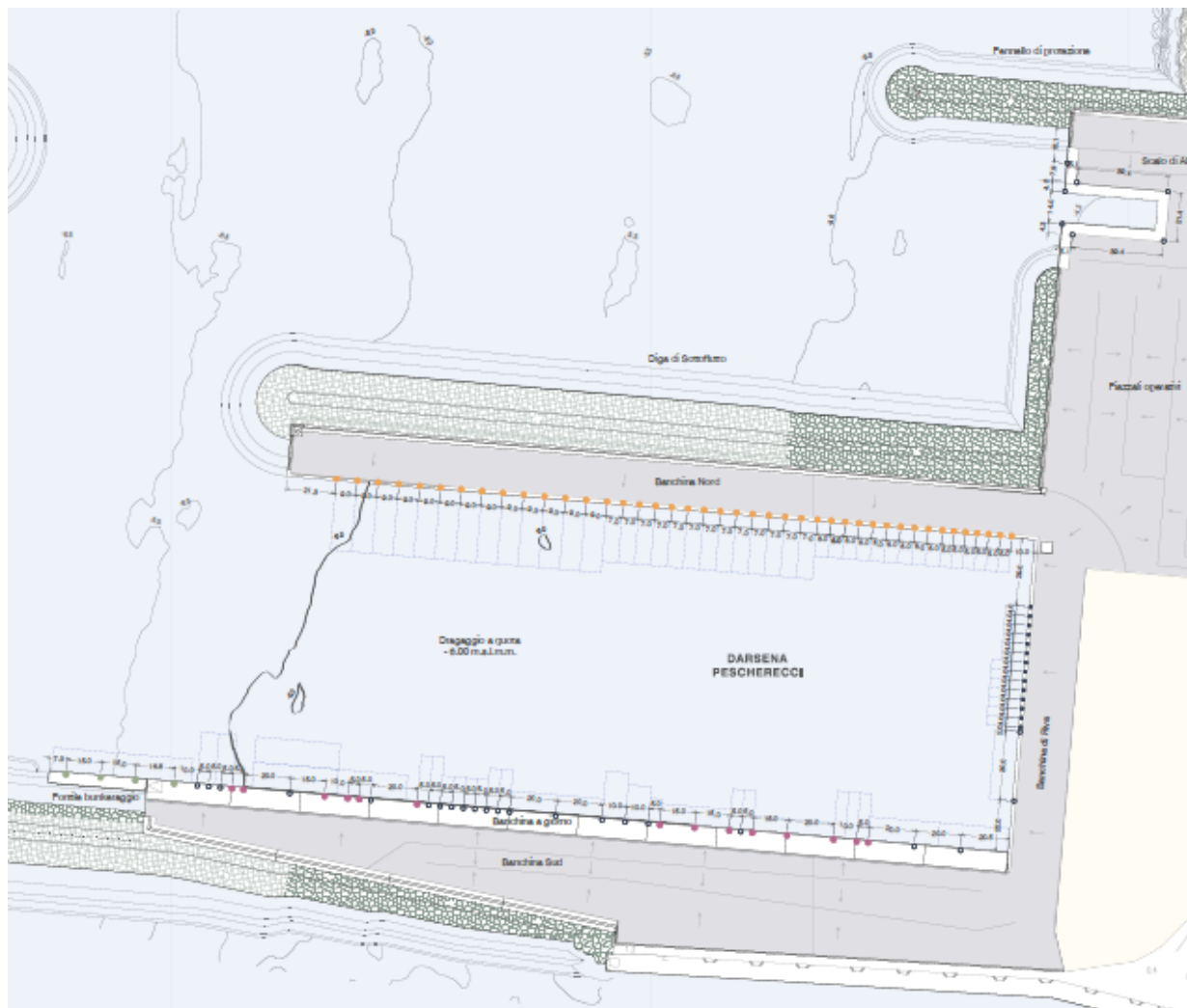
La relazione ha lo scopo di verificare il tiro massimo dei suddetti arredi disposti planimetricamente sulla base della flotta Navigli che ormeggerà in Porto, definita a valle di tavoli tecnici con l'Autorità di Sistema e la Capitaneria di Porto, sulla base dell'attuale flotta presente lungo il Porto canale (pescherecci, rimorchiatori, servizio antinquinamento, trasporto passeggeri, etc..). Si rimanda all'elaborato *grafico IG.07 – Piano degli ormeggi* (Figura 2).

Premesso quanto sopra, il dimensionamento delle bitte è stato eseguito per tratti di banchina in relazione alla tipologia di imbarcazione in ormeggio.

La seguente tabella riporta l'installazione delle seguenti bitte nella disposizione riportata nell'elaborato *OM.32.a – Arredi di banchina – Planimetria* (Figura 1):

Tiro Bitte (ton)	N.
10	14
20	29
30	4
50	42
60	14

Relazione sugli arredi



LEGENDA

- Bitta 10 t - n.14
- Bitta 20 t - n.29
- Bitta 30 t - n.4
- Bitta 50 t - n.42
- Bitta 60 t - n.14

Figura 1 - Planimetria degli arredi (Elaborato OM.32.a)

[illegible]

2. CALCOLO DEL TIRO SULLE BITTE BANCHINA MOLO DI SOTTOFLUTTO

Il tiro alla bitta si genera nel momento in cui la cima di ormeggio va in trazione (non può resistere a compressione) ad opera dell'azione del vento e delle correnti. Per valutarlo correttamente si ipotizza uno specifico layout di ormeggio, rappresentato dal numero e dalla disposizione dei dispositivi di ormeggio e dal numero di cime. L'azione calcolata sarà quindi divisa per il numero di dispositivi di ormeggio utilizzati.

$$Wt = (1 + 3.1 \sin \alpha) \cdot k_t \cdot H \cdot Lu \cdot v^2$$

$$Wl = (1 + 3.1 \sin \alpha) * kl * H * Lu * v^2$$

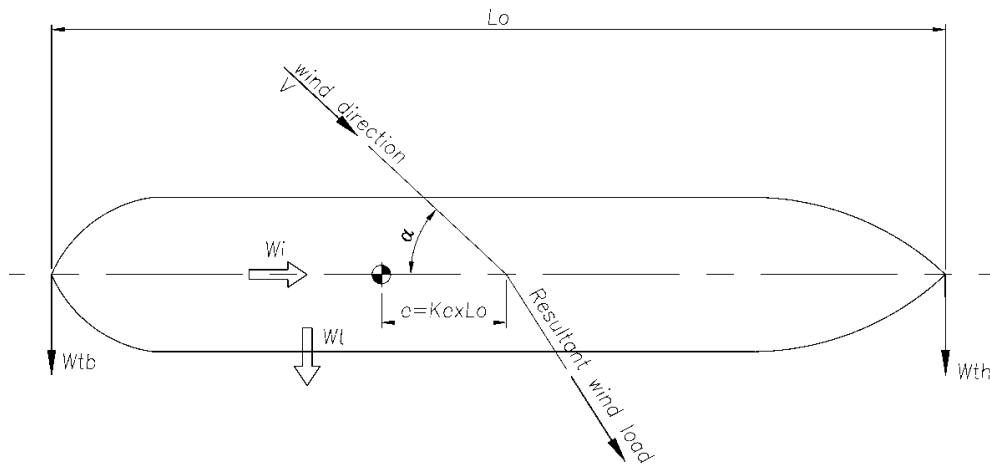


Figura 3 - Azioni del vento sulle imbarcazioni (EUA 2004)

I carichi equivalenti sulle bitte si possono ottenere dividendo W_t come segue:

$$W_t = W_{tb} + W_{th}$$

dove:

- $W_{tb} = W_t \cdot (0.50 + k_e)$
- $W_{th} = W_t \cdot (0.50 - k_e)$

dove:

- H = massima altezza del bordo libero della nave (a pieno carico o allibata), alla quale si deve sommare l'altezza aggiuntiva del carico dal bordo libero [m] = 4,50 m
- L_u : Lunghezza massima della nave ormeggiata [m]
- v : velocità del vento di progetto [m/s]
- W_i : componenti del carico del vento [KN].
- k_t e k_l : coefficienti di carico del vento [KN.s²/m⁴].
- k_e : coefficiente di eccentricità.

Il tiro-bitta più gravoso che può generare un potenziale ribaltamento dell'imbarcazione è quello generato da un vento che investe perpendicolarmente la fiancata dell'imbarcazione, determinando un angolo di incidenza con l'asse maggiore dell'imbarcazione $\alpha = 90^\circ$.

