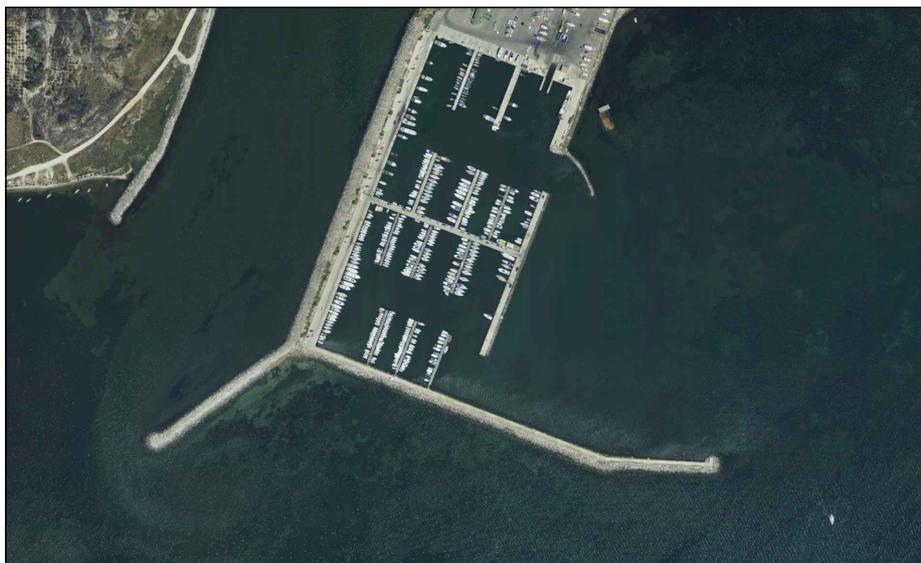




COMUNE DI ORISTANO



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	11.05.2023	REVISIONE
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/i - 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	4
2.1	Forze derivanti dall'azione del vento	5
2.2	Forze derivanti dall'azione della corrente marina	6
2.3	Forze derivanti dall'azione del moto ondoso	7
2.3.1	Calcolo del tiro risultante.....	8
3	Descrizione e specifiche tecniche dei pontili galleggianti proposti	11
3.1	Normativa	14
3.2	Materiali impiegati	14
3.3	Analisi dei carichi statici	15
3.4	Azioni sismiche di progetto.....	15
3.5	Condizioni di carico	17
	Schemi di esercizio	21
	Combinazioni di carico	21
3.6	Verifica del pontile	25
	Verifica delle funi di collegamento longitudinale dei pontili singoli.....	30
	Dimensionamento e verifica dei corpi morti	31
3.6.1	Verifica a scorrimento sul piano di posa.....	34
3.6.2	Verifica a ribaltamento (rispetto al punto A):	35
3.7	Dimensionamento e verifica degli ancoraggi	37
3.7.1	Verifiche di resistenza per gli spezzoni di catena	38
3.7.2	Dimensionamento delle catene di collegamento dei pontili ai corpi morti	39
3.7.3	Dimensionamento del sistema di ormeggio delle imbarcazioni	39
3.7.4	Scelta della catena madre.....	40

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).

I 6 pontili galleggianti previsti in progetto sono i medesimi che verranno installati con intervento precedente, finanziato con altri fondi a disposizione dell'Amministrazione Comunale che prevede il posizionamento 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;

Pertanto con il presente progetto si completerà il layout della darsena sud mediante l'installazione di 6 moduli a completamento dei due pontili PG 02 e PG 03 presenti nella darsena sud al fine di raggiungere la lunghezza complessiva di 96 m.

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 pontili verrà garantito tramite una passerella di dimensioni 6.00 m x 1,20 m.

PROGETTO DEFINITIVO

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 avamporto.

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 ai 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.

Nello stralcio della tavola progettuale sotto riportata, viene riportata la posizione dei nuovi pontili galleggianti di completamento del layout con il posizionamento dei nuovi corpi morti e catena madre.

PROGETTO DEFINITIVO



Ripartizione posti barca

Situazione di progetto

CAT	DARSENA NORD		DARSENA SUD		TOTALE
	pesca	diporto	pesca	diporto	
I	0	16	0	75	
II	46	21	0	64	
III	0	34	0	29	
IV	29	50	0	24	
V	30	0	0	21	
VI	8	3	0	20	
VII	0	0	0	0	
TOTALE	113	124	0	233	470
TOTALE	PESCA	113	DIPORTO	357	

Prolungamento pontili previsti in altro intervento in corso di appalto

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.

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.

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:

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

PROGETTO DEFINITIVO

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:

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

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:

PROGETTO DEFINITIVO

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 1 : 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 spira 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 **Tabella1** 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.

PROGETTO DEFINITIVO

IMBARCAZIONI 8.00m

IMBARCAZIONI 10.00m

SOLLECITAZIONE FRONTALE - VENTO				SOLLECITAZIONE FRONTALE - VENTO			
q	pressione vento	kPa	0,0006	q	pressione vento	kPa	0,0006
CD	drag coefficient	-	0,45	CD	drag coefficient	-	0,45
v	velocità vento	m s ⁻¹	22,25	v	velocità vento	m s ⁻¹	22,25
cd	coeff. Esposizione	-	1,23	cd	coeff. Esposizione	-	1,23
	pressione vento m ⁻²	KN m ⁻²	0,20		pressione vento m ⁻²	KN m ⁻²	0,20
	Tiro vento	KN	0,81		Tiro vento	KN	1,21
SOLLECITAZIONE FRONTALE - CORRENTE				SOLLECITAZIONE FRONTALE - CORRENTE			
q	pressione corrente	kPa	0,25	q	pressione corrente	kPa	0,25
v	velocità corrente	m s ⁻¹	0,5	v	velocità corrente	m s ⁻¹	0,5
	Tiro corrente	KN	0,22		Tiro corrente	KN	0,28
SOLLECITAZIONE FRONTALE - ONDA				SOLLECITAZIONE FRONTALE - ONDA			
q	forza onda		1,25	q	forza onda		1,25
	Fattore tiro onda		1,25	Fattore tiro onda			1,25
	Tiro - KN		1,28	Tiro - KN			1,87
	Tiro - KN		1,28		Tiro - KN		1,87
CS	Coefficiente di schermo		1,00	CS	Coefficiente di schermo		1,00
SF	Coefficiente di sicurezza		1,50	SF	Coefficiente di sicurezza		1,50
	Tiro complessivo - KN		1,93		Tiro complessivo - KN		2,80
	Tiro complessivo - t		0,20		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	KN	1,82
SOLLECITAZIONE FRONTALE - CORRENTE			
q	pressione corrente	kPa	0,25
v	velocità corrente	m s ⁻¹	0,5
	Tiro corrente	KN	0,38
SOLLECITAZIONE FRONTALE - ONDA			
q	forza onda		1,25
	Fattore tiro onda		1,25
	Tiro - KN		2,74
	Tiro - KN		2,74
CS	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.

