



COMUNE DI ORISTANO



PROGETTO DI RIPRISTINO DEL TIRANTE D'ACQUA NEL PORTO DI TORREGRANDE (OR)

PROGETTO DEFINITIVO

TAVOLA:

B

TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE TECNICA

INT: REF.: **13-010**

REV. NO		
00	09.02.2021	
01	24.01.2022	REVISIONE
02		
03		

PREP.: EA CH.: AR APPR.: FR

Il presente progetto, o parte di esso, non può essere riprodotto in alcuna forma, in alcun modo e per nessuno scopo, senza autorizzazione. Ogni infrazione sarà perseguita a termini di legge.

PROGETTISTA:



Viale Trieste, 65/1 - 09123 Cagliari - Italy
Tel. +39 070 6848202 - Fax +39 070 6404743
www.martech.it e-mail: info@martech.it

Responsabile tecnico:
Dott. Ing. ANDREA RITOSSA



COMMITTENTE:

COMUNE DI ORISTANO

Indice

1	Premessa e caratterizzazione del sito	2
2	Dimensionamento degli ormeggi	5
2.1	Forze derivanti dall'azione del vento	6
2.2	Forze derivanti dall'azione della corrente marina	7
2.3	Forze derivanti dall'azione del moto ondoso	8
2.3.1	Calcolo del tiro risultante.....	9
3	Descrizione e specifiche tecniche dei pontili galleggianti proposti	12
3.1	Galleggiamento e stabilità	13
3.1.1	Galleggiamento.....	13
3.3	Dimensionamento e verifica dei corpi morti	28
3.3.1	Verifica a scorrimento sul piano di posa.....	31
3.3.2	Verifica a ribaltamento (rispetto al punto A):.....	32
3.4	Dimensionamento e verifica degli ancoraggi.....	34
3.4.1	Verifiche di resistenza per gli spezzoni di catena.....	35
3.4.2	Dimensionamento delle catene di collegamento dei pontili ai corpi morti.....	36
3.4.3	Dimensionamento del sistema di ormeggio delle imbarcazioni	36
3.4.4	Scelta della catena madre.....	37

1 Premessa e caratterizzazione del sito

La presente relazione descrive il calcolo di dimensionamento dei pontili galleggianti e sistemi di ormeggio da impiegare nel presente progetto di riqualificazione del porto turistico e porto pescatori di Torregrande (OR).

Nel presente progetto è prevista la sostituzione dei pontili galleggianti presenti e l'installazione di nuovi moduli galleggianti secondo la seguente suddivisione:

Complessivamente verranno installati: 26 pontili galleggianti così ripartiti:

- Darsena nord: 5 pontili galleggianti per una lunghezza complessiva di 60.00 m;
- Darsena sud: 21 pontili galleggianti di cui due file da 8 moduli e una fila da 5;

L'esatta disposizione delle imbarcazioni che andranno ad ormeggiarvi è definita nella planimetria indicante il layout portuale delle due darsene.

Nelle immagini sottostanti è riportata l'area di intervento.



Figura 1: Inquadramento geografico area d'intervento;

L'accesso ai pontile verrà garantito tramite una passerella di dimensioni 6.00 m x 1,20 m.

L'area oggetto di studio, insiste su un'area che, tra aree a terra, moli foranei e specchi acquei, si estende per oltre 9 ha. Il braccio di sopraflutto, che protegge il ridosso dal III quadrante, si estende per circa 500 m. L'idrodinamica nel golfo è principalmente controllata dal vento e dalle onde, mentre le maree e i forzanti baroclinici non influenzano significativamente la circolazione delle acque. Il vento dominante della zona è il

maestrale, proveniente da nord-ovest (settori tra 310° e 315°), comprendente il 70% di eventi con un'intensità superiore 10ms-1. Il vento di Maestrale genera una circolazione d'acqua in senso orario nella parte centrale e in altre parti del bacino. In prossimità dei due capi (Capo San Marco e Capo Frasca) e lungo i bordi del bacino nelle aree più riparate, la circolazione dell'acqua è caratterizzata dalla presenza di piccoli vortici a rotazione antioraria. Si ritiene pertanto che le circolazioni di corrente in senso antiorario abbiano generato l'imbonimento del bacino portuale e relativa avamposto.

La verifica delle condizioni di agitazione residua nel bacino portuale è stata eseguita facendo riferimento ai valori di altezza d'onda raccomandati nelle *Linee Guida degli Australian Standard (AS3962)*:

- condizione rara: $H_s \leq 0.60$ m per eventi con periodo di ritorno di 50 anni;
- condizione frequente: $H_s \leq 0.30$ m per eventi con periodo di ritorno di 1 anno.

Nella presente relazione si procederà alla verifica delle condizioni di esercizio delle strutture galleggianti per i valori di altezza d'onda residua pari a 0.45 m comunque prossimo al valori limite di 0.50m riportato nelle "Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici" approvate con voto del 27.02.2002 n.212 dalla terza Sezione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. In relazione a quanto esposto i dati ottenuti sono tali da consentire l'installazione dei pontili e l'ormeggio delle imbarcazioni.

Di seguito viene descritta la procedura di dimensionamento e verifica per i corpi morti per l'ancoraggio dei pontili galleggianti in ampliamento e per l'ormeggio delle imbarcazioni.

Nel seguente stralcio della tavola progettuale allegata viene riportata la posizione dei nuovi pontili galleggianti con il posizionamento dei nuovi corpi morti e catena madre.

2 Dimensionamento degli ormeggi

Il dimensionamento dei nuovi sistemi di ormeggio delle imbarcazioni richiede la conoscenza di tutti quei fattori che generano forze di trazione sulle cime e sulle catene delle imbarcazioni (tiro).

Note le dimensioni delle imbarcazioni di progetto, è possibile calcolare il peso del corpo morto in c.a. affinché esso possa resistere, per gravità, alle azioni di sollevamento e/o trascinamento dall'imbarcazione ormeggiata.

Il calcolo delle azioni agenti sulle imbarcazioni è stato effettuato basandosi sulle linee guida PIANC¹, in particolare riferendosi ai documenti "Guidelines for Marina Design" (2016). Sulla base di queste, di seguito, vengono considerati gli sforzi indotti agli organi di collegamento dal vento che va ad incidere sulla murata delle imbarcazioni e dalle onde provocate dal vento (non si considerano le correnti essendo all'interno di un bacino).

Per determinare l'entità di queste azioni, si è fatto riferimento ai valori di velocità del vento riportati nelle "Nuove norme tecniche per le costruzioni", paragrafo 3.3 "Azioni del vento". La velocità di riferimento per il calcolo delle azioni dovute al vento è il valore caratteristico della velocità del vento a 10 m dal suolo, mediata su 10 minuti e riferita ad un periodo di ritorno di 50 anni. Per la zona d'interesse il valore è pari a 28 m/s. Riportando tale valore alla quota di 2 m (considerando l'altezza delle imbarcazioni pari a tale quota) attraverso la relazione che esprime l'andamento della velocità del vento lungo la verticale si ottiene un valore di 22.25 m/s.

$$U(10) = U(z) \left(\frac{10}{z} \right)^{\frac{1}{7}}$$

I sistemi di ormeggio sono dimensionati per tale intensità e considerando anche la deriva del pontile dovuta a: moto ondoso e alle correnti marine e vento.

¹ ¹AIPCN – PIANC (The World Association for Waterborne Transport Infrastructure), RecCom-WG-168-2020 – *Single point yacht mooring*.

2.1 Forze derivanti dall'azione del vento

L'azione di carico dovuta all'azione del vento è data dalla seguente formula:

$$F_{wind} = 0.0006 C_D (v C_d)^2 [KPa]$$

dove:

- 0.0006 è la **pressione del vento** sulla superficie espressa in KPa;
- v è la **velocità media del vento**, per la durata considerata, alla quota di 10 metri sopra il livello del mare assunta pari a 35 m/s;
- C_D è il **coefficiente di resistenza aerodinamica**, che secondo il Codice Britannico è variabile tra i valori 0.2 e 0.75 per vento di prua o di poppa (è consigliato un valore di 0.45) e raccomandato pari ad 1 per vento trasversale rispetto all'asse longitudinale dell'imbarcazione.
- cd rappresenta il **coefficiente di esposizione** da utilizzare a seconda della durata considerata:

Durata	1 ora	10 min	1 min	15 sec	5 sec	3 sec
cd (dati da siti off-shore)	1	1,05	1,16	1,26	1,31	1,37
cd (dati da siti costieri)	1		1,23			1,5

La durata da prendere in considerazione dipende dalle dimensioni delle imbarcazioni considerate, in particolare:

- fino ad una lunghezza di 18.00 m si utilizzano 3 secondi di durata;
- da 18.00 m a 50.00 m si utilizza una durata di 15 secondi;
- oltre i 50.00 m, utilizzare una durata di 15 secondi.

Nel caso in questione, trattandosi di un sito costiero, si adotta un coefficiente di 1.5 corrispondente ad una durata di 3 secondi poiché la lunghezza delle imbarcazioni che verranno ormeggiate è di 10.00m.

Il profilo medio delle imbarcazioni varia con gli stili, la tipologia e la lunghezza. Nella tabella sottostante si riportano le superfici delle imbarcazioni che troveranno ormeggio, ricavate dalla medesima linea guida PIANC:

Aree da considerare per l'azione del vento (fonte PIANC)		
IMBARCAZIONE	Area laterale	Area frontale
	[m ²]	[m ²]
CAT II - 8,50 m x 3,00 m	4,00	4,00
CAT III - 10,00 m x 3,50 m	20,00	6,00
CAT IV - 12,00 m x 4,00 m	30,00	9,00

Tabella 1 Aree da considerare per l'azione del vento in funzione della lunghezza fuori tutto dell'imbarcazione

2.2 Forze derivanti dall'azione della corrente marina

I carichi derivanti dall'azione della corrente marina, si utilizza la consueta formula per la pressione dinamica di un fluido su una superficie:

$$F_{current} = qv^2A [KN]$$

In cui q è la pressione della corrente espressa in KPa in funzione della velocità della corrente, v è la velocità della corrente in m/s e A rappresenta la superficie dell'imbarcazione sottoposta all'azione della corrente.