Pertanto risulta (Rif. Table R 153-1 EUA 2004):

$$k_e = k_l = 0$$

$$k_t = 18,1 \cdot 10^{-5} \text{ (KN s}^2\text{/m}^4\text{)}$$

Relazione sugli arredi

Table R 153-1. Load and eccentricity coefficients for ships up to 50 000 dwt

Ships up to 50 000 dwt			
α^0	k_t [kN · s ² /m ⁴]	k_e [I]	k_l [kN · s ² /m ⁴]
0	0	0	$9.1 \cdot 10^{-5}$
30	$12.1 \cdot 10^{-5}$	0.14	$3.0 \cdot 10^{-5}$
60	$16.1 \cdot 10^{-5}$	0.08	$2.0 \cdot 10^{-5}$
90	$18.1 \cdot 10^{-5}$	0	0
120	$15.1 \cdot 10^{-5}$	-0.07	$-2.0 \cdot 10^{-5}$
150	$12.1 \cdot 10^{-5}$	-0.15	$-4.1 \cdot 10^{-5}$
180	0	0	$-8.1 \cdot 10^{-5}$

In osservanza delle EAU, i carichi determinati con le formule sopra riportate, verranno moltiplicati per un fattore di sicurezza parziale $\gamma_d=2,5$, che, come già detto, tiene conto delle eventuali influenze dinamiche, e di altro tipo, non determinabili a priori.

Table R 60-1. Additional factors for exceptional berthing manoeuvres

Type of vessel	Size of vessel	Additional factor
Tanker, bulk cargo	large	1.25
	small	1.75
Container	large	1.5
	small	2.0
General cargo		1.75
Ro/Ro, ferry		≥ 2.0
Tug, workboat		2.0

Tabella 1 - Fattore addizionale (EUA 2004)

2.2. Velocità di progetto del vento

Per la determinazione della velocità di riferimento del vento a 10 m dal livello dell'acqua V_w si fa riferimento alle NTC 2018 (3.3.1 – Velocità base di riferimento).

$$V_b = V_{b0} \cdot C_a$$

dove:

- $V_{b,0}$ è la velocità base di riferimento al livello del mare, assegnata nella Tabella 2 in funzione della zona in cui sorge la costruzione;

Relazione sugli arredi

Tab. 3.3.I - Valori dei parametri $v_{b,0}$, a_0 , k_s

Zona	Descrizione	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_s
1	Valle d'Aosta, Piemonte, Lombardia, Trentino Alto Adige, Veneto, Friuli Venezia Giulia (con l'eccezione della provincia di Trieste)	25	1000	0,40
2	Emilia Romagna	25	750	0,45
3	Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)	27	500	0,37
4	Sicilia e provincia di Reggio Calabria	28	500	0,36
5	Sardegna (zona a oriente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	750	0,40
6	Sardegna (zona a occidente della retta congiungente Capo Teulada con l'Isola di Maddalena)	28	500	0,36
7	Liguria	28	1000	0,54
8	Provincia di Trieste	30	1500	0,50
9	Isole (con l'eccezione di Sicilia e Sardegna) e mare aperto	31	500	0,32

Tabella 2 - Parametri per calcolo velocità Vento (NTC 2018)

- C_a è il coefficiente di altitudine fornito dalla relazione:

$$c_a = 1 \quad \text{per } a_s \leq a_0$$

$$c_a = 1 + k_s \left(\frac{a_s}{a_0} - 1 \right) \quad \text{per } a_0 < a_s \leq 1500 \text{ m} \quad [3.3.1.b]$$

con:

- a_0 , k_s sono parametri forniti nella Tabella 2 in funzione della zona in cui sorge la costruzione (Fig. 3.3.1);
- a_s è l'altitudine sul livello del mare del sito ove sorge la costruzione.

La velocità di riferimento v_r è il valore medio su 10 minuti, a 10 m di altezza dal suolo su un terreno pianeggiante e omogeneo di categoria di esposizione II (vedi Tab. 3.3.II), riferito al periodo di ritorno di progetto T_R .

Tale velocità è definita dalla relazione:

$$V_r = V_b \cdot C_r$$

- V_b è la velocità base di riferimento e si assume 32 m/s anziché 27 m/s (valore di Normativa) considerando il mare in condizioni di tempesta.
- C_r è il coefficiente di ritorno, funzione del periodo di ritorno di progetto T_R , corrispondente a:

Relazione sugli arredi

$$c_r = 0.75 \sqrt{1 - 0.2 \times \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]}$$

Nel caso in esame:

- $T_r = 140$ anni
- $V_{b0} = 27$ m/s (Lazio)
- $a_0 = 500$ (Lazio)
- $a_s = 2,00$ m s.l.m. (altezza della banchina)
- $c_a = 1$
- $V_b = 32$ m/s (ipotesi condizioni di tempesta)
- $C_r = 1,06$

$$V_r = 32 * 1,06 = 33,9 \text{ m/s}$$

[illegible]

BANCHINA SUD IMBARCAZIONE DI PROGETTO PER TIRO BITTA	
Loa = Lunghezza fuori tutto	36,00 m
Lpp =	29,00 M
Lb= larghezza massima	10,00 m
Pmax = Pescaggio max	= 3,50 m
GT = Stazza Lorda	= 290 ton
HL_U (Area investita dal vento) = 235 m^2 . Si assume 250 m^2	

- $W_t = (1 + 3.1 \sin \alpha) \cdot k_t \cdot H \cdot L_u \cdot v^2 = 213,00 \text{ KN}$
- $W_l = (1 + 3.1 \sin \alpha) \cdot k_l \cdot H \cdot L_u \cdot v^2 = 0$

Pag. 9

Relazione sugli arredi

I valori così calcolati rappresentano i valori massimi di tiro che, sia a prua che a poppa, il sistema di ormeggio deve garantire.

Considerando un coefficiente di sicurezza $\gamma_d=2,5$, si ottiene che il tiro agente sulla bitta è $W_{tb}=W_{th}=266,5$ KN. Nell'ipotesi che su ogni bitta siano collegate due cime e che per ogni ormeggio siano impiegate almeno due bitte, si ottiene un tiro agente sulla singola bitta pari a 53,3 t. Considerando infine che ad ogni bitta possono essere collegate due o più gomene e che non può essere garantita una suddivisione uniforme delle forze tra le varie bitte, si definisce di installare bitte da 60t.

Per quel che riguarda la spaziatura delle bitte, in relazione alla particolare geometria della banchina, si evidenzia che le stesse debbono essere poste in corrispondenza dei pali di acciaio e secondo interassi non superiori a quelli riportati nella planimetria degli arredi (redatta in riferimento al Piano Ormeggi, elaborato condiviso con le Autorità Marittime e l'Autorità di Sistema sulla base della Flotta Navigli).

2.4. Bitta d'ormeggio - Banchina Sud (Sez. C-C, Sez. B-B)

L'ormeggio è del tipo "all'andana" (di poppa).

Di seguito si riporta il calcolo del tiro agente sulla bitta che sarà installata in banchina.

BANCHINA SUD
IMBARCAZIONE DI PROGETTO PER TIRO BITTA
Loa = Lunghezza fuori tutto 18,00 m
Lpp = 16,00 M
Lb= larghezza massima 5,5 m
Pmax = Pescaggio max = 2,50 m
$HL_U = 160 \text{ m}^2$

- $W_t = (1+3.1 \sin \alpha) \cdot k_t \cdot H \cdot L_u \cdot v^2 = 47,5 \text{ KN}$

- $W_l = (1+3.1 \sin \alpha) \cdot k_l \cdot H \cdot L_u \cdot v^2 = 0$

- Essendo $W_{tb} = W_{th} = 23,8 \text{ KN}$

Considerando un coefficiente di sicurezza $\gamma_d=2,5$, si ottiene che il tiro agente sulla bitta è $W_{tb}=W_{th}=59,4 \text{ KN}$. Nell'ipotesi che su ogni bitta siano collegate due cime e che per ogni ormeggio siano impiegate almeno due bitte, si ottiene un tiro agente sulla singola bitta pari a 11,9 t. Considerando infine che ad ogni bitta possono essere collegate due o più gomene e che non può essere garantita una suddivisione uniforme delle forze tra le varie bitte, si definisce di installare bitte da 20 t.