PROGETTO DEFINITIVO

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 rettangolare il tutto a favore della sicurezza.

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

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

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

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

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
--------------------------	-----------------	-----------------------	--------

A lato si riportano i calcoli in forma tabellare:

	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

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

PROGETTO DEFINITIVO

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):

$$12.00 \text{ m} \times 0.30 \text{ m} = 3.60 \text{ m}^2;$$

- Superficie laterale (CORRENTE):

$$12.00 \text{ m} \times 0.364 \text{ m} = 4.37 \text{ m}^2.$$

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
Fattore tiro onda			1,25
			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.

3 Descrizione e specifiche tecniche dei pontili galleggianti proposti

Nel seguente paragrafo viene descritto il progetto dei pontili galleggianti del tipo a dislocamento continuo realizzati con elementi in c.a. scatolari prefabbricati delle dimensioni in pianta di m 12,00×3,00 e con altezza di m 1,235.

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

Gli elementi in c.a. sono costituiti da una soletta superiore di spessore 4 cm nervata con tre nervature longitudinali 10x10 cm, con setti divisorii verticali di spessore 10 cm e pareti laterali di spessore 7,5 cm, con testate in c.a. di spessore 15 cm rinforzate per l'alloggiamento dei cavi di collegamento.

PROGETTO DEFINITIVO

3.1 Normativa

Nella redazione della presente relazione si sono tenute presenti tutte le norme vigenti in materia di edilizia ed in particolare:

- DM 17-01-2018 "Aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni".
- Circ.Min. 21-01-2019 n. 7 "Istruzioni per l'applicazione dell' «Aggiornamento delle Nuove norme tecniche per le costruzioni»".
- AIPCN – PIANC – Associazione Internazionale di Navigazione - Sezione Italiana. Raccomandazioni tecniche per la progettazione dei porti turistici - Febbraio 2002

3.2 Materiali impiegati

Nella realizzazione del progetto sono stati impiegati i seguenti materiali:

- Calcestruzzo con cemento pozzolanico di classe C35/45 additivato con fibre Dramix RC 80/80-CN.

$f_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$	resistenza cilindrica caratteristica a compressione
$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 43 \text{ N/mm}^2$	resistenza cilindrica media a compressione
$f_{cd} = 0,85 \cdot f_{ck} / 1,5 = 19,83 \text{ N/mm}^2$	resistenza di calcolo a compressione
$f_{ctm} = 5,30 \text{ N/mm}^2$	resistenza media a trazione
$f_{ctk} = 0,7 \cdot f_{ctm} = 3,71 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica a trazione
$f_{ctd} = f_{ctk} / 1,5 = 2,478 \text{ N/mm}^2$	resistenza di calcolo a trazione
$E_{cm} = 22000 \cdot [f_{cm} / 10]^{0,3} = 34077 \text{ N/mm}^2$	modulo di elasticità a 28 giorni Tipo di cemento: CEM I, II

Casse di consistenza: S4

Diametro massimo aggregato: 32 mm

Classe di esposizione ambientale: XS3

Contenuto minimo di cemento: 340 kg/m³

Rapporto massimo acqua/cemento: 0.50

- Acciaio per armatura B450C zincato.

$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di rottura
$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di snervamento $f_{yd} = f_{yk} / 1,15 =$
$391,3 \text{ N/mm}^2$	resistenza di calcolo
$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$	modulo di elasticità

- Reti elettrosaldate in acciaio B450C zincato.

$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di rottura
----------------------------------	--------------------------------------

PROGETTO DEFINITIVO

$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$	resistenza caratteristica di snervamento $f_{yd} = f_{yk}/1,15 =$
$391,3 \text{ N/mm}^2$	resistenza di calcolo
$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$	modulo di elasticità
• Funi di acciaio inox.	
$f_{ptk} \geq 1570 \text{ N/mm}^2$	tensione caratteristica di rottura
$f_p(0,1)_k \geq 1495 \text{ N/mm}^2$	tensione caratteristica allo 0,1% di deformazione residua
$A_{gt} \geq 3,5$	allungamento sotto carico massimo

3.3 Analisi dei carichi statici

Ai fini del calcolo si considerano i seguenti carichi:

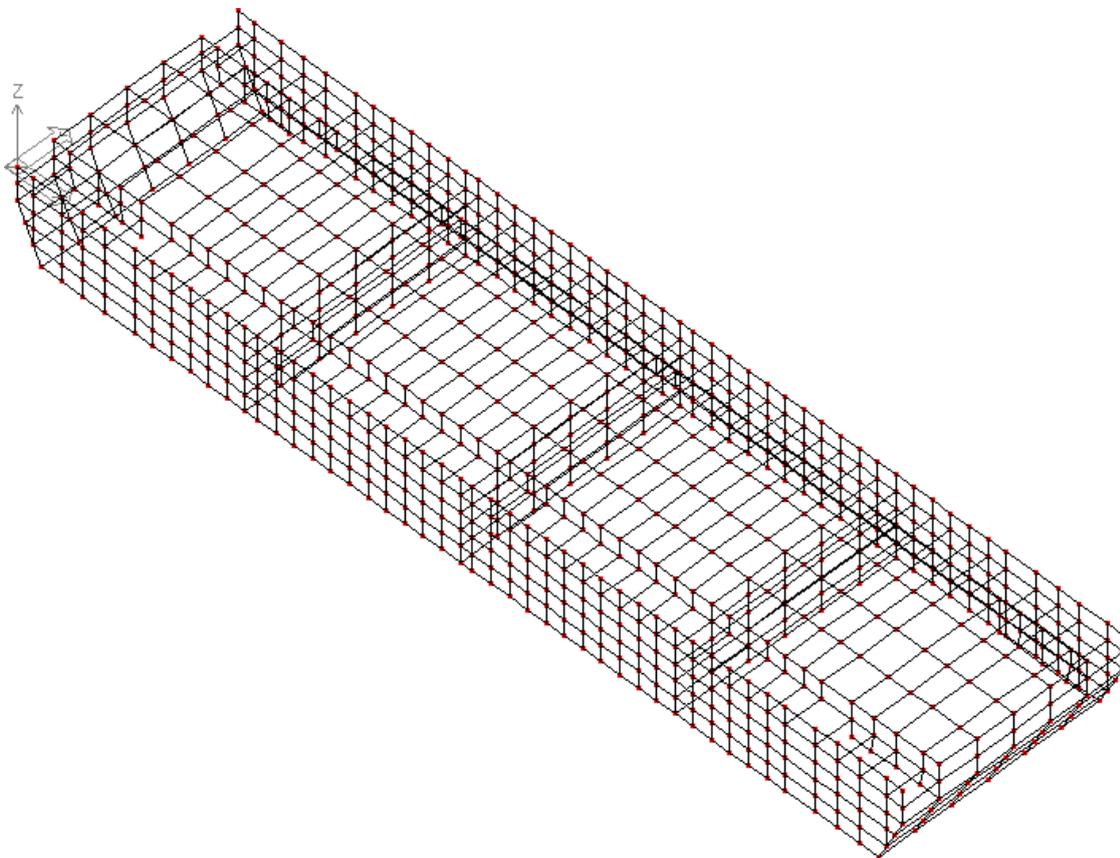
- Peso proprio della struttura	
- Sovraccarico di esercizio sulla soletta	400 kg/m ²
- Sovraccarico di esercizio eccentrico su 1/2 soletta	150 kg/m ²
- Spinta del vento sulla parte emersa	100 kg/ml
- Sottospinta idraulica	650 kg/m ²
- Spinta dell'onda ($h_{sign} = 0,40 \text{ m}$)	205 kg/m ²
- Tiro bitta	5000 kg

3.4 Azioni sismiche di progetto

Indipendentemente dal fatto che il Comune sede dell'installazione dei pontili sia classificato in zona sismica 4, trattandosi di strutture galleggianti, esse non risultano "sensibili" ad eventuali azioni sismiche.