Le pressioni esercitate dalla corrente, espresse in KPa, sono tabellate nella tabella sottostante:

Velocità	0,5 m/s	1,0 m/s	1,25 m/s	1,50 m/s	1,75 m/s	2,0 m/s
Pressione	0,25	1	1,56	2,25	3,06	4

Tabella x Valori di pressione esercitata dalla corrente sulla superficie immersa dell'imbarcazione

Queste pressioni sono dovute al vento che tende a trascinare lo strato superficiale delle acque marine nella sua stessa direzione. Il movimento di deriva si trasmette agli strati inferiori con intensità decrescente e direzione man mano variabile. Il movimento inizia con ritardo rispetto al momento d'inizio dell'azione del vento e solo gradualmente raggiunge la velocità di regime. Venti leggeri possono generare deboli correnti di deriva in circa 6 ore mentre sono necessarie ben 48 ore di vento forte perché la relativa corrente di deriva raggiunga la velocità di regime. L'intensità della corrente di deriva a regime è circa 1,5% della velocità del vento che l'ha generata, velocità che dipende anche da altri fattori, ed in particolare dall'ampiezza dello specchio d'acqua libero da ostacoli, denominato fetch, esistente nella direzione di provenienza del vento. Fetch limitati non consentono alla corrente di raggiungere velocità della percentuale sopra indicata, anche se il vento spirava dalla stessa direzione per periodi di tempo superiori alle 48 ore. Come velocità della corrente viene assunto un valore pari a 0.5 m/s. da cui consegue una pressione esercitata dalla corrente sulla superficie immersa dell'imbarcazione pari a 0.25 KPa.

Il contributo dell'azione delle correnti al tiro massimo è calcolabile moltiplicando le pressioni **Tabella** con le aree immerse nella seguente tabella:

Aree da considerare per l'azione della corrente (fonte PIANC)		
IMBARCAZIONE	Area laterale	Area frontale
	[m ²]	[m ²]
CAT II - 8,50 m x 3,00 m	8,50	3,50
CAT III - 10,00 m x 3,50 m	12,00	4,50
CAT IV - 12,00 m x 4,00 m	17,00	6,00

2.3 Forze derivanti dall'azione del moto ondoso

I carichi derivanti dal moto ondoso sono fortemente dipendenti dagli spostamenti consentiti e dalle caratteristiche di deformazione del sistema di ormeggio. Nel studiare gli effetti di una forza ciclica su un oggetto, uno dei principali parametri dello studio è il rapporto tra la forze in gioco e la possibilità di movimento dell'oggetto. Se l'oggetto è fluttuante, sono da prendere in considerazione i sei spostamenti possibili: di avanzo, deriva, sussulto, rollio, beccheggio ed imbardata. Il tutto viene complicato dalla grande varietà di forme che gli scafi possono presentare anche se la loro lunghezza è simile. La situazione si complica ulteriormente con l'ingresso di altri fattori come l'elasticità delle linee d'ormeggio, l'attrito sui parabordi e, nel caso in cui l'imbarcazione sia ormeggiata ad un pontile galleggiante, anche gli ondeggiamenti del pontile stesso entrano in gioco. Ne deriva che un approccio teorico probabilmente pur comportando alti costi non garantirà i risultati.

Di conseguenza un approccio pratico, sapendo che le valutazioni dei carichi sulle strutture, in particolare sulle strutture galleggianti, non derivano da una scienza esatta, e che la progettazione basata su l'esperienza è spesso migliore di calcoli sofisticati, l'Associazione Mondiale per le vie navigabili e infrastrutture di trasporto (PIANC) raccomanda che le azioni derivanti dal moto ondoso siano tenute in conto tramite un coefficiente maggiorativo applicato sulla somma delle componenti precedentemente descritte, qui assunto pari a 1.25 essendo all'interno di un bacino portuale.

2.3.1 Calcolo del tiro risultante

Quanto sopra esposto può essere riportato in forma tabellare. In particolare, il tiro ottenuto come somma delle componenti delle varie azioni è moltiplicato per un coefficiente di sicurezza SF assunto pari a 1.50 e un coefficiente unitario di schermo CS.

Il tiro complessivo si ricava quindi come:

$$T_{tot} = CS \cdot SF \cdot [(T_{wind} + T_{current}) \cdot 1.25]$$

Nella tabella seguente vengono riportati i calcoli dei tiri delle singole imbarcazioni tipo considerando le aree di esposizione frontali.

IMBARCAZIONI 8.00m

SOLLECITAZIONE FRONTALE - VENTO			
q	pressione vento	kPa	0,0006
CD	drag coefficient	-	0,45
v	velocità vento	m s ⁻¹	22,25
cd	coeff. Esposizione	-	1,23
	pressione vento m ⁻²	KN m ⁻²	0,20
Tiro vento			0,81
SOLLECITAZIONE FRONTALE - CORRENTE			
q	pressione corrente	kPa	0,25
v	velocità corrente	m s ⁻¹	0,5
Tiro corrente			0,22
SOLLECITAZIONE FRONTALE - ONDA			
q	forza onda		1,25
Fattore tiro onda			1,25
Tiro - KN			1,28
	Tiro - KN		1,28
CS	Coefficiente di schermo		1,00
SF	Coefficiente di sicurezza		1,50
Tiro complessivo - KN			1,93
Tiro complessivo - t			0,20

IMBARCAZIONI 10.00m

SOLLECITAZIONE FRONTALE - VENTO			
q	pressione vento	kPa	0,0006
CD	drag coefficient	-	0,45
v	velocità vento	m s ⁻¹	22,25
cd	coeff. Esposizione	-	1,23
	pressione vento m ⁻²	KN m ⁻²	0,20
Tiro vento			1,21
SOLLECITAZIONE FRONTALE - CORRENTE			
q	pressione corrente	kPa	0,25
v	velocità corrente	m s ⁻¹	0,5
Tiro corrente			0,28
SOLLECITAZIONE FRONTALE - ONDA			
q	forza onda		1,25
Fattore tiro onda			1,25
Tiro - KN			1,87
	Tiro - KN		1,87
CS	Coefficiente di schermo		1,00
SF	Coefficiente di sicurezza		1,50
Tiro complessivo - KN			2,80
Tiro complessivo - t			0,29

IMBARCAZIONI 12.00m

SOLLECITAZIONE FRONTALE - VENTO			
q	pressione vento	kPa	0,0006
CD	drag coefficient	-	0,45
v	velocità vento	m s ⁻¹	22,25
cd	coeff. Esposizione	-	1,23
	pressione vento m ⁻²	KN m ⁻²	0,20
Tiro vento			1,82
SOLLECITAZIONE FRONTALE - CORRENTE			
q	pressione corrente	kPa	0,25
v	velocità corrente	m s ⁻¹	0,5
Tiro corrente			0,38
SOLLECITAZIONE FRONTALE - ONDA			
q	forza onda		1,25
Fattore tiro onda			1,25
Tiro - KN			2,74
CS	Tiro - KN		2,74
	Coefficiente di schermo		1,00
SF	Coefficiente di sicurezza		1,50
Tiro complessivo - KN			4,12
Tiro complessivo - t			0,42

Questi valori rappresentano il tiro di una singola imbarcazione di lunghezza 8.00m, 10.00m e 12.00m.

Per quanto riguarda il calcolo delle sollecitazioni indotte dal moto ondoso sul modulo del pontile si utilizza la trattazione proposta da Hooft di cui si riportano i risultati di seguito, con la relativa descrizione dei parametri nella tabella seguente. Secondo questa formulazione la superficie viene considerata come superficie piana

$$Y_{1a} = \rho g a \left[\frac{4 \sin(\frac{1}{2} B k \sin \mu) \sin(\frac{1}{2} L_0 k \cos \mu)}{k^2 \cos \mu} \right] \left[\tanh(kh) - \frac{\sinh k(h-D)}{\cosh(kh)} \right]$$

$$Y_{21a} = a a_{22} \left[\frac{4 \cos(\frac{1}{2} B k \sin \mu) \sin(\frac{1}{2} L_0 k \cos \mu)}{k \cos \mu} \right] \left[\frac{\sigma^2 \cosh k \left(h - \frac{D}{2} \right)}{\sinh(kh)} \right] \sin \mu$$

$$a_{22} = \rho \frac{\pi}{4} D^2$$

$$Y_a = Y_{1a} + Y_{21a}$$

rettangolare il tutto a favore della sicurezza.

A lato si riportano i calcoli in forma tabellare:

A questo valore si aggiunge il contributo di vento, corrente e onda agente sulla struttura galleggiante considerando la superficie laterale.

AZIONE MOTO ONDOSO SU STRUTTURA GALLEGGIANTE

Parametri input

FISICI

accelerazione di gravità	g	[m s ⁻²]	9,81
densità acqua di mare	ρ	[kg m ⁻³]	1025

STRUTTURA GALLEGGIANTE

larghezza	B	[m]	2,35
immersione	D	[m]	0,364
lunghezza	L _s	[m]	12

ONDA

altezza	H _s	[m]	0,45
periodo	T _s	[m]	12
profondità	d	[m]	6
direzione di incidenza sulla struttura	μ	[°]	90
		[rad]	1,6

Parametri output

lunghezza d'onda a largo	L ₀	[m]	224,83
EQUAZIONE			0
lunghezza d'onda	L	[m]	89,49
numero d'onda	k	[m ⁻¹]	0,07
frequenza angolare	σ	[rad s ⁻¹]	0,52

termine massa aggiuntiva	a ₂₂	[kg m ⁻¹]	106,66
--------------------------	-----------------	-----------------------	--------

	Y _{1a}	[kN]	1,6
	Y _{2a}	[kN]	0,39

Azione orizzontale	F _{wave}	[kN]	2,014
		[t]	0,20
Azione orizzontale onda uniformemente ripartita	F _{wave} / L _s	[kN m ⁻¹]	0,17

I valori sono riportati in forma tabellare di seguito, dove le superfici laterali interessate dall'azione del vento e della corrente sono state determinate per il singolo modulo di pontile come:

- Superficie laterale (VENTO):
12.00 m x 0.30 m = 3.60 m²;
- Superficie laterale (CORRENTE):
12.00 m x 0.364 m = 4.37 m².