Per quel che riguarda la spaziatura delle bitte, in relazione alla particolare geometria della banchina, si evidenzia che le stesse debbono essere poste in corrispondenza dei pali di acciaio e secondo interassi non superiori a quelli riportati nella planimetria degli arredi (redatta in riferimento al Piano Ormeggi, elaborato condiviso con le Autorità Marittime e l'Autorità di Sistema sulla base della Flotta Navigli).

Per garantire l'ormeggio in sicurezza, si dovrà prevedere anche un sistema di trappe, catenarie e corpi morti per l'ormeggio della prua dell'imbarcazione (non previsto nell'ambito del presente progetto).

2.5. Bitta d'ormeggio - Pontile Bunkeraggio (Sez. F-F)

L'ormeggio è del tipo a murata durante le operazioni di bunkeraggio.

All'uopo si considera la massima imbarcazione nell'ambito della flotta navigli ovvero quella considerata nel paragrafo 2.3.

Rimandando alle elaborazioni riportate nel suddetto paragrafo, risulta

$W_{tb} = W_{th} = 106,5 \text{ KN}$

I valori così calcolati rappresentano i valori massimi di tiro che, sia a prua che a poppa, il sistema di ormeggio deve garantire.

Considerando un coefficiente di sicurezza $\gamma_d = 2,5$, si ottiene che il tiro agente sulla bitta è $W_{tb} = W_{th} = 266,5 \text{ KN}$. Nell'ipotesi che su ogni bitta sia collegata una cima che per ogni ormeggio siano impiegate due bitte, si ottiene un tiro agente sulla singola bitta pari a 27 t.

Considerando infine che:

- ad ogni bitta di fatto possono essere collegate due o più gomene (anche in situazioni di emergenza);
- che non può essere garantita una suddivisione uniforme delle forze tra le varie bitte;
- che il pontile bunkeraggio è l'ormeggio maggiormente esposto all'azione del moto ondoso e delle correnti (comunque in sicurezza sulla base dei risultati ottenuti dallo studio di agitazione ondosa interna al porto)

si definisce di installare n.4 bitte da 30t ad interasse di 15,00 m;

2.6. Bitte d'ormeggio - Banchina Nord (Sez. L-L)

La Banchina Nord sarà destinata all'ormeggio delle imbarcazioni da pesca (del tipo “grande pesca”, e “turbosoffianti”). Si considera la massima imbarcazione prevista in ormeggio (“grande pesca”).

L'ormeggio è del tipo “all'andana” (di poppa). Si dovrà comunque prevedere anche un sistema di trappe, catenarie e corpi morti per l'ormeggio della prua dell'imbarcazione (non previsto nell'ambito del presente progetto).

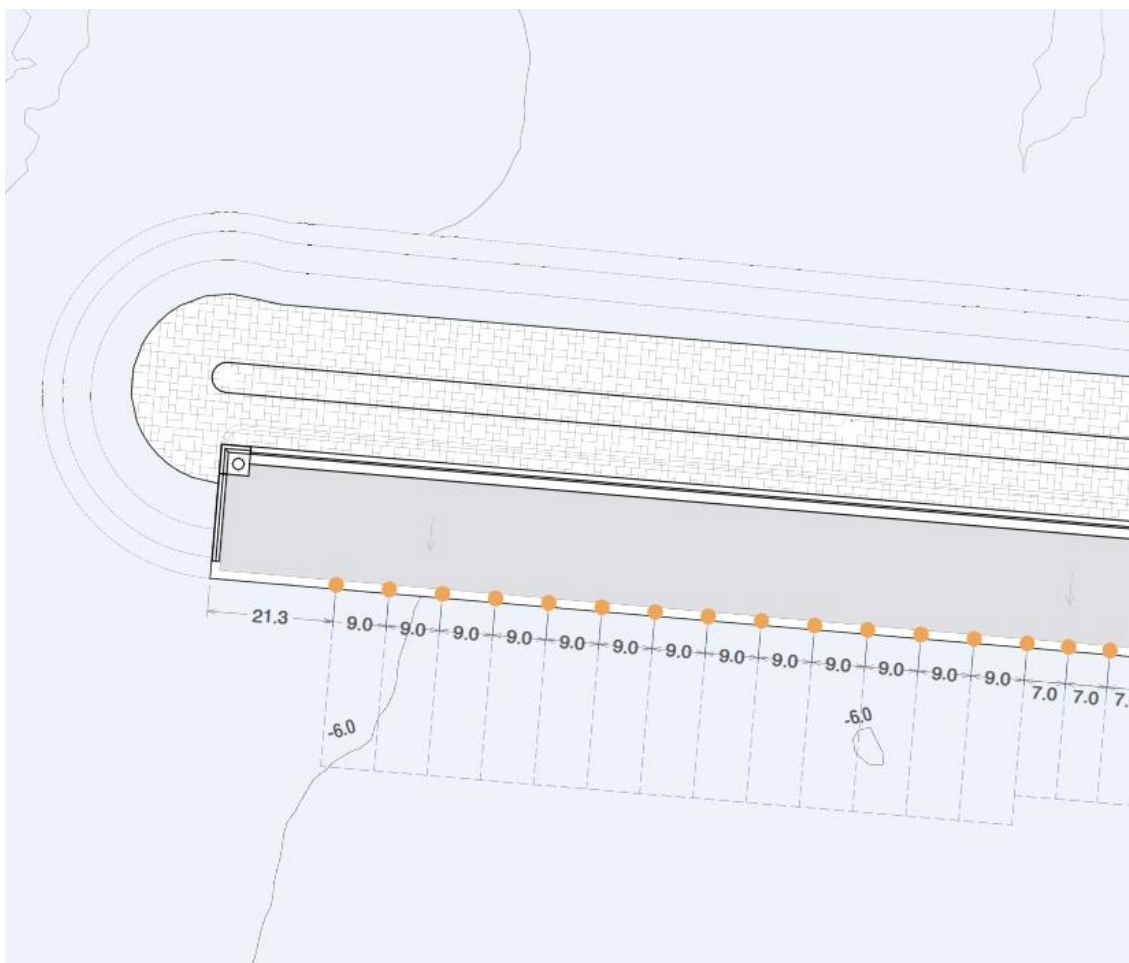


Figura 5 - Bitte di ormeggio in Banchina Nord (Sez. L-L)

BANCHINA NORD
IMBARCAZIONE DI PROGETTO PER TIRO BITTA
Loa = Lunghezza fuori tutto 24,00 m
Lpp = 22,00 M

Relazione sugli arredi

L_b = larghezza massima 5,5 m
P_{max} = Pescaggio max = 3,50 m
GT = Stazza Lorda = 100 ton
HL_U (Area investita dal vento) = 170 m ² .

L'ormeggio è del tipo "a murata".

Le componenti del carico dovuto al vento, che agisce sulla nave all'ormeggio, sono le seguenti:

- $W_t = (1+3.1 \sin\alpha) \cdot k_t \cdot H \cdot L_u \cdot v^2 = 143,27 \text{ 00 KN}$
- $W_l = (1+3.1 \sin\alpha) \cdot k_l \cdot H \cdot L_u \cdot v^2 = 0$

Essendo $W_{tb} = W_{th} = 71,64 \text{ KN}$

Considerando un coefficiente di sicurezza $\gamma_d = 2,5$, si ottiene che il tiro agente sulla bitta è $W_{tb} = W_{th} = 179 \text{ KN}$. Nell'ipotesi che su ogni bitta siano collegate due cime e che per ogni ormeggio siano impiegate almeno due bitte, si ottiene un tiro agente sulla singola bitta pari a 36,5 t. Considerando infine che ad ogni bitta possono essere collegate due o più gomene e che non può essere garantita una suddivisione uniforme delle forze tra le varie bitte, si sceglie di installare bitte da 50t (con interasse 9,00 m).

Il progetto prevede l'installazione di bitte da 50 t sull'intero sviluppo della banchina Nord, con differente interasse variabile tra 9,00 e 6,00 (si rimanda all'elaborato OM.32.a).

2.7. Bitte d'ormeggio - Banchina di Riva (Sez. N-N)

La Banchina Nord sarà destinata all'ormeggio delle imbarcazioni della piccola pesca. Si considera la massima imbarcazione prevista in ormeggio. L'ormeggio è del tipo "all'andana" (di poppa).