PROGETTO DEFINITIVO

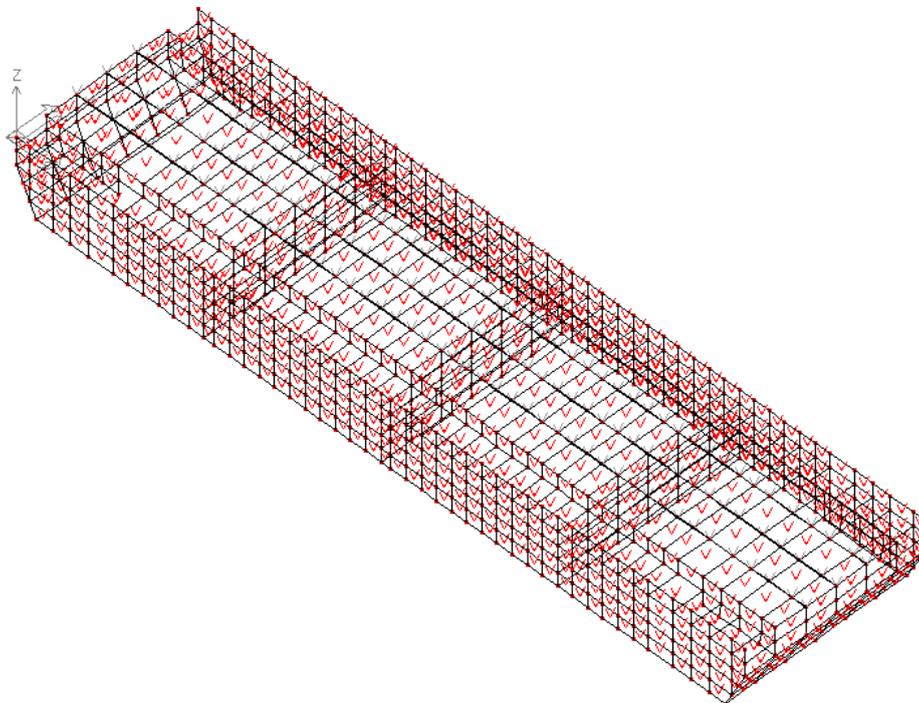
Ai fini del calcolo è stato implementato un modello di calcolo agli elementi finiti del pontile.



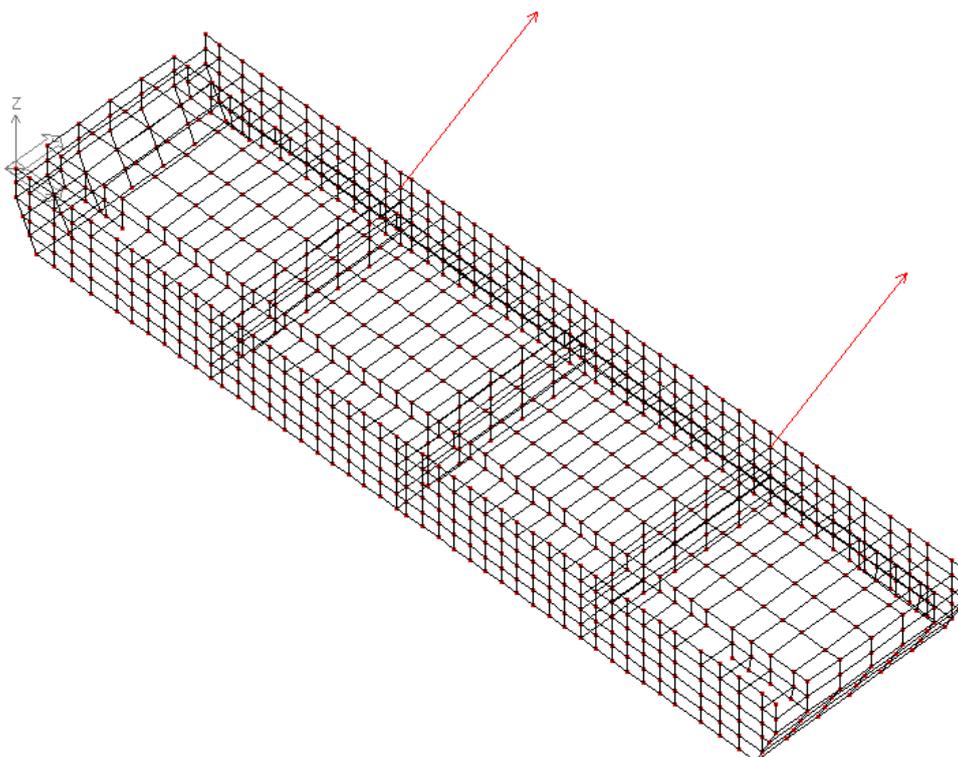
Modello FEM del pontile.

3.5 **Condizioni di carico**

Si riportano le immagine dei casi di carico assunti per il calcolo delle strutture.