Dove il valore del tiro complessivo dovuto all'azione di vento, corrente marina e onda agenti sul pontile viene calcolato come esposto in precedenza, ovvero:

$$T_{tot} = CS \cdot SF \cdot [(T_{wind} + T_{current}) \cdot 1.25]$$

SOLLECITAZIONE LATERALE - VENTO			
q	pressione vento	kPa	0,0006
CD	drag coefficient	-	0,45
v	velocità vento	m s ⁻¹	22,25
cd	coeff. Esposizione	-	1,23
	pressione vento m ²	KN m ⁻²	0,20
Tiro vento			0,73
SOLLECITAZIONE LATERALE - CORRENTE			
q	pressione corrente	kPa	0,6
v	velocità corrente	m s ⁻¹	0,5
Tiro corrente			0,66
SOLLECITAZIONE LATERALE - ONDA			
q	fattore tiro onda	-	1,25
Tiro onda			1,25
Tiro - KN			1,73

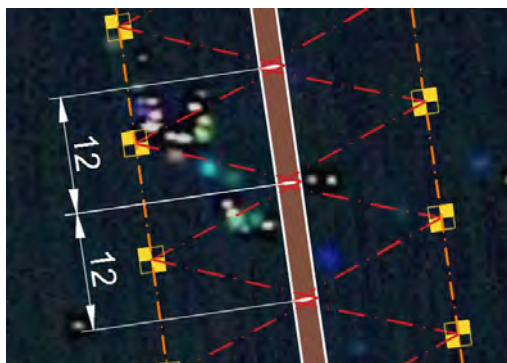
	Tiro - KN	1,73
CS	Coefficiente di schermo	1,00
SF	Coefficiente di sicurezza	1,50
Tiro complessivo - KN		2,59
Tiro complessivo - t		0,26

Nella tabella precedente sono riportate le sollecitazioni agenti su un singolo modulo di pontile galleggiante lungo 12.00 m e largo 3.00 m per le diverse tipologie di imbarcazioni.

Il valore della sollecitazione massima agente è data da:

$$S_{max-agente} = Tiro_{BARCA} \cdot N_{BARCHE} + Tiro_{WAVE} \cdot N_{MODULI} + Tiro_{W+W+C} \cdot N_{MODULI}$$

Dalla quale si ottengono le sollecitazioni riportate in precedenza e per tale valore andranno dimensionati i corpi morti. La loro disposizione sarà quella di due corpi morti per pontile secondo lo schema riportato nella figura sottostante:



Il corpo morto da impiegare viene utilizzato sia per l'ormeggio delle imbarcazioni che per l'ancoraggio del pontile.

In questo modo un singolo corpo morto è dimensionato per il tiro delle imbarcazioni sui due lati del pontile e per la deriva del pontile stesso.

3 Descrizione e specifiche tecniche dei pontili galleggianti proposti

Nel seguente paragrafo viene descritto il progetto dei pontili galleggianti del tipo Ingemar FE/ IG / 12 R-3H1 pensati per essere usati come strutture di ormeggio per imbarcazioni in siti con un moto ondoso moderato.

Le principali caratteristiche dimensionali dei pontili galleggianti sono elencate di seguito:

Caratteristiche dimensionali pontili galleggianti	
Dimensioni	
Lunghezza	12,00 m
Larghezza	3,00 m
Altezza	1,051 m
Bordo libero	0,59 m
Riserva di spinta	1690 Nm ²
Sovraccarico strutturale	1667 Nm ²
Dislocamento	50196 N

• Normativa di riferimento

UNI ENV 1993-1-1 Eurocode 3. Design of steel structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings

UNI ENV 1995-1-1 Eurocode 5. Design of wooden structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings

UNI ENV 1999-1-1 Eurocode 9. Design of aluminium structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings

BS6349:Part 6 : 1989 Maritime structures – Design of inshore moorings and floating structures

• Materiali

Acciaio:

EN 10025 S275 JR secondo UNI EN 10025

Tensione di snervamento minima $R_{eH} = 275$ MPa

Densità: 7850 kg/m³

Alluminio:

EN-AW 6060 – T6

Tensione di snervamento minima $R_{eH} = 140$ MPa

Viteria:

A2-70 secondo EN ISO 3506-1:1998

Resistenza a trazione $R_m = 700$ MPa

Legno:

Legno duro tropicale – classe di resistenza: minimo D50

Secondo UNI EN 338:1997

Classe di durabilità: 1-2, secondo UNI EN 350-1:1996

Rondelle :

Rondelle composte da quattro strati di gomme e tre di tela poliammidica

Gomma in polimero nitril-butilico (NBR) secondo ASTM D1418 840 den tela di poliammide resistenza a compressione: 20.4 MPa

Zincatura:

Zincatura a caldo secondo EN ISO 1461:1999

Polistirolo:

Polistirolo espanso grado SD, tipo N, secondo BS 3837: Part 1:1986

Calcestruzzo:

Calcestruzzo strutturale rinforzato con fibre di polipropilene $R_{ck} = 35$ MPa – S5 – Secondo UNI EN 206 - 1

3.1 Galleggiamento e stabilità

3.1.1 Galleggiamento

Il bordo libero è calcolato per il pontile scarico, cioè considerando solo il dislocamento del pontile stesso.

La densità dell'acqua di mare è assunta uguale a $\rho_w = 1025 \text{ kg/m}^3$

Le dimensioni complessive del pontile sono:

Lunghezza piano di calpestio: $l_d = 12.00 \text{ m}$

Larghezza piano di calpestio: $w = 3.00 \text{ m}$

Larghezza telaio in acciaio: $w_d = 2.93 \text{ m}$

Area del piano di calpestio: $A_d = 27.36 \text{ m}^2$

Ogni pontile è dotato di 3 galleggianti con le seguenti caratteristiche:

dimensioni : $l_{fu} = 2.26 \text{ m} \times w_{fu} = 1.96 \text{ m} \times h_{fu} = 0.71+0.10 \text{ m}$

area : 4.43 m^2

peso : 10700 N

Il dislocamento totale del pontile è dato dalla seguente tabella :

Galleggianti	32100 N
Telaio in acciaio	11210 N
Profili in alluminio	562 N
Piano di calpestio in legno	5299 N
Parabordi in legno	775 N
Viteria	250 N
Totale D =	50196 N

La spinta assicurata dalle chiglie è data da

$$B_K = 3 \cdot 2 \cdot ((0.16+0.10) \cdot 0.10 / 2 \cdot 1.96) \cdot \rho_w \cdot g = 1537 \text{ N}$$

ovvero, 3 galleggianti, 2 chiglie per galleggiante, ognuna avente una sezione trapezoidale con basi lunghe 0.10m e 0.16m, altezza 0.10m e lunghezza della scanalatura 1.96m.

Per il solo peso del galleggiante, l'immersione è data da

$$i = \frac{D - B_K}{n \cdot A_{fu} \cdot \rho_w \cdot g} = 0.364 \text{ m}$$

Ogni galleggiante emerge di $e = h_{fu} - i = 0.346 \text{ m}$

e il bordo libero risulta $b = e + h_d = 0.587 \text{ m}$

dove $h_d = 0.241\text{m}$ è la distanza tra la sommità del piano di calpestio e la sommità del galleggiante.

I precedenti risultati portano al calcolo del carico massimo sopportato dal pontile con la relazione:

$$S = n \cdot e \cdot A_{fu} \cdot \rho_w \cdot g = 46.23 \text{ kN}$$

che è equivalente, per un carico uniformemente distribuito sul piano di calpestio del pontile, ad una pressione pari a: $q = \frac{S}{A_d} = 1690 > 1667 \text{ Pa}$

3.1.2 Stabilità ai carichi eccentrici

La stabilità è verificata sotto l'azione del peso di quattro persone su un lato del pontile, cioè

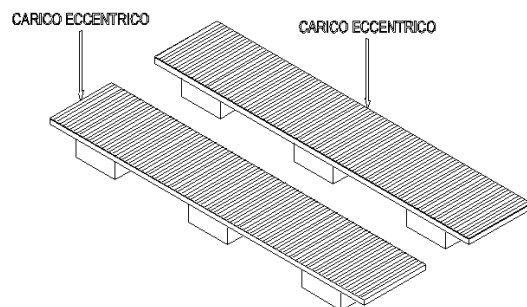
$q_d = 4 \times 1000 = 4000 \text{ N}$ sul bordo del pontile.