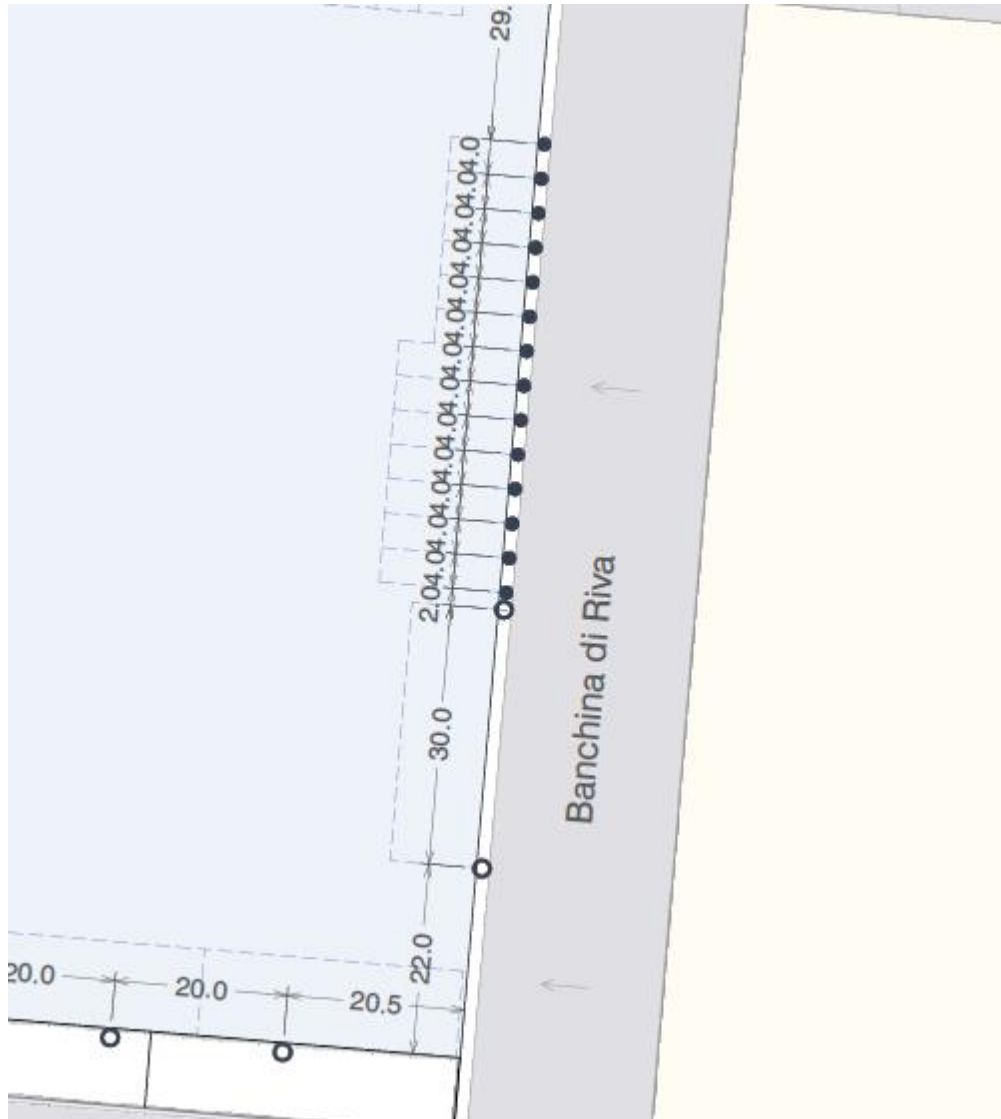


Figura 6 - Bitte di ormeggio in Banchina di Riva (Sez. N-N)

BANCHINA DI RIVA	
IMBARCAZIONE DI PROGETTO PER TIRO BITTA	
Loa = Lunghezza fuori tutto	11,5 m
Lpp =	10 m

Relazione sugli arredi

Lb= larghezza massima 3,5 m
Pmax = Pescaggio max = 2,00 m
GT = Stazza Lorda =
HL _U (Area investita dal vento) = 37 m ² .

L'ormeggio è del tipo "a murata".

Le componenti del carico dovuto al vento, che agisce sulla nave all'ormeggio, sono le seguenti:

- $W_t = (1+3.1 \sin\alpha) \cdot k_t \cdot H \cdot L_u \cdot v^2 = 31,55 \text{ 00 KN}$
- $W_l = (1+3.1 \sin\alpha) \cdot k_l \cdot H \cdot L_u \cdot v^2 = 0$

Essendo $W_{tb} = W_{th} = 15,77 \text{ KN}$

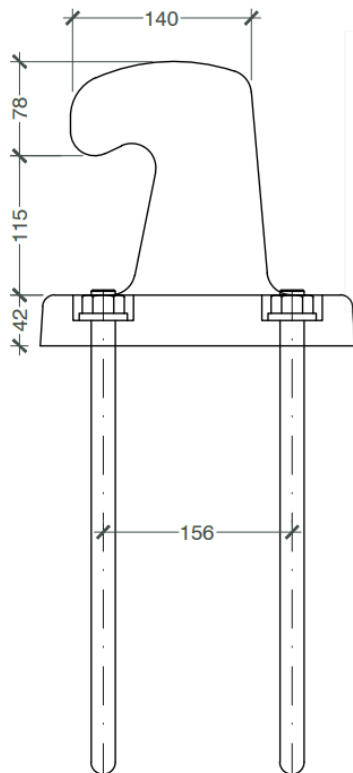
Considerando un coefficiente di sicurezza $\gamma_d=2,5$, si ottiene che il tiro agente sulla bitta è $W_{tb}=W_{th}=39,44 \text{ KN}$. Nell'ipotesi che su ogni bitta siano collegate due cime e che per ogni ormeggio siano impiegate almeno due bitte, si ottiene un tiro agente sulla singola bitta pari a 7,8 t. Considerando infine che ad ogni bitta possono essere collegate due o più gomene e che non può essere garantita una suddivisione uniforme delle forze tra le varie bitte, si sceglie di installare bitte da 10 t (con interasse 4,00 m).

3. VERIFICA ANCORAGGIO DELLA BITTA

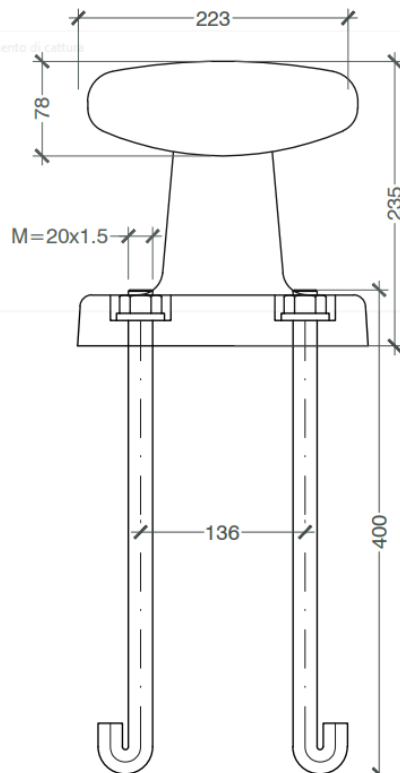
Le bitte di ormeggio sono progettate per resistere a diversi tiri (100 kN, 200kN, 300kN, 500 kN, 600 kN), l'ancoraggio alla trave di coronamento deve essere in grado di resistere a tali sollecitazioni.