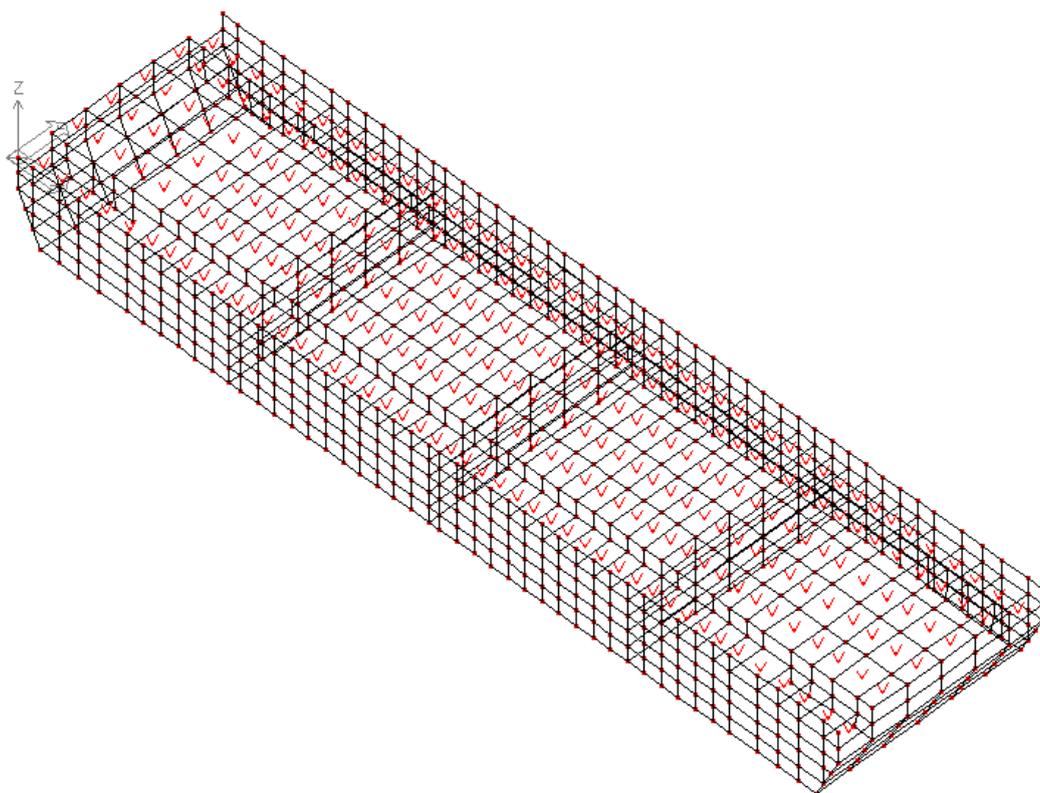
Carico da peso proprio.



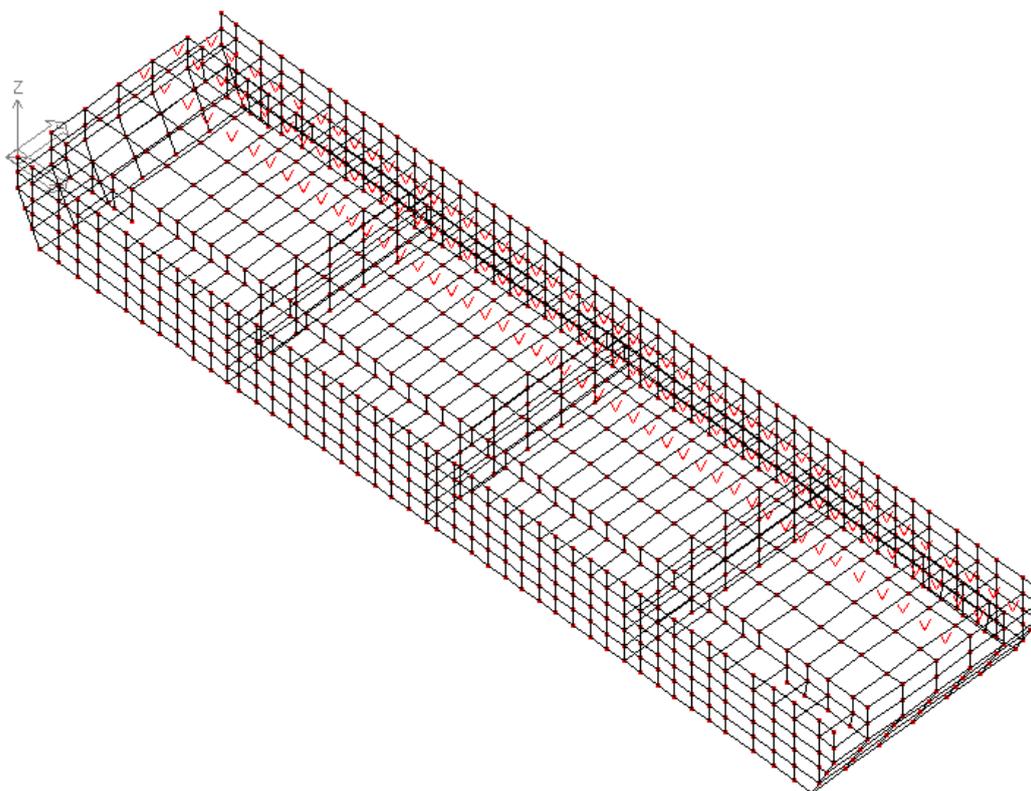
Tiro di ormeggio della bitta.

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO



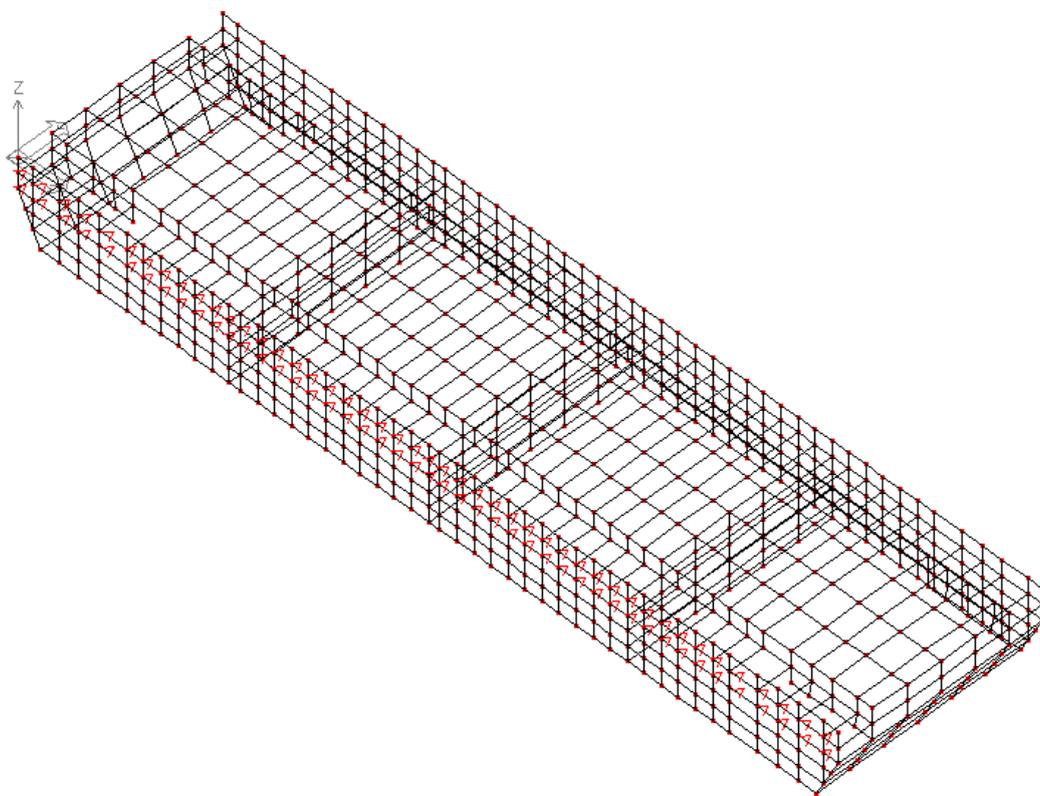
Carico accidentale sulla soletta.