Il momento longitudinale è calcolato come segue :

- $M_{Rx} = \frac{q_d \cdot w}{2} = 4700 \text{ Nm}$

mentre il momento trasversale è

- $M_{Ry} = \frac{q_d \cdot l}{2} = 24000 \text{ Nm}$



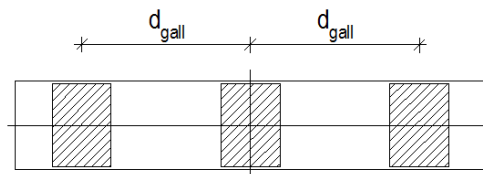
La distanza del baricentro dal fondo del galleggiante deriva dal calcolo seguente

	M Carico o peso [N]	Braccio (ref. dist.) [m]	MD Carico · Braccio [N·m]

Carico vivo	4000	1.151	4604
Piano di calpestio in legno	5299	1.140	6040.86
Parabordo in legno	775	1.104	856
Telaio in acciaio	11210	1.000	11210
Longheroni in alluminio	562	1.090	613
Viteria	250	1.000	250
Galleggianti	32100	0.46	14766
<i>Total</i>	<i>M= 54196.0 N</i>		<i>MD = 38340N·m</i>

conseguentemente,

$$y_G = \frac{MD}{M} = 0.707 \text{ m}$$



$$d_{\text{gall}} = 4.31 \text{ m}$$

Riferendosi alla figura precedente l'inerzia di questo schema di galleggianti è $J_x = 5.66 \text{ m}^4$

Il volume immerso V è calcolato come $V = \frac{M - B_K}{\rho_w \cdot g} = 5237 \text{ m}^3$

La distanza tra il centro del volume immerso (centro di galleggiamento) e il metacentro deriva dal rapporto tra

l'inerzia J_x e il volume immerso V : $d_{BMx} = \frac{J_x}{V} = 1.08 \text{ m}$

sotto queste condizioni di carico, il pescaggio del pontile è $i = \frac{M - B_K}{n \cdot A_{fu} \cdot \rho_w \cdot g} = 0.394 \text{ m}$

quindi il centro di galleggiamento è posto a quota $y_B = \frac{i}{2} = 0.197 \text{ m}$ dal fondo del galleggiante.

La distanza del centro di galleggiamento dal baricentro è quindi $d_{GB} = y_G - y_B = 0.510 \text{ m}$

dato ciò la distanza del baricentro dal metacentro è calcolata come $d_{GMx} = d_{BMx} - d_{GB} = 0.570 \text{ m}$

Infine la formula $\alpha_T = \operatorname{asin} \frac{M_{Rx}}{M \cdot d_{GMx}} = 8.76^\circ$ determina l'angolo di sbandamento longitudinale del pontile.

Nello stesso modo, l'angolo di inclinazione trasversale risulta $J_y = 168.8 \text{ m}^4$

$$d_{BM_y} = J_y / V = 32.240 \text{ m} \mid d_{GM_y} = d_{BM_y} - d_{GB} = 31.727 \text{ m} \mid \alpha_T = \operatorname{asin} \frac{M_{Ry}}{M \cdot d_{GMx}} = 0.80^\circ$$

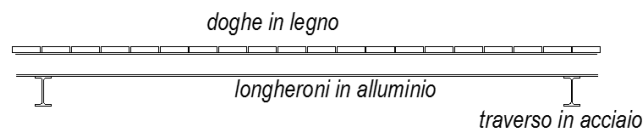
3.2 Verifiche strutturali

3.2.1 Piano di calpestio

Nella figura seguente viene rappresentato lo schema del piano di calpestio.

Il piano di calpestio del pontile è composto da doghe di legno tropicale. Le doghe hanno una sezione rettangolare larga 90 mm e alta 21 mm e sono avvitate a quattro profili prendivite in alluminio sottostanti.

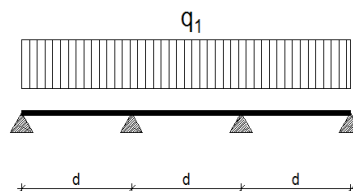
La distanza tra i profili è $d = 0.550 \text{ m}$.



3.2.1.1 Doghe in legno duro tropicale

Il carico distribuito di progetto è assegnato pari a $q = 1667 \text{ Pa}$

come rappresentato nella figura sottostante, ogni doga è considerata una singola trave su 4 appoggi e caricata da un carico distribuito:



$$q_1 = \gamma_Q \cdot q \cdot d_b + \gamma_g \cdot w_1 = 253 \text{ N/m}$$

dove $\gamma_Q=1.5$ e $\gamma_G=1.35$ sono i coefficienti di sicurezza parziali rispettivamente per le azioni variabili (carico vivo) e per quelle permanenti (peso delle doghe). $d_b = 0.095$ m è la distanza tra due doghe adiacenti e $w_1=11.6$ N/m è il peso proprio per unità di lunghezza della singola dogha.

Il massimo momento flettente per tale di configurazione è dato da

- $M_{1,Sd} = 0.100 \cdot q_1 \cdot d^2 = 7.66 \text{ N}\cdot\text{m}$

Il modulo della sezione della trave è dato da:

- $W_x = b \cdot h^2 / 6 = 90 \cdot 21^2 / 6 = 6.62 \text{ cm}^3$

La tensione del momento flettente è pertanto

- $\sigma_{1,Sd} = M_{1,Sd} / W_x = 7.66 / 6.62 = 1.16 \text{ N/cm}^2$

La verifica è condotta così come indicato in REF2; la resistenza di progetto del materiale è

$$X_d = (k_{mod} \cdot X_k) / \gamma_m$$

dove

- X_k = proprietà caratteristica del materiale (secondo UNI EN 338, tabella 1);
- k_{mod} = coefficiente di correzione dovuto alla durata del carico (secondo REF2., paragrafo 3.2, tabella 3.1);
- γ_m = coefficiente di sicurezza parziale per le proprietà del legno.

In questo caso, i coefficienti sono:

- $k_{mod} = 0.6$ (carico di lunga durata);
- $\gamma_m = 1.3$ (legno duro)
- $f_{m,k} = 50 \text{ MPa}$ (classe D50) – resistenza a flessione caratteristica;
- $f_{m,d} = 23.1 \text{ MPa}$ (classe D50) – resistenza a flessione di progetto;

La seguente relazione: $\sigma_{1,Sd} / f_{1m,d} = 0.05 \leq 1.00$ verifica la sezione.

3.2.1.2 Profili in lega di alluminio

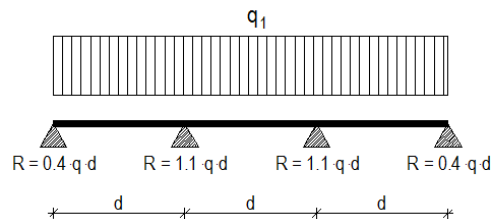
I carichi sul piano di calpestio sono trasmessi alle sottostanti travi in alluminio dalle doghe di legno, quindi una condizione di carico distribuito può essere assunta come schema di calcolo.

Per quanto riguarda lo schema strutturale si assume una trave in semplice appoggio su quattro supporti costituiti dai traversi del telaio in acciaio ad interasse $l_b = 2.00$ m.

Le doghe di legno trasmettono alle travi in alluminio più caricate un carico pari a:

$$q_2 = 1.100 \cdot q_1 \cdot d / d_b = 1613 \text{ N/m}$$

dove 1.1 è il coefficiente di reazione verticale per un appoggio centrale nello schema di trave su quattro appoggi.



Lo schema di calcolo considera una trave appoggiata su 4 supporti caricata da un carico pari a

$$q_3 = q_2 + \gamma_G \cdot w_2 = 1631 \text{ N/m}$$

dove $w_2 = 13.6$ N è il peso per unità di lunghezza della trave di alluminio, mentre q_2 già contiene i fattori di sicurezza parziali pertinenti, dal momento che derivano direttamente dal calcolo di q_1 .

Il massimo momento flettente risulta:

- $M_{2,Sd} = 0.100 \cdot q_3 \cdot l_b^2 = 652 \text{ N}\cdot\text{m}$

Il momento resistente della sezione in alluminio, mostrata in figura 5, è

- $M_{2,Rd} = W_x \cdot f_y / \gamma_{M0} = 9.9 \cdot 140 / 1.05 = 1320 \text{ N}\cdot\text{m}$

Dove:

- $\gamma_{M0} = 1.05$ è il fattore di sicurezza parziale per le sezioni di Classe 1, 2 o 3
- $f_y = 140.0$ MPa è la tensione di snervamento nominale dell'alluminio

quindi la relazione $M_{2,Sd} / M_{2,Rd} = 0.49 \leq 1.00$ mostra che la sezione è verificata.

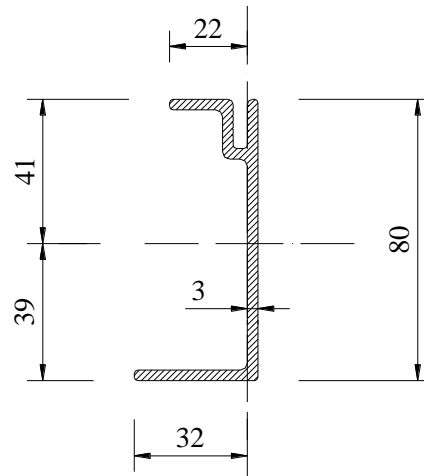
$$h_{Tot} = 80.0 \text{ mm}$$

$$A = 405.0 \text{ mm}^2$$

$$y_G = 38.96 \text{ mm}$$

$$J_x = 40.8 \text{ cm}^4$$

$$W_x = 9.9 \text{ mm}^3$$



3.2.1.3 Telaio in acciaio

- Traversi

I quattro profili di alluminio poggiano sui traversi e ad essi trasmettono le azioni da cui sono gravati.

I traversi sono costituiti da un profilo IPE100, che ha le seguenti caratteristiche:

- $G = 79.3 \text{ N/m}$;
- $A = 10.3 \text{ cm}^2$;
- $J_x = 171 \text{ cm}^4$;
- $W_x = 34.2 \text{ cm}^3$

Le azioni trasmesse dai profili in alluminio ai sottostanti traversi in acciaio sono:

$$F_3 = 1.1 \cdot q_3 \cdot l_b = 3588 \text{ N}$$

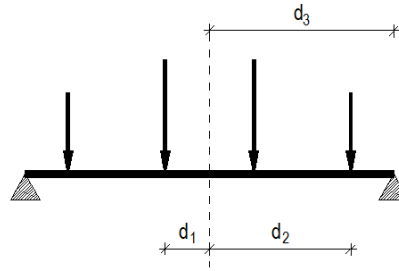
$$F_4 = 0.4 \cdot q_3 \cdot l_b + 0.5 \cdot (1.1 \cdot d_{uc} \cdot q_1 / w_d) \cdot l_b = 2214 \text{ N}$$

dove $d_{uc} = 0.31\text{m}$ è la larghezza della copricanaletta.