3.1. Bitta 10 Ton.

VISTA LATERALE

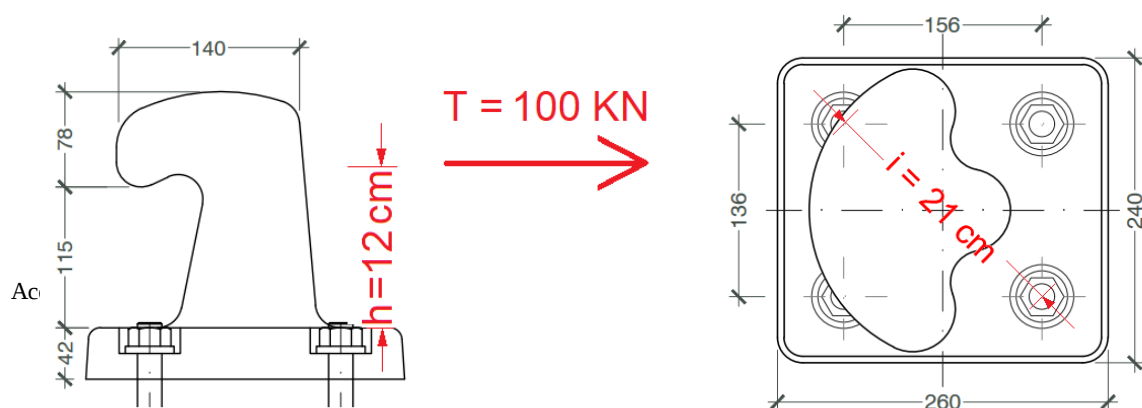


VISTA FRONTALE



L'ancoraggio è garantito da 4 tirafondi $\Phi 20$ in acciaio inox ASTM A 193 (Classe di resistenza 8.8) con lunghezza di ancoraggio 400 mm e rosetta di contrasto di dimensioni 80x20 mm. Il tiro alla bitta agisce al massimo ad un'altezza di circa 12 cm rispetto all'estradosso della trave di bordo. Ne scaturisce un'azione tagliente agente sui 4 tirafondi e un momento che viene equilibrato da sforzi di trazione e compressione

sui tirafondi stessi. La condizione di carico peggiore si ha in caso di tiro agente in direzione diagonale alla banchina; in questa situazione viene sollecitato un unico tirante a trazione e quello diametralmente opposto a compressione.



Si applica al tiro il coefficiente di normativa γ_q pari a 1,5 per la combinazione allo SLU. Per il taglio la sollecitazione indotta si ripartisce sui 4 tirafondi e può essere determinata con la seguente:

$$V_d = \gamma_q \frac{T}{n_t} = 1,5 \frac{100}{4} = 37,5 \text{ KN.}$$

Lo sforzo a trazione che si genera sul tirafondo sollecitato nel caso di tiro agente in direzione diagonale alla banchina si ottiene con la seguente:

$$N_d = \gamma_q \frac{T \cdot h}{i} = 1,5 \frac{100 \cdot 0,12}{0,21} = 85,7 \text{ KN.}$$

La verifica viene condotta sia separatamente a taglio e a trazione che combinando le due azioni.

La resistenza a taglio si ottiene secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 con la seguente:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M2} \quad \text{bulloni classe 4.6, 5.6 e 8.8;} \quad [4.2.63]$$

Dove:

f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale della vite = $800 \frac{N}{mm^2}$;

γ_{M2} è il fattore parziale di normativa;

A_{res} è l'area resistente della vite e si ottiene dalle tabelle 4.2.XVI e 4.2.XVII delle NTC 2018;

Si ha $F_{v,Rd} = 94,1 \text{ KN} > V_d = 37,5 \text{ KN}$, la verifica è soddisfatta.

Tabella 4.2.XVI – Coppie di serraggio per i bulloni 8.8

Viti 8.8 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	56.6	68.0	79.3	90.6	47.2	84.3
M14	90.2	108	126	144	64.4	115
M16	141	169	197	225	87.9	157
M18	194	232	271	310	108	192
M20	274	329	384	439	137	245
M22	373	448	523	597	170	303
M24	474	569	664	759	198	353
M27	694	833	972	1110	257	459
M30	942	1131	1319	1508	314	561
M36	1647	1976	2306	2635	457	817

Tabella 4.2.XVII Coppie di serraggio per bulloni 10.9

Viti 10.9 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	70.8	85.0	99.1	113	59.0	84.3
M14	113	135	158	180	80.5	115
M16	176	211	246	281	110	157
M18	242	290	339	387	134	192
M20	343	412	480	549	172	245
M22	467	560	653	747	212	303
M24	593	712	830	949	247	353
M27	868	1041	1215	1388	321	459
M30	1178	1414	1649	1885	393	561
M36	2059	2471	2882	3294	572	817

La resistenza a trazione si ottiene secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 con la seguente:

$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ per i bulloni;} \quad [4.2.68]$$

Si ha $F_{t,Rd} = 141,1 \text{ KN} > N_d = 85,7 \text{ KN}$, la verifica è soddisfatta.

La verifica combinata a trazione e taglio viene eseguita utilizzando la formula di interazione lineare delle NTC 2018:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.71]$$

Si ottiene un valore pari a $0,84 < 1$, la verifica è quindi soddisfatta.

La verifica a sfilamento del tirafondo si esegue considerando l'aderenza che si realizza tra barra e il calcestruzzo (4.1.4 delle NTC 2018).

$$F_a = f_{bd} \cdot D \cdot \pi \cdot L = \frac{2,25 \cdot \eta \cdot f_{ctk}}{\gamma_c} \cdot D \cdot \pi \cdot L = \frac{2,25 \cdot 1 \cdot 2,35 \frac{N}{mm^2}}{1,5} \cdot 20 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 400 \text{ mm} = 88,5 \text{ KN}.$$

f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza;

f_{ctk} è la resistenza caratteristica del calcestruzzo a trazione;

η è un parametro funzione dell'aderenza e delle dimensioni delle barre;

Il secondo contributo è calcolato considerando la forza di compressione a cui può resistere il calcestruzzo a contrasto con la rondella ed è pari a:

$$F_r = \frac{(D^2 - d^2)}{4} \cdot \pi \cdot f_{cd} = \frac{(80^2 - 20^2)}{4} \cdot \pi \cdot 21,17 = 99,7 \text{ KN}.$$

Dove:

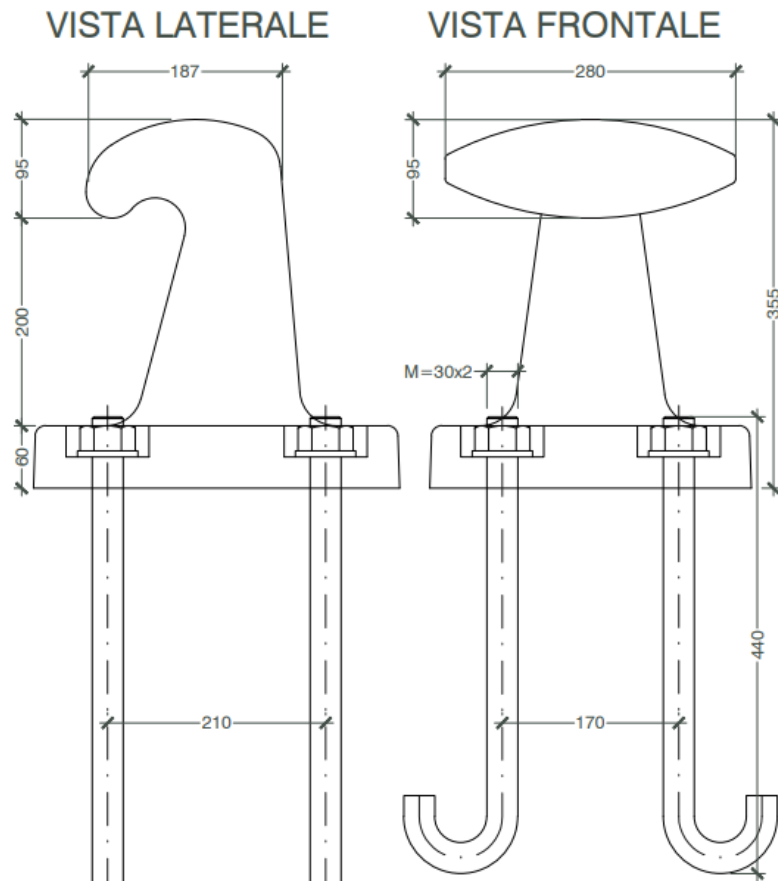
f_{cd} è la resistenza a compressione del calcestruzzo.