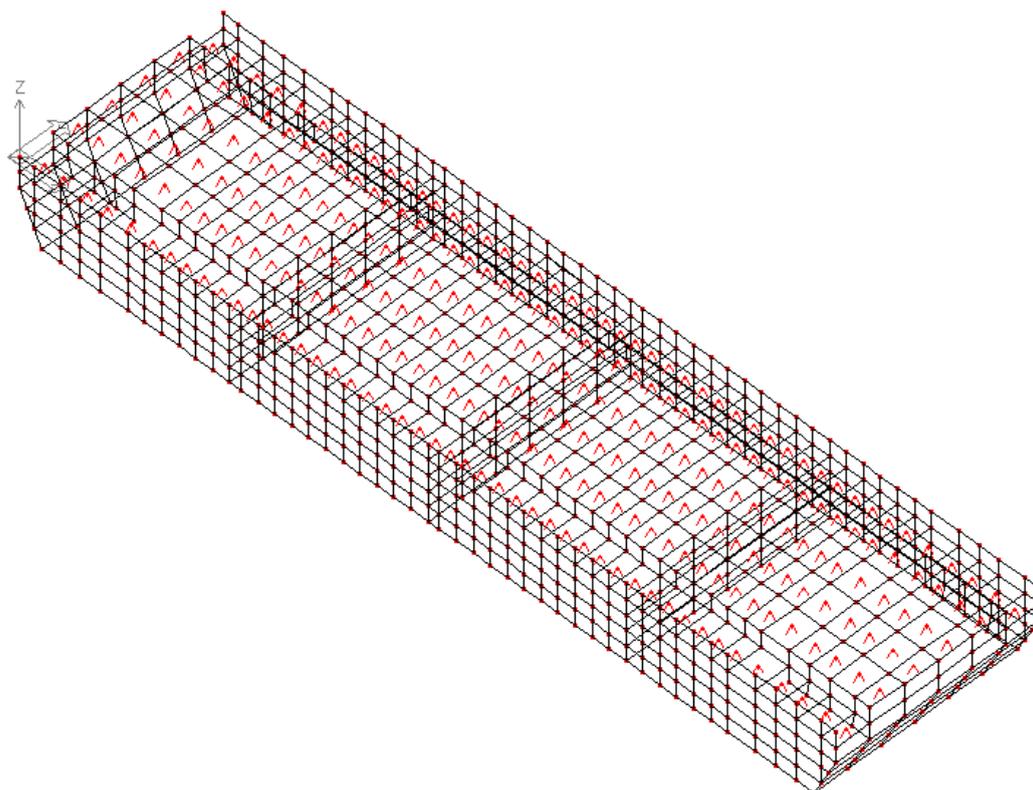
Carico accidentale su ½ soletta.

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO



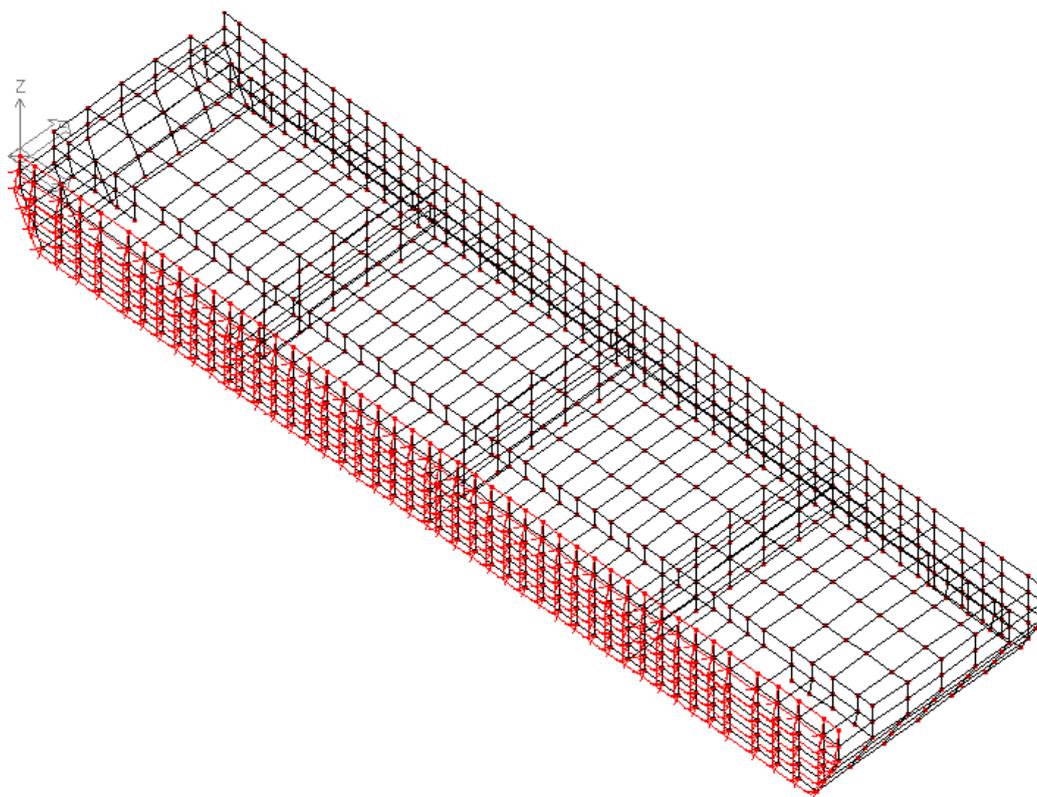
Spinta laterale del vento sulla parte emersa.