Il profilo IPE100 è sostenuto da profili laterali principali ed è soggetto al proprio peso ($\gamma_G \cdot W_{IPE100} = 107 \text{ N/m}$) ed a quattro forze puntuali corrispondenti alle reazioni delle travi in alluminio (F_3 e F_4 contengono i pertinenti fattori di sicurezza).

Dove

- $d_1=0.275\text{m};$
- $d_2=0.825\text{m};$
- $d_3=1.14\text{m};$



In tale configurazione il massimo momento flettente sul profilo di acciaio risulta essere:

- $M_{3,Sd} = 1/8 \cdot 107 \cdot 2.28^2 + (3588+2214) \cdot 1.14 - 3588 \cdot 0.275 - 2214 \cdot 0.825 = 3854 \text{ N}\cdot\text{m}$

Il momento resistente per la sezione IPE100, appartenente alla classe 1, è:

- $M_{3,Rd} = W_x \cdot f_y / \gamma_{M0} = 34.2 \cdot 275 / 1.05 = 8957 \text{ N}\cdot\text{m}$

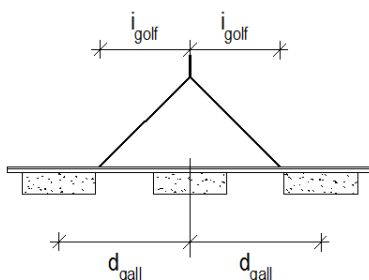
Dove:

- $\gamma_{M0} = 1.05$ è il fattore di sicurezza parziale per sezioni di Classe 1, 2 o 3;
- $f_y = 275.0 \text{ MPa}$ è la tensione di snervamento nominale dell'acciaio;
- $W_x = 34.2 \text{ cm}^3$ è il modulo di resistenza dell'IPE100

La sezione risulta verificata secondo la relazione: $M_{3,Sd} / M_{3,Rd} = 0.43 \leq 1.00$

3.2.1.4 Profili longitudinali durante le operazioni di sollevamento

Durante le operazioni di sollevamento per l'assemblaggio e il varo, il pontile è sollevato tramite delle cinghie e dei grilli agganciati a speciali golfari saldati alla struttura in acciaio. In queste condizioni i profili longitudinali sono soggetti al peso proprio della struttura legno-alluminio-acciaio e a quello dei galleggianti in calcestruzzo. Tale peso deve essere supportato dai quattro golfari predisposti per il sollevamento.



Dove:

- $d_{gall} = 4.31\text{m};$
- $l_{golf} = 2.95 \text{ m};$

I carichi di progetto sono: il peso della struttura in acciaio più l'alluminio più il piano di calpestio in legno, assunto come un carico distribuito lungo i profili laterali ed il peso dei tre galleggianti in calcestruzzo, assunti come tre carichi concentrati.

- il peso del pontile, dedotto del peso dei galleggianti, è $50196\text{N} - 32100\text{N} = 18096\text{ N}$
- il carico distribuito risulta: $q_L = 1.35 \cdot 18096\text{ N} / 12.00\text{ m} = 2036\text{ N/m}$
- i carichi concentrati sono $F_f = 1.35 \cdot 10700\text{ N} = 14445\text{ N}$

Il momento flettente dovuto al carico distribuito è:

- $M_{Sd,qL} = 1.50 \cdot 2036 \cdot (6.00 - 2.95)^2 / 2 = 14205\text{ N}\cdot\text{m}$

dove $f_D = 1.50$ è un fattore introdotto per tener conto degli effetti dinamici legati al sollevamento della struttura.

Il momento flettente dovuto ai carichi concentrati è:

- $M_{Sd,qL} = 1.5 \cdot 1.35 \cdot 10700 \cdot (4.31 - 2.95) = 29468\text{ N}\cdot\text{m}$

Il momento totale in corrispondenza dei supporti è quindi

- $M_{4,Sd} = 14205 + 29468 = 43673\text{ N}\cdot\text{m}$

Il momento resistente dei due profili laterali CNP220 è dato da:

- $M_{4,Rd} = W_x \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2 \cdot 245 \cdot 275 / 1.05 = 128333\text{ N}\cdot\text{m}$

Quindi la verifica è soddisfatta in quanto $M_{4,Sd} / M_{4,Rd} = 43673 / 128333 = 0.34 < 1.00$

La reazione in corrispondenza dei supporti è:

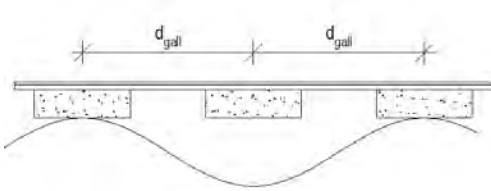
- $R_S = 1.5 \cdot (2036 \cdot 12 + 14445 \cdot 3) / 2 = 50825\text{ N}$

Infine, ogni cinghia usata per il sollevamento deve sopportare un'azione tensile pari a:

- $T_{belts} = 50825 / 2 \cdot 2^{-1/2} = 35.9\text{ kN}$

3.2.1.5 Profili longitudinali sotto l'azione delle onde

La verifica è eseguita considerando un'onda sinusoidale che passa sotto al pontile. Il pontile stesso è considerato sostenuto dai galleggianti più esterni e caricato dal peso proprio e dal peso del galleggiante centrale. La situazione è mostrata nella figura seguente:



I carichi considerati sono gli stessi del paragrafo precedente.

Il momento flettente è:

- $M_{Sd,qL} = 14445 \cdot 4.31 - 2036 \cdot 6 \cdot 3 + 33883 \cdot 4.31 = 47130 \text{ N}\cdot\text{m}$

Quindi la verifica è soddisfatta: $M_{Sd,qL} / M_{4,Rd} = 47130 / 128333 = 0.37 < 1.00$

3.2.1.6 Profili longitudinali sotto i tiri degli ormeggi

Il pontile è pensato per l'ormeggio di barche fino ad una lunghezza di 20.0 m, aventi le seguenti caratteristiche standard:

Lunghezza fuori tutto	: 20.0 m
Larghezza fuori tutto	: 5.5 m
Area trasversale	: 19.00 m ²
Dimensioni del posto barca	: 21.00 m × 6.70 m

La velocità massima del vento è assunta pari a 22.25 m/s.

Il carico massimo dovuto alla trazione di una cima di ormeggio per un'imbarcazione da 20.00m è:

$$T_{\text{tot}} = 8.61 \text{ KN} = 8609.68 \text{ N}$$

Considerando il caso peggiore, cioè quando la bitta è fissata in mezzeria ad un campo del telaio, il massimo momento sollecitante nel profilo laterale è:

$$M_{S,Sd} = 1.5 \cdot 8609.68 \cdot 2.0 / 4 = 6457.26 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Il momento resistente del profilo CNP220, attorno l'asse y-y è dato da

$$M_{S,Rd} = W_y \cdot f_y / \gamma_{M0} = 33.5 \cdot 275 / 1.05 = 8774 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Il coefficiente di sicurezza derivante dal rapporto di queste sollecitazioni è pari a: 1.34 quindi risulta che il profilo è verificato.

3.2.1.7 Profili longitudinali sotto l'azione delle onde

Si considera l'altezza d'onda significativa che può penetrare nel porto è di altezza pari a 50 cm, che, secondo le indicazioni Pianc per i porti turistici, rappresenta la condizione "limite" per tempi di ritorno pari a 50 anni (si evidenzia che la condizione di "comfort", secondo le stesse norme, è di 0.15 m).

I profili saranno verificati secondo queste sollecitazioni, sottolineando però che è consigliabile porre i pontili in condizioni di moto ondoso più moderato.

Si considera a favore di sicurezza l'onda agente ortogonalmente all'asse del pontile, in una condizione di spinta idrostatica; la spinta all'interno delle chiglie si annulla, in quanto i valori esterni ed interni sono identici.

La spinta per unità di lunghezza è stata determinata in precedenza utilizzando la trattazione proposta da Hooft e risulta pari a:

$$q_{H,Sd} = 2014.08 \text{ N/m}$$

Tale forza si esplica sui galleggianti, posti al di sotto del telaio in numero di 3, aventi ciascuno lunghezza 1.96 m. La forza totale che si esplica sul pontile è pari quindi a:

$$F_{H,Sd} = 2014.08 \text{ N/m} \cdot 1.96 \text{ m} \cdot 3 = 11842,81 \text{ N}$$

equiparabile ad un carico distribuito uniformemente sulla lunghezza di 12 m, pari a

$$Q_{H,Sd,pontile} = F_{H,Sd} / 12 = 11842.81 \text{ N} / 12.00 \text{ m} = 986.90 \text{ N/m.}$$

Lo schema di carico è quella di trave su più appoggi (no. 7 appoggi) costituiti dai traversi del pontile.

Il momento massimo derivante da questo tipo di schematizzazione è, da calcolo automatico, $M_{H,Sd} = 387 \text{ N m}$.

Il momento resistente del profilo CNP220, attorno l'asse y-y è dato da:

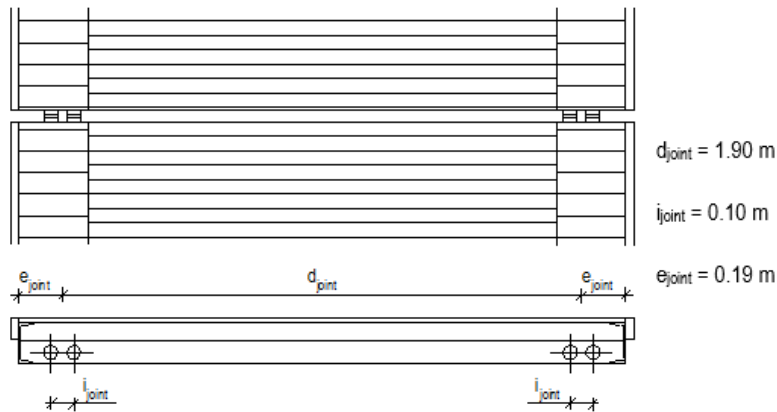
$$M_{H,Rd} = W_y \cdot f_y / \gamma_{M0} = 33.5 \cdot 275 / 1.05 = 8774 \text{ N}\cdot\text{m}$$

La verifica è quindi soddisfatta, in quanto il momento sollecitante è inferiore di quello resistente.