La resistenza complessiva allo sfilamento è maggiore dell'azione di trazione e la verifica risulta soddisfatta:

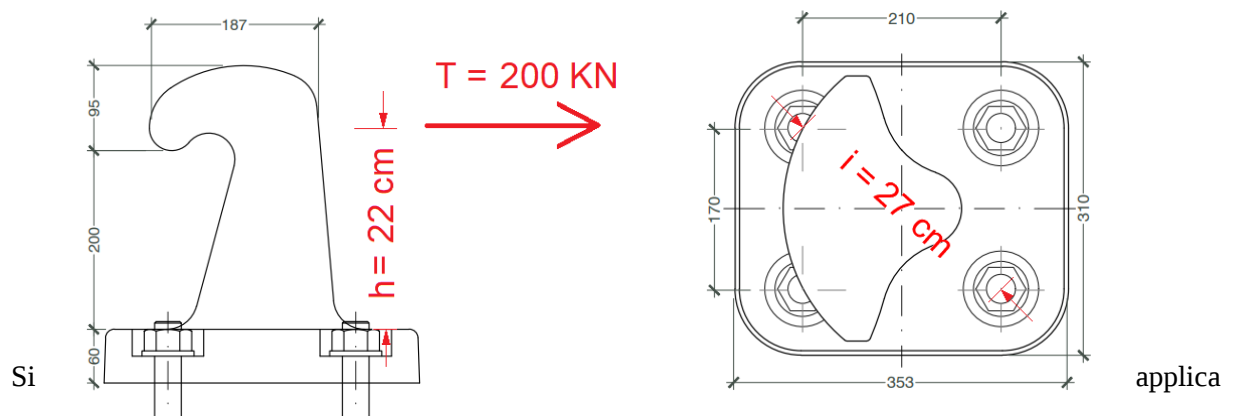
$$R = F_a + F_r = 188,2 \text{ KN} > 85,7 \text{ KN}.$$

3.2. Bitta 20 Ton.

L'ancoraggio è garantito da 4 tirafondi $\Phi 20$ in acciaio inox ASTM A 193 (Classe di resistenza 8.8) con lunghezza di ancoraggio 440 mm e rosetta di contrasto di dimensioni 100x20 mm. Il tiro alla bitta agisce al massimo ad un'altezza di circa 12 cm rispetto all'estradosso della trave di bordo. Ne scaturisce un'azione tagliante agente sui 4 tirafondi e un momento



che viene equilibrato da sforzi di trazione e compressione sui tirafondi stessi. La condizione di carico peggiore si ha in caso di tiro agente in direzione diagonale alla banchina; in questa situazione viene sollecitato un unico tirante a trazione e quello diametralmente opposto a compressione.



Relazione sugli arredi

al tiro il coefficiente di normativa γ_q pari a 1,5 per la combinazione allo SLU. Per il taglio la sollecitazione indotta si ripartisce sui 4 tirafondi e può essere determinata con la seguente:

$$V_d = \gamma_q \frac{T}{n_t} = 1,5 \frac{200}{4} = 75 \text{ KN.}$$

Lo sforzo a trazione che si genera sul tirafondo sollecitato nel caso di tiro agente in direzione diagonale alla banchina si ottiene con la seguente:

$$N_d = \gamma_q \frac{T \cdot h}{i} = 1,5 \frac{200 \cdot 0,22}{0,27} = 244,4 \text{ KN.}$$

La verifica viene condotta sia separatamente a taglio e a trazione che combinando le due azioni.

La resistenza a taglio si ottiene secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 con la seguente:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ bulloni classe 4.6, 5.6 e 8.8;} \quad [4.2.63]$$

Dove:

f_{tbk} è la resistenza a rottura del materiale della vite = $800 \frac{N}{mm^2}$;

γ_{M2} è il fattore parziale di normativa;

A_{res} è l'area resistente della vite e si ottiene dalle tabelle 4.2.XVI e 4.2.XVII delle NTC 2018;

Si ha $F_{v,Rd} = 215,4 \text{ KN} > V_d = 75 \text{ KN}$, la verifica è soddisfatta.

Tabella 4.2.XVI – Coppie di serraggio per i bulloni 8.8

Viti 8.8 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	56.6	68.0	79.3	90.6	47.2	84.3
M14	90.2	108	126	144	64.4	115
M16	141	169	197	225	87.9	157
M18	194	232	271	310	108	192
M20	274	329	384	439	137	245
M22	373	448	523	597	170	303
M24	474	569	664	759	198	353
M27	694	833	972	1110	257	459
M30	942	1131	1319	1508	314	561
M36	1647	1976	2306	2635	457	817

Tabella 4.2.XVII Coppie di serraggio per bulloni 10.9

Viti 10.9 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	70.8	85.0	99.1	113	59.0	84.3
M14	113	135	158	180	80.5	115
M16	176	211	246	281	110	157
M18	242	290	339	387	134	192
M20	343	412	480	549	172	245
M22	467	560	653	747	212	303
M24	593	712	830	949	247	353
M27	868	1041	1215	1388	321	459
M30	1178	1414	1649	1885	393	561
M36	2059	2471	2882	3294	572	817

La resistenza a trazione si ottiene secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 con la seguente:

$$F_{t,Rd} = 0,9 \cdot f_{tbk} \cdot A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ per i bulloni;} \quad [4.2.68]$$

Si ha $F_{t,Rd} = 323,1 \text{ KN} > N_d = 244,4 \text{ KN}$, la verifica è soddisfatta.

La verifica combinata a trazione e taglio viene eseguita utilizzando la formula di interazione lineare delle NTC 2018:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.71]$$

Si ottiene un valore pari a $0,88 < 1$, la verifica è quindi soddisfatta.

La verifica a sfilamento del tirafondo si esegue considerando l'aderenza che si realizza tra barra e il calcestruzzo (4.1.4 delle NTC 2018).

$$F_a = f_{bd} \cdot D \cdot \pi \cdot L = \frac{2,25 \cdot \eta \cdot f_{ctk}}{\gamma_c} \cdot D \cdot \pi \cdot L = \frac{2,25 \cdot 1 \cdot 2,35 \frac{N}{mm^2}}{1,5} \cdot 30 \text{ mm} \cdot \pi \cdot 440 \text{ mm} = 146,1 \text{ KN.}$$

f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza;

f_{ctk} è la resistenza caratteristica del calcestruzzo a trazione;

η è un parametro funzione dell'aderenza e delle dimensioni delle barre;

Il secondo contributo è calcolato considerando la forza di compressione a cui può resistere il calcestruzzo a contrasto con la rondella ed è pari a:

$$F_r = \frac{(D^2 - d^2)}{4} \cdot \pi \cdot f_{cd} = \frac{(100^2 - 30^2)}{4} \cdot \pi \cdot 21,17 = 151,2 \text{ KN.}$$

Dove:

f_{cd} è la resistenza a compressione del calcestruzzo.

La resistenza complessiva allo sfilamento è maggiore dell'azione di trazione e la verifica risulta soddisfatta:

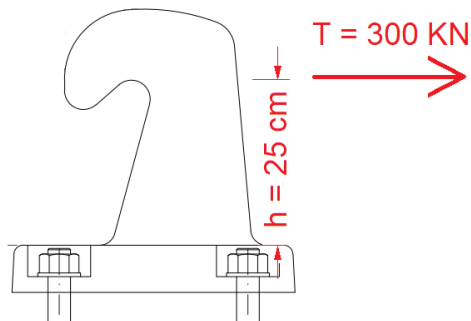
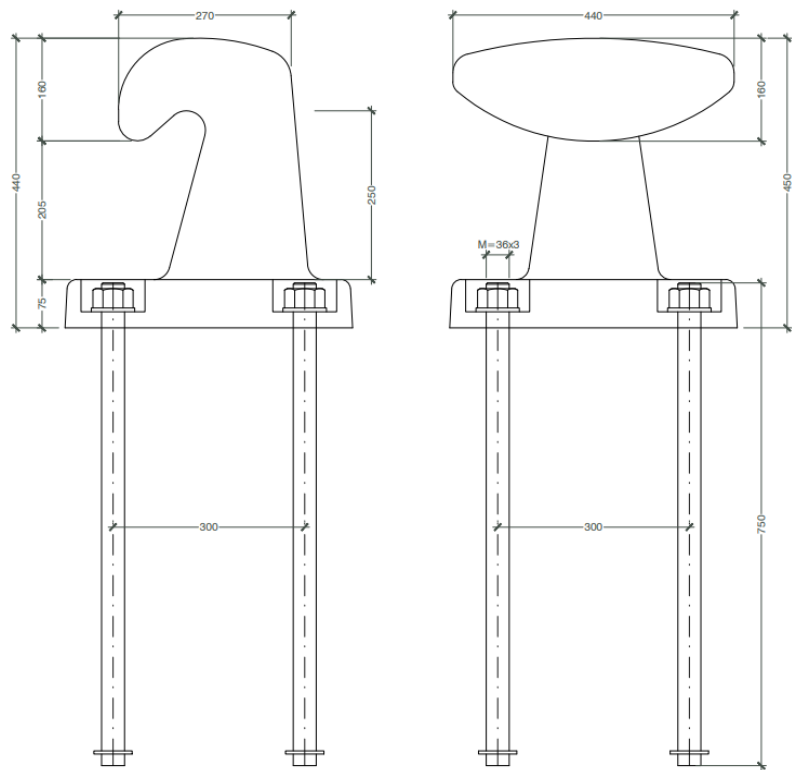
$$R = F_a + F_r = 297,3 \text{ KN} > 244,4 \text{ KN}.$$