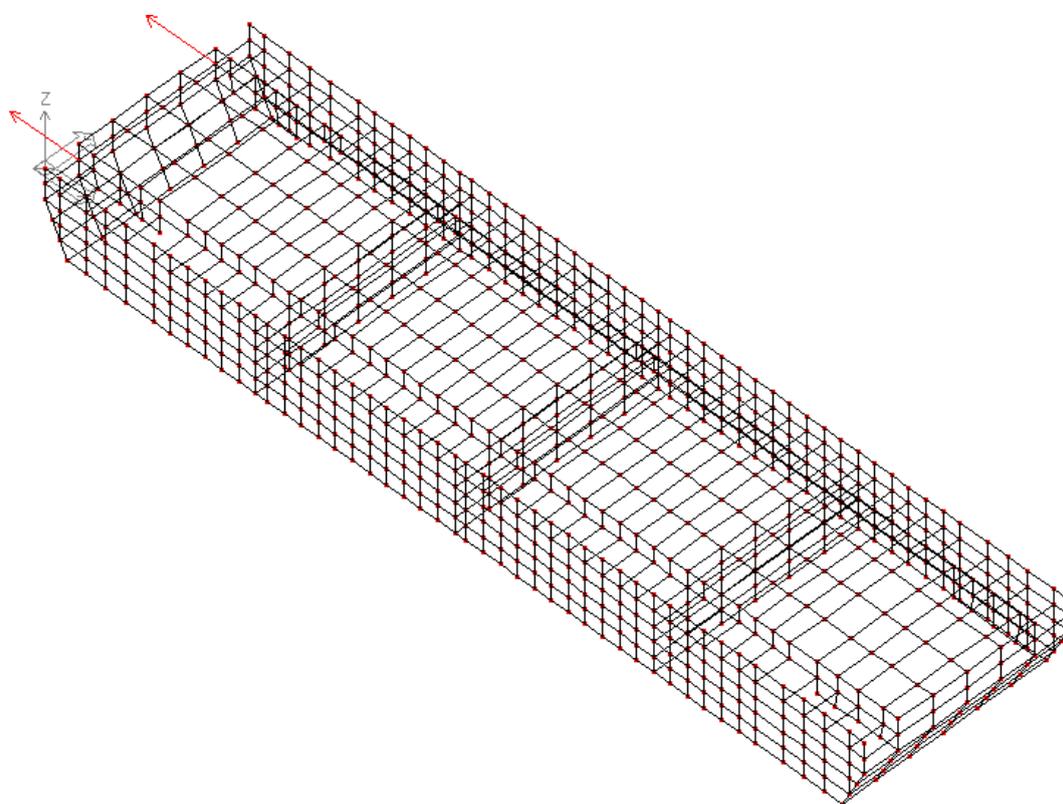
Sottospinta idraulica.

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO



Spinta dell'onda.



Tiro delle funi di collegamento.

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO

Schemi di esercizio

Ai fini della determinazione delle massime sollecitazioni negli elementi strutturali, sono stati considerati 2 schemi di esercizio delle strutture:

Schema 1: esercizio delle strutture

Le strutture sono verificate sotto i carichi di esercizio.

Schema 2: fessurazione delle strutture

Le strutture sono verificate allo Stato Limite Elastico di fessurazione considerando un ambiente molto aggressivo.

Combinazioni di carico

Considerati i seguenti casi di carico:

CDC	Tipo	Sigla Id
1	G _{gk}	Peso proprio della struttura
2	Q _k	Tiro ormeggio bitta
3	Q _k	Sovraccarico accidentale
4	Q _k	Sovraccarico accidentale ½ soletta
5	Q _k	Spinta vento
6	G _k	Spinta idraulica
7	Q _k	Spinta onda
8	Q _k	Tiro funi

ai fini della determinazione delle massime sollecitazioni negli elementi strutturali, sono state considerate, per ogni schema di esercizio, le seguenti combinazioni di carico:

<u>Schema 1: montaggio</u>			
<i>Combinazione</i>	<i>Tipo</i>	<i>Sigla Id</i>	<i>Caso di carico</i>
1	SLU	Montaggio	Peso proprio

con i seguenti coefficienti moltiplicativi dei carichi

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO

Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8
1	1.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Schema 2: esercizio		
<i>Cmb</i>	<i>Tipo</i>	<i>Sigla Id</i>
1	SLU	Comb. SLU 1
2	SLU	Comb. SLU 2
3	SLU	Comb. SLU 3
4	SLU	Comb. SLU 4
5	SLU	Comb. SLU 5
6	SLU	Comb. SLU 6
7	SLU	Comb. SLU 7
8	SLU	Comb. SLU 8

ANALISI

Schema 2: esercizio		
<i>Cmb</i>	<i>Tipo</i>	<i>Sigla Id</i>
9	SLU	Comb. SLU 9
10	SLU	Comb. SLU 10
11	SLU	Comb. SLU 11
12	SLU	Comb. SLU 12
13	SLU	Comb. SLU 13
14	SLU	Comb. SLU 14
15	SLU	Comb. SLU 15
16	SLU	Comb. SLU 16
17	SLU	Comb. SLU 17
18	SLU	Comb. SLU 18
19	SLU	Comb. SLU 19
20	SLU	Comb. SLU 20

con i seguenti coefficienti moltiplicativi dei carichi

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO

Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8
1	1.30	1.50	1.05	1.05	0.0	1.30	0.90	1.05
2	1.00	1.50	1.05	1.05	0.0	1.00	0.90	1.05
3	1.30	1.05	1.50	1.05	0.0	1.30	0.90	1.05
4	1.00	1.05	1.50	1.05	0.0	1.00	0.90	1.05
5	1.30	1.05	1.05	1.50	0.0	1.30	0.90	1.05
6	1.00	1.05	1.05	1.50	0.0	1.00	0.90	1.05
7	1.30	1.05	1.05	1.05	0.0	1.30	1.50	1.05
8	1.00	1.05	1.05	1.05	0.0	1.00	1.50	1.05
9	1.30	1.05	1.05	1.05	0.0	1.30	0.90	1.50
10	1.00	1.05	1.05	1.05	0.0	1.00	0.90	1.50
11	1.30	1.50	1.05	0.0	0.90	1.30	0.90	1.05
12	1.00	1.50	1.05	0.0	0.90	1.00	0.90	1.05
13	1.30	1.05	1.50	0.0	0.90	1.30	0.90	1.05
14	1.00	1.05	1.50	0.0	0.90	1.00	0.90	1.05
15	1.30	1.05	1.05	0.0	1.50	1.30	0.90	1.05
16	1.00	1.05	1.05	0.0	1.50	1.00	0.90	1.05
17	1.30	1.05	1.05	0.0	0.90	1.30	1.50	1.05
18	1.00	1.05	1.05	0.0	0.90	1.00	1.50	1.05
19	1.30	1.05	1.05	0.0	0.90	1.30	0.90	1.50
20	1.00	1.05	1.05	0.0	0.90	1.00	0.90	1.50

<u>Schema 3: fessurazione</u>		
<i>Cmb</i>	<i>Tipo</i>	<i>Sigla Id</i>
21	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 21

con i seguenti coefficienti moltiplicativi dei carichi

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO

Relazione di calcolo delle SLE

Schema 3: fessurazione		
<i>Cmb</i>	<i>Tipo</i>	<i>Sigla Id</i>
22	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 22
23	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 23
24	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 24
25	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 25
26	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 26
27	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 27
28	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 28
29	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 29
30	SLE(f)	Comb. SLE(freq.) 30
31	SLE(p)	Comb. SLE(perm.) 31
32	SLE(p)	Comb. SLE(perm.) 32