3.2.1.8 Giunto tra i pontili

- Verifica del giunto

Il giunto tra pontili successivi è mostrato nella figura seguente.



Il giunto è composto da no. 4 bulloni A2-70 M24 e da no. 20 rondelle in gomma (5 per bullone). Da ciascun lato della testa del pontile si posizionano due set composti da 5 rondelle ed 1 bullone.

Per i carichi trasversali, si considera il carico più gravoso, dovuto all'azione delle barche ormeggiate, che risulta maggiore dell'azione delle onde; la struttura è quindi soggetta a un momento flettente sul piano della struttura stessa. Tale momento si traduce in una coppia trazione-compressione sui giunti opposti.

Il carico orizzontale, pari al tiro delle imbarcazioni ormeggiate (12.00m) alla struttura, è dato dalla relazione riportata nel capitolo precedente:

$$T_{tot} = \frac{CS \cdot SF \cdot [(T_{wind} + T_{current}) \cdot 1.25]}{L_{PB}} = 2438.40 \text{ N/m}$$

Considerando la distanza tra due giunti consecutivi, pari alla lunghezza del pontile, 12.0 m, il momento di progetto è pari a:

$$M = 1 / 8 \cdot 1565.40 \cdot 12.0^2 = 28177.13 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Essendo la distanza tra giunti 1.9 m, lo sforzo assiale su questi è

$$N = 28177.13 \text{ Nm} / 1.9 \text{ m} = 14830.07 \text{ N}$$

La compressione agisce sulle rondelle in gomma, mentre la trazione agisce sul bullone M24.

La resistenza del bullone M24 è:

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot 700 \cdot 353 / 1.25 = 177912 \text{ N}$$

La resistenza a compressione della serie di rondelle, avente ognuna area pari a 5780 mm², è

$$F_{C,Rd} = 0.75 \cdot 2 \cdot 5780 \cdot 20.4 / 1.25 = 141494 \text{ N}$$

La verifica è soddisfatta in quanto entrambi i valori sono maggiori dell'azione di progetto.

- Verifica del profilo laterale

I profili laterali sono soggetti a uno sforzo assiale pari a:

$$N_{Sd} = 28177.13 \text{ Nm} / 2.28 \text{ m} = 12358.39 \text{ N}.$$

Ad esso si somma un momento flettente residuo, legato all'eccentricità tra l'asse del giunto, ovvero della rondella in gomma, e l'asse longitudinale del profilo laterale, dato da: $M_{Sd} = 13244 \cdot 0.19 = 2516 \text{ N}\cdot\text{m}$

Le azioni resistenti sono

$$N_{Rd} = 3740 \cdot 275 / 1.05 = 979524 \text{ N}$$

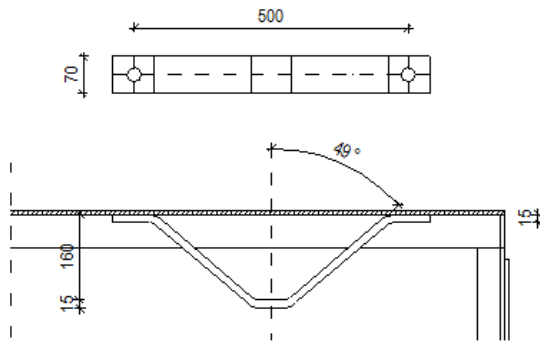
$$M_{Rd} = 33.5 \cdot 275 / 1.05 = 8774 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Il controllo dell'elemento è quindi

$$14830.07 / 979524 + 2516 / 8774 = 0.302 < 1.00$$

3.2.1.9 Staffone di collegamento alle catene di ancoraggio

Sui pontili sono predisposti degli speciali staffoni per il collegamento alle catene di ancoraggio. La figura seguente illustra la geometria dello staffane.



Lo staffone è formato da un piatto in acciaio zincato a caldo, opportunamente sagomato, di sezione 70mm × 15mm. Il piatto è fissato al profilo laterale del pontile con due bulloni A2-70 M20.

Considerando un carico orizzontale pari a 1565.40 N/m ed una distanza tra punti di ancoraggio consecutivi di 12.0 m, l'azione di progetto, divisa per i due staffoni di ogni pontile, diviene

$$F_{Sd} = 1565.40 \text{ N/m} \cdot 12.0 \text{ m} / 2 = 9392.38 \text{ N}$$

Assumendo un angolo della catena pari a 45°, le azioni verticali e orizzontali sono rispettivamente:

$$H_{Sd} = 9392.38 \text{ N}$$

$$H_{Sd} = 9392.38 \text{ N}$$

- Viteria

Ogni bullone è soggetto alle azioni di trazione e di taglio

$$F_{t,Sd} = 9392.38 \text{ N} / 2 = 4696.19 \text{ N}$$

$$F_{V,Sd} = 9392.38 \text{ N} / 2 = 4696.19 \text{ N}$$

Le azioni resistenti dei bulloni sono:

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot 245 \cdot 700 / 1.25 = 123480 \text{ N}$$

$$F_{V,Rd} = 0.5 \cdot 245 \cdot 700 / 1.25 = 68600 \text{ N}$$

Quindi il bullone è verificato in quanto

$$9392.38 / 123480 + 9392.38 / 68600 = 0.21 < 1.00$$

- Piatto piegato

Per quel che riguarda il piatto viene verificata la sezione A-A che è la più sollecitata.

Risulta infatti soggetta alle seguenti forze assiali ed al seguente momento flettente

$$N_{Sd} = 9392.38 / 2 \cdot \cos(49^\circ) = 7158.18 \text{ N}$$

$$M_{Sd} = 9392.38 \cdot 0.160 / 2 = 751.39 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Le azioni resistenti della sezione del piatto sono

$$N_{Rd} = 70 \cdot 15 \cdot 275 / 1.25 = 231000 \text{ N}$$

$$M_{Rd} = (15 \cdot 70^2 / 6) \cdot 275 / 1.25 = 2695000 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Quindi la sezione è verificata in quanto

$$7158.18 / 231000 + 751.39 / 2695000 = 0.08 < 1.00$$

3.3 Dimensionamento e verifica dei corpi morti

Per l'ancoraggio di ogni singolo modulo di pontile da 12 m si dispongono 2 corpi morti per ogni lato ancorati al pontile con catene inclinate di 45° sul piano orizzontale e sul piano verticale. In totale ogni pontile è ancorato con 4 corpi morti funzionanti a coppie.

Il numero dei punti di ancoraggio nella direzione normale al pontile è pari a 2 situati dal medesimo lato e altrettanti sono i punti di ancoraggio nella direzione longitudinale ma attivi su lati opposti. Il tutto come indicato nello schema grafico precedente. Noti i tiri, determinati al punto precedente, si procede al dimensionamento dei corpi morti. Per il calcolo dimensionale del corpo morto da posare in opera si deve tener conto della spinta di galleggiamento indotta dall'acqua agente sullo stesso. Per far ciò si tiene conto della spinta di Archimede che, per ogni m³ di calcestruzzo immerso lo alleggerisce esattamente di quanto è il peso specifico dell'acqua marina che in sede di calcolo viene considerata pari a 1025 Kg/m³.

Si ottiene dunque che un m³ di calcestruzzo, considerato il peso specifico del calcestruzzo pari a 2400 Kg/m³, in acqua abbia un peso pari a circa 1376 Kg.

Il sistema di ormeggio si completa con la determinazione del sistema di catene che contribuiranno a resistere alla sollecitazione generate dalle imbarcazioni. Verranno in particolare utilizzate catene tipo ITALMET senza traversino tipo genovese. La scelta dei diametri delle catene deve essere effettuata con un adeguato fattore di sicurezza tra il carico di prova riportato dal produttore e il tiro massimo agente sulla catena, tenendo inoltre conto di un'ulteriore maggiorazione di tale diametro in modo da garantire il preservamento della sezione utile necessaria a garantire la resistenza all'azione di tiro di progetto in presenza di corrosione. La scelta dei diametri delle catene e dei maniglioni è stata effettuata in riferimento alle tabelle proposte dai catenifici, i quali certificano i carichi di prova e di rottura per ogni diametro di catena interessato. I corpi morti verranno realizzati in calcestruzzo, tali da soddisfare le "Linee guida del Ministero dei LL.PP. sul calcestruzzo strutturale", pertanto per strutture permanentemente e completamente immerse in acqua di mare, si utilizzerà una classe di esposizione XS2 con le seguenti caratteristiche:

- cemento Portland 32,5 - R_{dmax} 20/32 mm;
- rapporto acqua/cemento $a/c_{max} = 0,45$;
- contenuto minimo di cemento 350 kg/m³;
- resistenza caratteristica minima 45 N/mm²;
- spessore minimo del copriferro 40 mm.