3.3. Bitta 30 Ton.

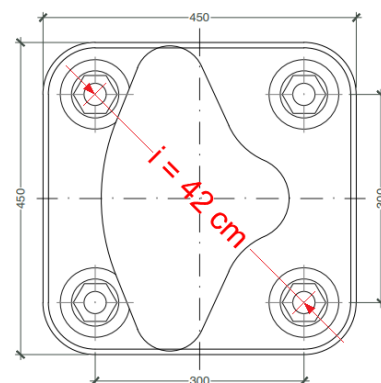
L'ancoraggio è garantito da 4 tirafondi $\Phi 36$ in acciaio inox ASTM A 193 (Classe di resistenza 8.8) con lunghezza di ancoraggio 750 mm e rosetta di contrasto di dimensioni 120x30 mm.

Il tiro alla bitta agisce al massimo ad un'altezza di circa 25 cm rispetto all'estradosso della trave di bordo. Ne scaturisce un'azione tagliante agente sui 4 tirafondi e un momento che viene equilibrato da sforzi di trazione e compressione sui tirafondi stessi.

La condizione di carico peggiore si ha in caso di tiro agente in direzione diagonale alla banchina; in questa situazione viene sollecitato un unico tirante a trazione e quello diametralmente opposto a compressione.



Si



applica

al tiro il coefficiente di normativa γ_q pari a 1,5 per la combinazione allo SLU. Per il taglio la sollecitazione indotta si ripartisce sui 4 tirafondi e può essere determinata con la seguente:

Relazione sugli arredi

$$V_d = \gamma_q \frac{T}{n_t} = 1,5 \frac{300}{4} = 112,5 \text{ KN.}$$

Lo sforzo a trazione che si genera sul tirafondo sollecitato nel caso di tiro agente in direzione diagonale alla banchina si ottiene con la seguente:

$$N_d = \gamma_q \frac{T \cdot h}{i} = 1,5 \frac{300 \cdot 0,25}{0,42} = 265,2 \text{ KN.}$$

La verifica viene condotta sia separatamente a taglio e a trazione che combinando le due azioni.

La resistenza a taglio si ottiene secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 con la seguente:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ bulloni classe 4.6, 5.6 e 8.8;} \quad [4.2.63]$$

Dove:

$$f_{tbk} \text{ è la resistenza a rottura del materiale della vite} = 800 \frac{N}{mm^2};$$

γ_{M2} è il fattore parziale di normativa;

A_{res} è l'area resistente della vite e si ottiene dalle tabelle 4.2.XVI e 4.2.XVII delle NTC 2018;

Si ha $F_{v,Rd} = 313,7 \text{ KN} > V_d = 112,5 \text{ KN}$, la verifica è soddisfatta.

Tabella 4.2.XVI – Coppie di serraggio per i bulloni 8.8

Viti 8.8 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	56.6	68.0	79.3	90.6	47.2	84.3
M14	90.2	108	126	144	64.4	115
M16	141	169	197	225	87.9	157
M18	194	232	271	310	108	192
M20	274	329	384	439	137	245
M22	373	448	523	597	170	303
M24	474	569	664	759	198	353
M27	694	833	972	1110	257	459
M30	942	1131	1319	1508	314	561
M36	1647	1976	2306	2635	457	817

Tabella 4.2.XVII Coppie di serraggio per bulloni 10.9

Viti 10.9 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	70.8	85.0	99.1	113	59.0	84.3
M14	113	135	158	180	80.5	115
M16	176	211	246	281	110	157
M18	242	290	339	387	134	192
M20	343	412	480	549	172	245
M22	467	560	653	747	212	303
M24	593	712	830	949	247	353
M27	868	1041	1215	1388	321	459
M30	1178	1414	1649	1885	393	561
M36	2059	2471	2882	3294	572	817

Relazione sugli arredi

La resistenza a trazione si ottiene secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 con la seguente:

$$F_{t,Rd} = 0,9_{f_{tk}} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ per i bulloni;} \quad [4.2.68]$$

Si ha $F_{t,Rd} = 470,6 \text{ KN} > N_d = 265,2 \text{ KN}$, la verifica è soddisfatta.

La verifica combinata a trazione e taglio viene eseguita utilizzando la formula di interazione lineare delle NTC 2018:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.71]$$

Si ottiene un valore pari a $0,761 < 1$, la verifica è quindi soddisfatta.

La verifica a sfilamento del tirafondo si esegue considerando sia l'aderenza che si realizza tra barra e calcestruzzo (4.1.4 delle NTC 2018) sia il contributo della rondella di contrasto annegata nel getto di cls (4.1.5 delle NTC 2018).

Il primo contributo è pari a:

$$F_a = f_{bd} * D * \pi * L = \frac{2,25 * \eta * f_{ctk}}{\gamma_c} * D * \pi * L = \frac{2,25 * 0,96 * 2,35 \frac{N}{mm^2}}{1,5} * 36 \text{ mm} * \pi * 750 \text{ mm} = 287 \text{ KN}.$$

Dove:

f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza;

f_{ctk} è la resistenza caratteristica del calcestruzzo a trazione;

η è un parametro funzione dell'aderenza e delle dimensioni delle barre;

Il secondo contributo è calcolato considerando la forza di compressione a cui può resistere il calcestruzzo a contrasto con la rondella ed è pari a:

$$F_r = \frac{(D^2 - d^2)}{4} * \pi * f_{cd} = \frac{(120^2 - 36^2)}{4} * \pi * 21,17 = 217,8 \text{ KN}.$$

Dove:

f_{cd} è la resistenza a compressione del calcestruzzo.

La resistenza complessiva allo sfilamento è maggiore dell'azione di trazione e la verifica risulta soddisfatta:

$$R = F_a + F_r = 504,7 \text{ KN} > 265,2 \text{ KN}.$$

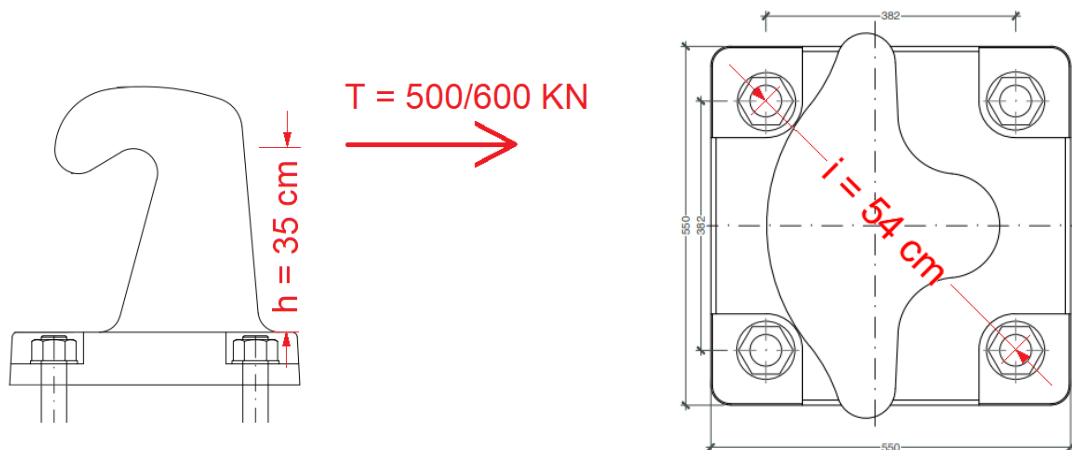
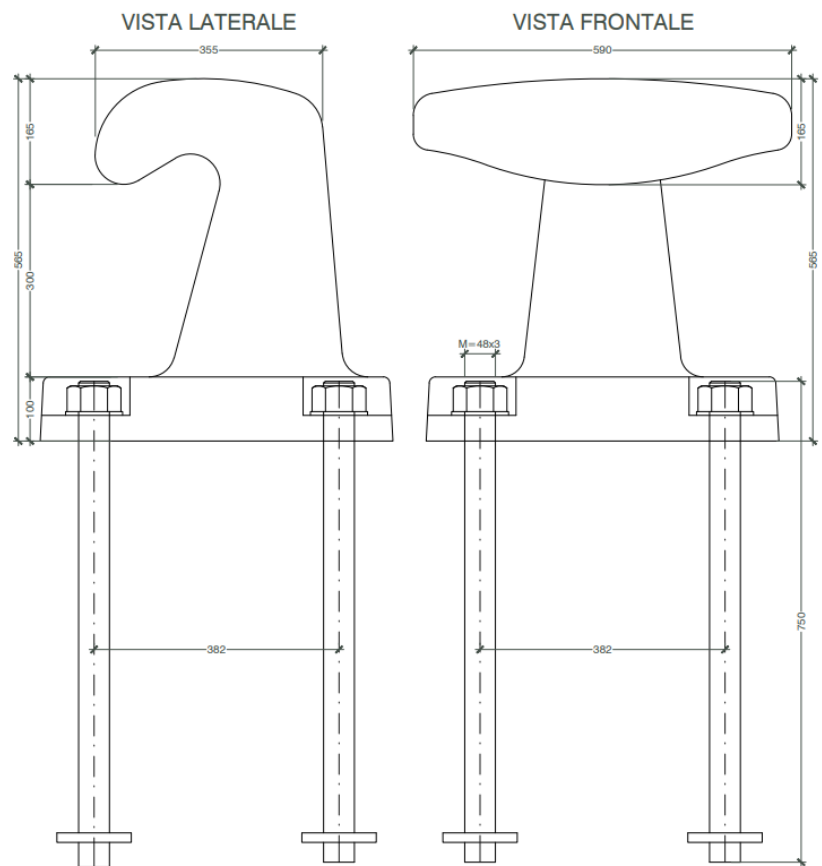
3.4. Bitte 50/60 Ton