con i seguenti coefficienti moltiplicativi dei carichi

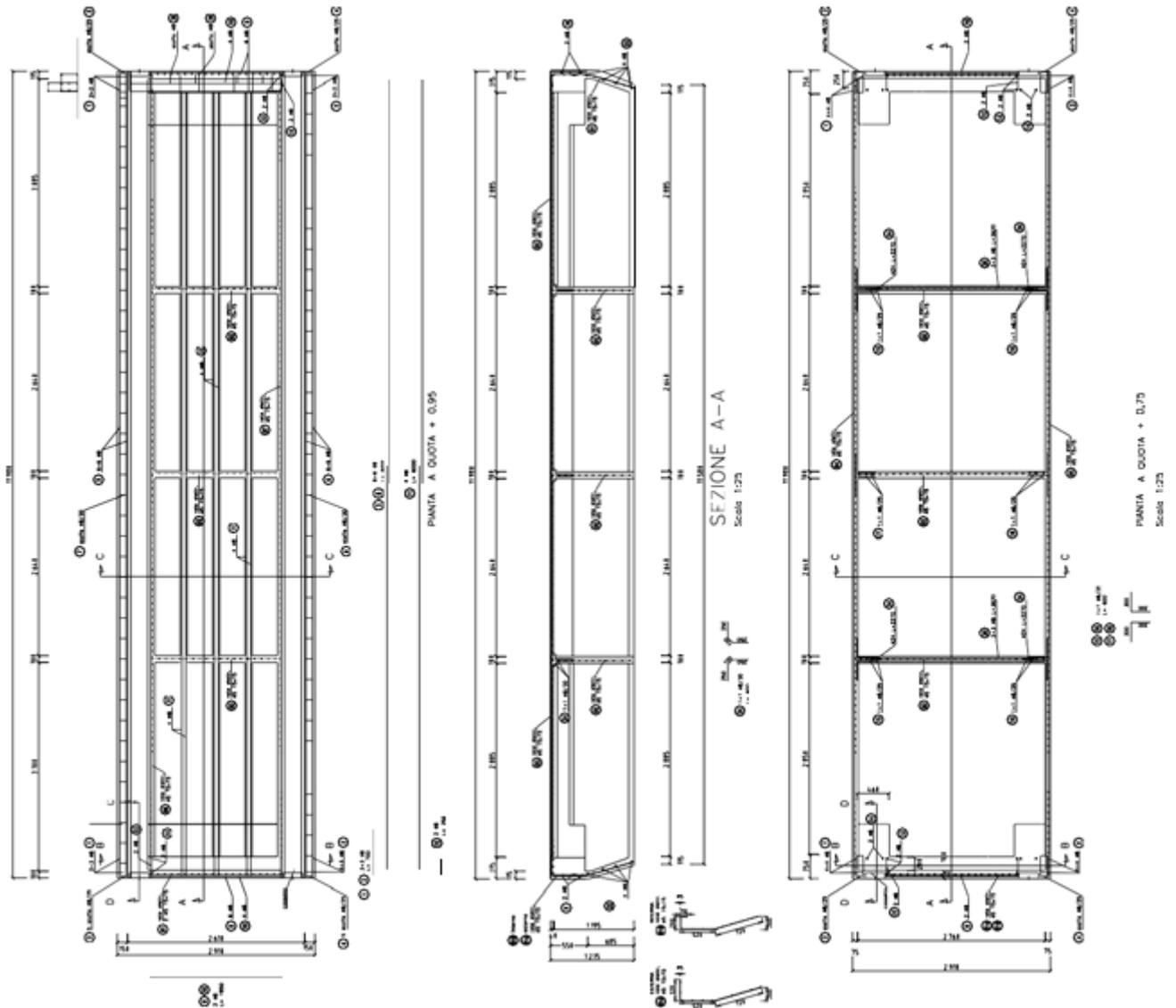
Cmb	CDC 1	CDC 2	CDC 3	CDC 4	CDC 5	CDC 6	CDC 7	CDC 8
21	1.00	0.50	0.30	0.30	0.0	1.00	0.0	0.30
22	1.00	0.30	0.50	0.30	0.0	1.00	0.0	0.30
23	1.00	0.30	0.30	0.50	0.0	1.00	0.0	0.30
24	1.00	0.30	0.30	0.30	0.0	1.00	0.20	0.30
25	1.00	0.30	0.30	0.30	0.0	1.00	0.0	0.50
26	1.00	0.50	0.30	0.0	0.0	1.00	0.0	0.30
27	1.00	0.30	0.50	0.0	0.0	1.00	0.0	0.30
28	1.00	0.30	0.30	0.0	0.20	1.00	0.0	0.30
29	1.00	0.30	0.30	0.0	0.0	1.00	0.20	0.30
30	1.00	0.30	0.30	0.0	0.0	1.00	0.0	0.50
31	1.00	0.30	0.30	0.30	0.0	1.00	0.0	0.30
32	1.00	0.30	0.30	0.0	0.0	1.00	0.0	0.30

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO

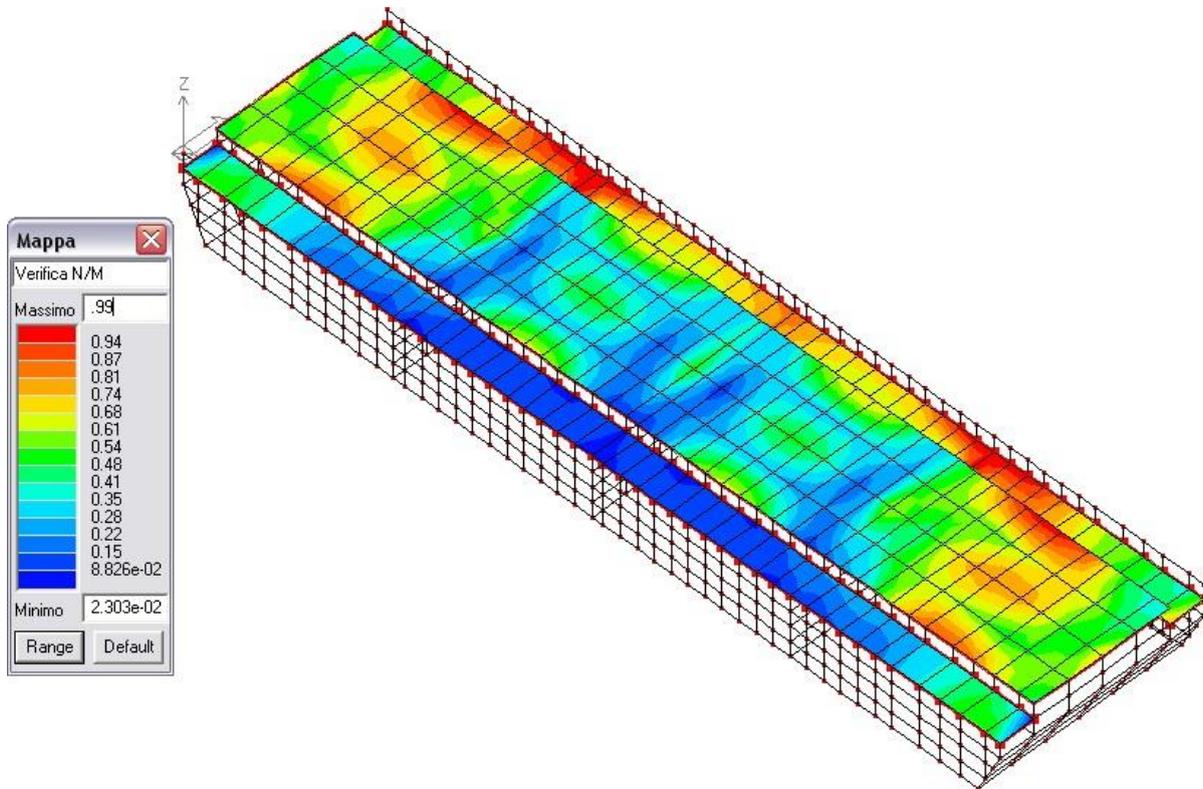
3.6 Verifica del pontile

Si considera la disposizione delle armature riportate nelle figure che seguono.