Sulla base degli elementi conoscitivi acquisiti, ai fini dei dimensionamenti, vengono assunti i seguenti parametri:

- densità cls: $\rho_{cls} = 2400$ [kg m⁻³];
- densità acqua di mare: $\rho_w = 1025$ [kg m⁻³];
- accelerazione di gravità $g = 9.81$ [m s⁻²];
- peso specifico cls: $\gamma_{cls} = 23544$ [N m⁻³] = 23,54 [KN m⁻³] ≈ 2.40 [t m⁻³];
- peso specifico acqua di mare: $\gamma_w = 10055.25$ [N m⁻³] = 10.06 [KN m⁻³] ≈ 1.01 [t m⁻³];

Il corpo morto viene identificato con le seguenti caratteristiche geometriche e fisiche tipiche di un solido a base quadrata di lato B [m] e altezza h [m]:

- Volume geometrico [m³]: $V = B^2 h$
- Peso del corpo morto fuori dall'acqua (o in aria) in [t]: $W = B^2 h \gamma_{cls}$

- Peso del corpo morto in acqua in [t]: $W_s = \text{peso in aria} - \text{spinta di Archimede}$;

$$W_s = B^2 h \gamma_{cls} - B^2 h \gamma_w = V (\gamma_{cls} - \gamma_w) = \frac{W}{\gamma_{cls}} (\gamma_{cls} - \gamma_w)$$

Il terreno in prossimità dei punti di installazione dei nuovi pontili e posizionamento dei corpi morti è un terreno contenente una piccolissima frazione di sabbia e principalmente si tratta di un materiale a grana finissima. Queste informazioni sono necessarie in quanto permettono di definire con sufficiente attendibilità il valore del coefficiente di attrito tra corpo morto e fondale f.

Tale sottofondo risulta ottimale per l'installazione di corpi morti in calcestruzzo in quanto adatto a sopportare le sollecitazioni trasmesse dai pesi degli stessi. Il coefficiente di attrito f è assunto pari ad 0.67 ed è stato ricavato dalla letteratura tecnica in materia (*Interaction of anchors with soil and anchor design – Taylor 1982*) per terreni non coesivi come quello in questione e calcestruzzo liscio come quello posato in opera.

Soil	Internal Friction Coefficient	Surface Friction Coefficient for --				
		Smooth Steel	Rough Steel	Smooth Concrete	Rough Concrete	Smooth PVC
Quartz Sand	0.67	0.27	0.60	0.60	0.69	0.33
Coralline Sand	0.67	0.20	0.63	0.63	0.66	0.20
Oolitic Sand	0.79	0.23	0.56	0.58	0.74	0.26
Foram Sand-Silt	0.64	0.40	0.66	0.67	--	0.40

Ulteriormente a vantaggio della sicurezza, durante le operazioni di posizionamento dei corpi morti verrà effettuato uno scavo con sorbona, pari ad un' altezza di 20 cm, per poterli posare garantendo un ammorsamento degli stessi al fondo. Di questo contributo resistente a contrasto delle forze instabilizzanti, inteso come spinta esercitata dal terreno sulle pareti del corpo morto, si terrà conto attraverso la seguente relazione:

$$S_{\text{terreno}} = \frac{1}{2} \gamma H^2 \tan^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) B = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p B$$

In cui:

- H rappresenta l'altezza di ammorsamento del corpo morto all'interno del sedimento, assunta pari a 20 cm;

- B la larghezza del corpo morto di progetto [m];
- Peso specifico γ del terreno di posa : 1.30 tm^{-3} ;
- Angolo di attrito interno del terreno superficiale $\varphi = 15^\circ$ (valori tipici di letteratura);
- K_p coefficiente di spinta del terreno;

Considerando la tipologia di opera da realizzare si ritiene che il quadro conoscitivo sia sufficiente e che non richieda ulteriori indagini di campo.

L'equazione di stabilità identificativa dei coefficienti di sicurezza F_s , per le verifiche a ribaltamento e scorrimento sarà definita facendo riferimento al seguente schema:

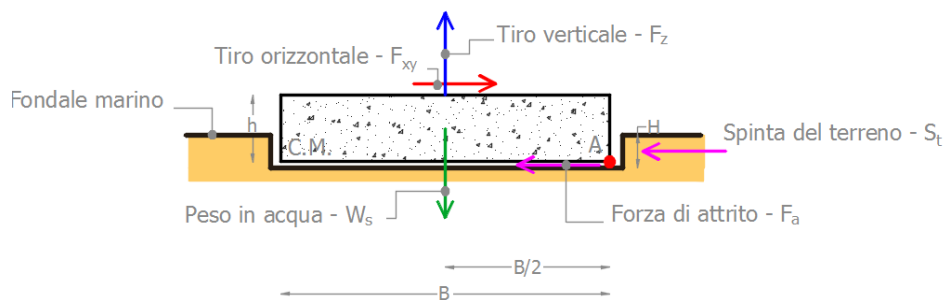


Figura 2: Schema delle azioni agenti sul corpo morto.

3.3.1 Verifica a scorrimento sul piano di posa

La verifica a scorrimento è finalizzata ad escludere che il corpo morto, soggetto ad una azione sollecitante parallela al suo piano di posa, non tenda a sviluppare uno spostamento relativo (per l'appunto uno scorrimento) rispetto ad esso. L'azione di progetto è data dalla risultante delle forze orizzontali agenti sul corpo morto, mentre la resistenza (naturalmente anch'essa da intendersi come forza orizzontale) è funzione del tipo di litologia.

La resistenza allo scorrimento sul piano di posa può essere valutata come:

$$F_a = (W_s - F_z) \cdot f + S$$

- W_s è il peso immerso del corpo morto
- F_z è la componente verticale trasmessa dal tirante
- f è il coefficiente d'attrito definito in precedenza;
- S è la spinta del terreno

La verifica di sicurezza è pertanto soddisfatta se risulta:

$$F_{SS} = \frac{\text{Forze resistenti}}{\text{Forze spingenti}} = \frac{F_a}{F_{xy}} = \frac{(W_s - F_z) \cdot f + S}{F_{xy}} \geq 1.0$$

Imbarcazione	SOLLECITAZIONI			DIMENSIONI CORPO MORTO				Spinta Terreno	VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		
	Tiro risultante	Tiro orizzontale	Tiro verticale	Lato	Altezza	peso CM in aria	Peso immerso		Forze resistenti	Forze spingenti	Coefficiente di sicurezza
	R	F _{xy}	F _z	B	h	W	W _s	S	F _a	F _{xy}	F _a / F _{xy} >= 1
	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[-]
CAT II - 8,50 m x 3,00 m	2,04	1,44	1,44	2,50	0,50	7,50	4,36	0,22	2,18	1,44	1,51
CAT III - 10,00 m x 3,50 m	2,39	1,69	1,69	2,50	0,50	7,50	4,36	0,22	2,01	1,69	1,19
CAT IV - 12,00 m x 4,00 m	2,98	2,11	2,11	3,00	0,50	10,80	6,28	0,26	3,06	2,11	1,45

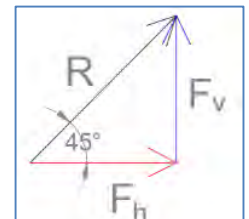
3.3.2 Verifica a ribaltamento (rispetto al punto A):

La verifica al ribaltamento consiste nell'imporre la verifica alla rotazione intorno al punto più a valle del corpo morto, valutando le azioni ribaltanti e quelle stabilizzanti. Il coefficiente di sicurezza è dato dal seguente rapporto:

$$F_{SR} = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento sollecitante}} = \frac{W_s \cdot \frac{B}{2}}{F_{xy} \cdot h + F_z \cdot \frac{B}{2}} \geq 1.0$$

La forza verticale è pari a quella orizzontale perché si assume che il tiro sia effettuato con un angolo di 45° rispetto all'orizzontale secondo lo schema riportato nell'elaborato grafico.

La procedura di calcolo viene riassunta nella tabella seguente e i coefficienti di sicurezza al ribaltamento risultano ampiamente soddisfatti.



Imbarcazione	SOLLECITAZIONI			DIMENSIONI CORPO MORTO				VERIFICA AL RIBALTAMENTO		
	Tiro risultante	Tiro orizzontale	Tiro verticale	Lato	Altezza	peso CM in aria	Peso immerso	Momento resistente	Momento sollecitante	Coefficiente di sicurezza
	R	F _{xy}	F _z	B	h	W	W _s	M _{res}	M _{soil}	M _{res} / M _{soil} >= 1
	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[t]	[t]	[tm]	[tm]	
CAT II - 8,50 m x 3,00 m	2,04	1,44	1,44	2,50	0,50	7,50	4,36	5,45	2,52	2,16
CAT III - 10,00 m x 3,50 m	2,39	1,69	1,69	2,50	0,50	7,50	4,36	5,45	2,96	1,84
CAT IV - 12,00 m x 4,00 m	2,98	2,11	2,11	3,00	0,50	10,80	6,28	9,41	4,22	2,23

Dai calcoli soprariportati emerge che le dimensioni dei corpi morti da impiegate sono:

Il sistema di ormeggio sarà costituito da corpi morti organizzati su due file così suddivisi:

- **Pontile galleggianti 1-2 (darsena sud) e 4 (darsena nord):**
B = 2.50 m x 2.50 m x 0.50 m – 7.50 t;
- **Pontile banchina di riva darsena sud (pontile galleggiante 3):**
B = 3.00 m x 3.00 m x 0.50 m – 10.80 t;

- Imbarcazioni:** Per l'ormeggio delle imbarcazioni è sufficiente un corpo morto da 5.00t ogni 4 imbarcazioni da 12.00m.
 Come imbarcazione di progetto è stata assunta una da 12.00m poichè rappresenta quella più grande tra tutte le imbarcazioni che troveranno ormeggio nei nuovi pontili galleggianti.
 Dall'analisi dei tiri esercitati da queste ultime contemporaneamente risulta un tiro pari a 1.68 t (0.42 t x 4).
 Dall'applicazione delle relazioni viste in precedenza ma considerando 4 imbarcazioni da 12 m deriva che le verifiche al ribaltamento e allo scorrimento sul piano di posa risultano soddisfatte adottando un corpo morto da 5.00 t:

▪ VERIFICA ALLO SCORRIMENTO SUL PIANO DI POSA

Imbarcazione	SOLLECITAZIONI			DIMENSIONI CORPO MORTO				VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		
	Tiro risultante	Tiro orizzontale	Tiro verticale	Lato	Altezza	peso CM in aria	Peso immerso	Forze resistenti	Forze spingenti	Coefficiente di sicurezza
	R	F _{xy}	F _z	B	h	W	W _s	F _a	F _{xy}	F _a / F _{xy} >= 1
	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[t]	[t]	[t]	[t]	[-]
CAT IV - 12,00 mx 4,00 m	1,68	1,19	1,19	2,00	0,50	4,80	2,79	1,25	1,19	1,05

▪ VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Imbarcazione	SOLLECITAZIONI			DIMENSIONI CORPO MORTO				VERIFICA AL RIBALTAMENTO		
	Tiro risultante	Tiro orizzontale	Tiro verticale	Lato	Altezza	peso CM in aria	Peso immerso	Momento resistente	Momento sollecitante	Coefficiente di sicurezza
	R	F _{xy}	F _z	B	h	W	W _s	M _{res}	M _{soll}	M _{res} / M _{soll} >= 1
	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[t]	[t]	[t m]	[t m]	[-]
CAT IV - 12,00 mx 4,00 m	1,68	1,19	1,19	2,00	0,50	4,80	2,79	2,79	1,78	1,57

La disposizione planimetrica dei corpi morti sia per l'ormeggio dei pontili che per le imbarcazioni è riportata nella tavola grafica allegata: *Planimetria progetto pontili galleggianti e layout ormeggi (Tav.5)*.