Relazione sugli arredi

L'ancoraggio è garantito da 4 tirafondi $\Phi 48$ in acciaio inox ASTM A 193 (Classe di resistenza 8.8) con lunghezza di ancoraggio 750 mm e rosetta di contrasto di dimensioni 200x40 mm.

Il tiro alla bitta agisce al massimo ad un'altezza di circa 35 cm rispetto all'estradosso della trave di bordo. Ne scaturisce un'azione tagliante agente sui 4 tirafondi e un momento che viene equilibrato da sforzi di trazione e compressione sui tirafondi stessi. La condizione di carico peggiore si ha in caso di tiro

agente in direzione diagonale alla banchina; in questa situazione viene sollecitato un unico tirante a trazione e quello diametralmente opposto a compressione.



le verifiche è stato considerato il valore di tiro alla bitta

cautelativo (60 ton). Si applica al tiro il coefficiente di normativa γ_q pari a 1,5 per la combinazione allo SLU. Per il taglio la sollecitazione indotta si ripartisce sui 4 tirafondi e può essere determinata con la seguente:

Per
più

Relazione sugli arredi

$$V_d = \gamma_q \frac{T}{n_t} = 1,5 \frac{600}{4} = 225 \text{ KN.}$$

Lo sforzo a trazione che si genera sul tirafondo sollecitato nel caso di tiro agente in direzione diagonale alla banchina si ottiene con la seguente:

$$N_d = \gamma_q \frac{T \cdot h}{i} = 1,5 \frac{600 \cdot 0,35}{0,54} = 583,1 \text{ KN.}$$

La verifica viene condotta sia separatamente a taglio e a trazione che combinando le due azioni.

La resistenza a taglio si ottiene secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 con la seguente:

$$F_{v,Rd} = 0,6 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M2} \quad \text{bulloni classe 4.6, 5.6 e 8.8;} \quad [4.2.63]$$

Dove:

$$f_{tbk} \text{ è la resistenza a rottura del materiale della vite } = 800 \frac{N}{mm^2};$$

γ_{M2} è il fattore parziale di normativa;

A_{res} è l'area resistente della vite e si ottiene dalle tabelle 4.2.XVI e 4.2.XVII delle NTC 2018;

Si ha $F_{v,Rd} = 564,5 \text{ KN} > V_d = 225 \text{ KN}$, la verifica è soddisfatta.

Tabella 4.2.XVI – Coppie di serraggio per i bulloni 8.8

Viti 8.8 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	56.6	68.0	79.3	90.6	47.2	84.3
M14	90.2	108	126	144	64.4	115
M16	141	169	197	225	87.9	157
M18	194	232	271	310	108	192
M20	274	329	384	439	137	245
M22	373	448	523	597	170	303
M24	474	569	664	759	198	353
M27	694	833	972	1110	257	459
M30	942	1131	1319	1508	314	561
M36	1647	1976	2306	2635	457	817

Tabella 4.2.XVII Coppie di serraggio per bulloni 10.9

Viti 10.9 – Momento di serraggio M [N m]						
Vite	k=0.10	k=0.12	k=0.14	k=0.16	$F_{p,C}$ [kN]	A_{res} [mm ²]
M12	70.8	85.0	99.1	113	59.0	84.3
M14	113	135	158	180	80.5	115
M16	176	211	246	281	110	157
M18	242	290	339	387	134	192
M20	343	412	480	549	172	245
M22	467	560	653	747	212	303
M24	593	712	830	949	247	353
M27	868	1041	1215	1388	321	459
M30	1178	1414	1649	1885	393	561
M36	2059	2471	2882	3294	572	817

Relazione sugli arredi

La resistenza a trazione si ottiene secondo quanto prescritto dalle NTC 2018 con la seguente:

$$F_{t,Rd} = 0,9 f_{tbk} A_{res} / \gamma_{M2}, \text{ per i bulloni;} \quad [4.2.68]$$

Si ha $F_{t,Rd} = 846,7 \text{ KN} > N_d = 583,1 \text{ KN}$, la verifica è soddisfatta.

La verifica combinata a trazione e taglio viene eseguita utilizzando la formula di interazione lineare delle NTC 2018:

$$\frac{F_{V,Ed}}{F_{V,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad [4.2.71]$$

Si ottiene un valore pari a $0,89 < 1$, la verifica è quindi soddisfatta.

La verifica a sfilamento del tirafondo si esegue considerando sia l'aderenza che si realizza tra barra e calcestruzzo (4.1.4 delle NTC 2018) sia il contributo della rondella di contrasto annegata nel getto di cls (4.1.5 delle NTC 2018).

Il primo contributo è pari a:

$$F_a = f_{bd} * D * \pi * L = \frac{2,25 * \eta * f_{ctk}}{\gamma_c} * D * \pi * L = \frac{2,25 * 0,84 * 2,35 \frac{N}{mm^2}}{1,5} * 48 \text{ mm} * \pi * 750 \text{ mm} = 334,7 \text{ KN}.$$

Dove:

f_{bd} è la tensione tangenziale di aderenza;

f_{ctk} è la resistenza caratteristica del calcestruzzo a trazione;

η è un parametro funzione dell'aderenza e delle dimensioni delle barre;

Il secondo contributo è calcolato considerando la forza di compressione a cui può resistere il calcestruzzo a contrasto con la rondella ed è pari a:

$$F_r = \frac{(D^2 - d^2)}{4} * \pi * f_{cd} = \frac{(200^2 - 48^2)}{4} * \pi * 21,17 = 626,5 \text{ KN}.$$

Dove:

f_{cd} è la resistenza a compressione del calcestruzzo.

La resistenza complessiva allo sfilamento è maggiore dell'azione di trazione e la verifica risulta soddisfatta:

$$R = F_a + F_r = 961,2 \text{ KN} > 583,1 \text{ KN}.$$

4. BIBLIOGRAFIA

- Code of practice for Design of Fendering and Mooring Systems. BS 6349 : Part4
- Recommendations of the Committee for Waterfront Structures, Harbours and Waterways EAU2004
- Guidelines for the Design of Fender Systems. PIANC 2002
- On Fender design and Berthing Velocities - 24th PIANC Congress - J.U. Brolsma et al.
- The Berthing Ship - F. Vasco Costa
- High Performance Fenders - section 1 - Trelleborg Marine Systems
- Fender Design - section 12 - Trelleborg Marine Systems
- Marine Fendering Systems - Fentek Marine Systems
- Lineamenti di costruzioni marittime - G. Matteotti