Il numero complessivo dei corpi morti da realizzare sia per l'ormeggio dei pontili che per l'ormeggio delle imbarcazioni, è:

- **Corpi morti da 5.00 t:** 58;
- **Corpi morti da 7.50 t:** 42;
- **Corpi morti da 10.80 t:** 18;

3.4 Dimensionamento e verifica degli ancoraggi

I corpi morti realizzati in calcestruzzo debolmente armato, saranno provvisti di punti di forza, realizzati mediante tondi lisci in acciaio B450c, sagomati, annegati nel corpo cementizio a metà dell'elemento. Le funzioni di gancio di ancoraggio e di amarro saranno assolve da un unico spezzone di catena opportunamente dimensionato per garantire il sollevamento e la movimentazione del corpo morto e il collegamento alla catena d'ormeggio tramite perno.

Dimensionamento spezzone di catena per ancoraggio e movimentazione

Lo spezzone di catena che assolve la funzione sia di gancio di amarro che di ancoraggio, è opportunamente dimensionato sia per resistere all'azione del tiro che all'azione del peso proprio del corpo morto durante il sollevamento in fase di varo. Lo spezzone di catena sarà costituito di acciaio B450 C avente una tensione di rottura 540 N/mm² e il carico agente sarà considerato, a favore di sicurezza, costituito dal peso proprio del corpo morto più il tiro massimo di esercizio. Dividendo tale carico per la tensione di progetto della barra di acciaio si ottiene la sezione minima della stessa che ne garantisca la resistenza a rottura al carico:

$$A_{min} = N / \sigma_{amm}$$

Dalla quale si ricava un diametro minimo dal quale dovrà partire la scelta del diametro finale da utilizzare. Nella seguente tabella sono riportati i suddetti calcoli sulla base dei corpi morti scelti:

Dimensione posto barca	DIMENSIONAMENTO SPEZZONE DI CATENA DI ANCORAGGIO										
	peso corpo morto fuori acqua	Tiro massimo	altre azioni	Azione sul gancio			Tensione ammissibile acciaio	Sezione minima gancio	Diametro minimo gancio	Diametro scelto	
	W	T	T	E			E	σ_{amm}	A _{min}	ϕ_{min}	ϕ
	[t]	[t]	[t]	[t]			[N]	[N/mm ²]	[mm ²]	[mm]	[mm]
8	7,50	2,04	0,00	9,54			93557,51	360,00	259,88	18,19	30,00
10	7,50	2,39	0,00	9,89			97058,42	360,00	269,61	18,53	30,00
12	10,80	2,98	0,00	13,78			135208,83	360,00	375,58	21,87	30,00

Nel caso in esame il diametro di progetto per lo spezzone di catena da inserire all'interno del corpo morto sia nel caso dei corpi morti dei pontili che dei corpi morti per l'ormeggio delle imbarcazioni è pari a 30.00 mm.

Dal confronto con il diametro minimo di calcolo si evince che quello di progetto è maggiorato opportunamente a favore di sicurezza nei confronti della corrosione. Lo sfilamento della catena all'interno del corpo morto è impedito da due barre orizzontali, incrociate, di diametro 18 mm lunghezza variabile in funzione delle dimensioni del corpo morto, e da due tondini piegati a 45° aventi diametro 20mm. Per maggiori dettagli non esaurientemente descritti nella presente relazione si allegano gli elaborati grafici.

3.4.1 Verifiche di resistenza per gli spezzoni di catena

- Verifica a trazione

Come indicato al 4.2.4.1.2.1 delle NTC 2018, l'azione assiale di progetto N_{Ed} deve rispettare la seguente condizione:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

La resistenza di progetto a rottura della sezione si ricava come:

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{net} \cdot f_{tk}}{\gamma_{M2}}$$

- Verifica a taglio

Come indicato al 4.2.4.1.2.4 delle NTC 2018, il valore di progetto dell'azione tagliante V_{Ed} deve rispettare la condizione:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

dove la resistenza di progetto a taglio $V_{c,Rd}$, in assenza di torsione, vale

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} \approx 0,6 \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}}$$

dove A_v è l'area resistente a taglio.

Le verifiche a resistenza per gli spezzoni di catena, aventi la funzione di ganci di movimentazione, scelti sono riportati nelle seguenti tabelle, da cui risultano tutte ampiamente soddisfatte:

VERIFICA A TAGLIO GANCI DI ANCORAGGIO						
peso corpo morto fuori dall'acqua	Tiro massimo	Angolo di tiro	Azione Sollecitante	Sezione gancio	Azione Resistente	Verifica (<1)
W	T	φ	Fv,Ed	A	Rv,Rd	Fv,Ed/Rv,Rd
[t]	[t]	[°]	[N]	[mm ²]	[N]	
7,50	2,04	45,00	14129,77	706,86	183217,68	0,08
7,50	2,39	45,00	16605,29	706,86	183217,68	0,09
10,80	2,98	45,00	20690,53	706,86	183217,68	0,11

VERIFICA A TRAZIONE GANCI DI ANCORAGGIO						
peso corpo morto fuori dall'acqua	Tiro massimo	Angolo di tiro	Azione Sollecitante	Sezione gancio	Azione Resistente	Verifica (<1)
W	T	φ	Fv,Ed	A	Rv,Rd	Fv,Ed/Rv,Rd
[t]	[Kg]	[°]	[N]	[mm ²]	[N]	
7,50	2,04	45,00	87704,77	706,86	274826,53	0,32
7,50	2,39	45,00	90180,29	706,86	274826,53	0,33
10,80	2,98	45,00	126638,53	706,86	274826,53	0,46

3.4.2 Dimensionamento delle catene di collegamento dei pontili ai corpi morti

I nuovi pontili galleggianti saranno collegati ai corpi morti dimensionati in precedenza mediante delle catene genovese aventi diametro pari a 22 mm con carico di rottura minimo pari a 17 t. Nella tabella seguente sono presenti tre righe ciascuna delle quali corrisponde ad una particolare combinazione di imbarcazioni ormeggiate: 8.00 m – 10.00 m- 12.00m. Ai fini progettuali e andando a favore della sicurezza si adotteranno i valori derivanti dal dimensionamento riferito ad imbarcazioni da 12.00 m. Come si evince dalla tabella di calcolo le lunghezze sono determinate in funzione della posizione del corpo morto nel fondale a –3.00 m che rappresenta la quota di progetto.

DIMENSIONAMENTO CATENA						
Tiro x 1.5	Carico di rottura	Diametro	Peso	Profondità fondale	Lunghezza	Peso catena
R	CR	D	P	d	L	P _c
[KN]	[KN]	[mm]	[kg/m]	[m]	[m]	[kg]
29,97	179,08	22,00	10,00	3,00	9,00	90,00
35,23	179,08	22,00	10,00	3,00	9,00	90,00
43,89	179,08	22,00	10,00	3,00	9,00	90,00

In tabella sono presenti anche i pesi delle catene in funzione della loro lunghezza. Il tiro di progetto è sempre molto minore del carico di rottura della catena pari a: 179.08 KN.

3.4.3 Dimensionamento del sistema di ormeggio delle imbarcazioni

Il sistema di ormeggio nel caso in esame sarà costituito da sistema a pendino (o trappa), realizzato con catene e cime riportate sui pontili. La trappa è costituita da:

- uno **spezzone di catena** navale e/o a maglia genovese da $\Phi 16$, a seconda del posto barca, zincata UNI 4419 di lunghezza pari a 1/3 della profondità;

- una **cima di ormeggio** in poliestere ad alta tenacità autoaffondante completa di grilli di unione, redancia in acciaio inox ed impiombatura, di diametro da $\Phi 16$ per lunghezza del posto barca minore e/o uguale di 20 m (come nel caso in esame). Il carico di rottura tipico per le cime con diametro $\Phi 16$ è pari a circa 3400 kg – 3.4 t.

Dall'analisi dei carichi riportate nelle tabelle precedenti, si evince che per per le imbarcazioni tipo che andranno ad ormeggiarsi i tiri calcolati, rapportati ai carichi di rottura delle cime proposte in progetto consentono di ottenere dei coefficienti di sicurezza maggiori dell'unità. In particolare per i 12.00 m si ha un fattore di sicurezza pari a 8:

- $3.4t \text{ (carico di rottura cima)} / 0.42t \text{ (tiro singola imbarcazione)} = 8.10$

3.4.4 Scelta della catena madre

I nuovi corpi morti in progetto per l'ormeggio delle imbarcazioni saranno collegati tra di loro attraverso una catena madre con diametro $\Phi 22$ adagiata sul fondo, il tutto come da schema grafico allegato.