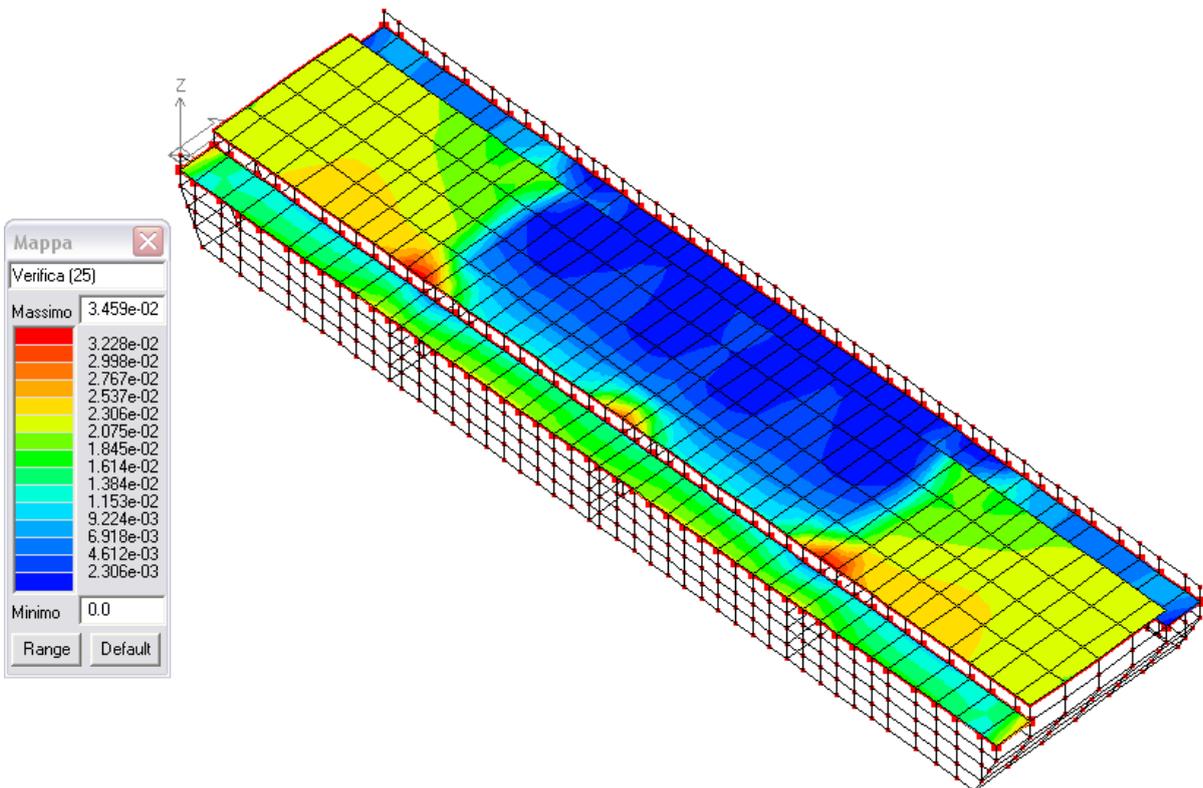


Modulo pontile – Distinta armature

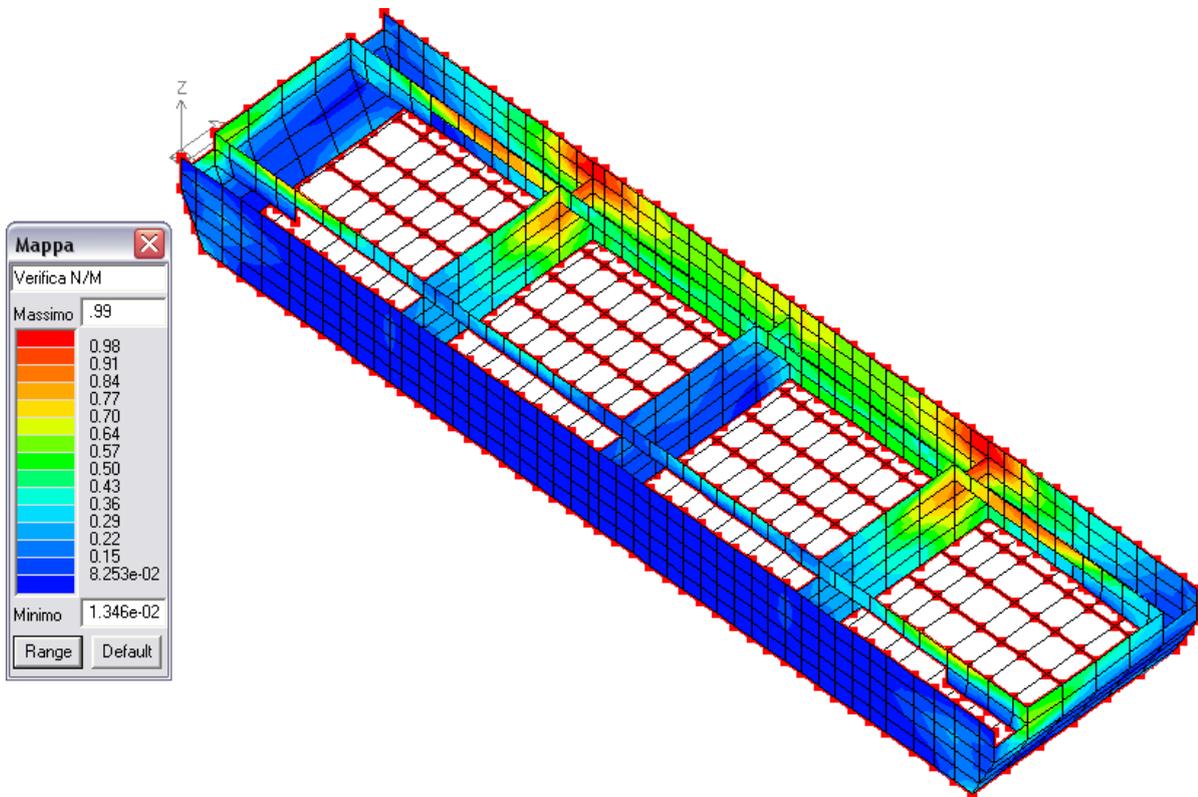
Verifica della fase di esercizio



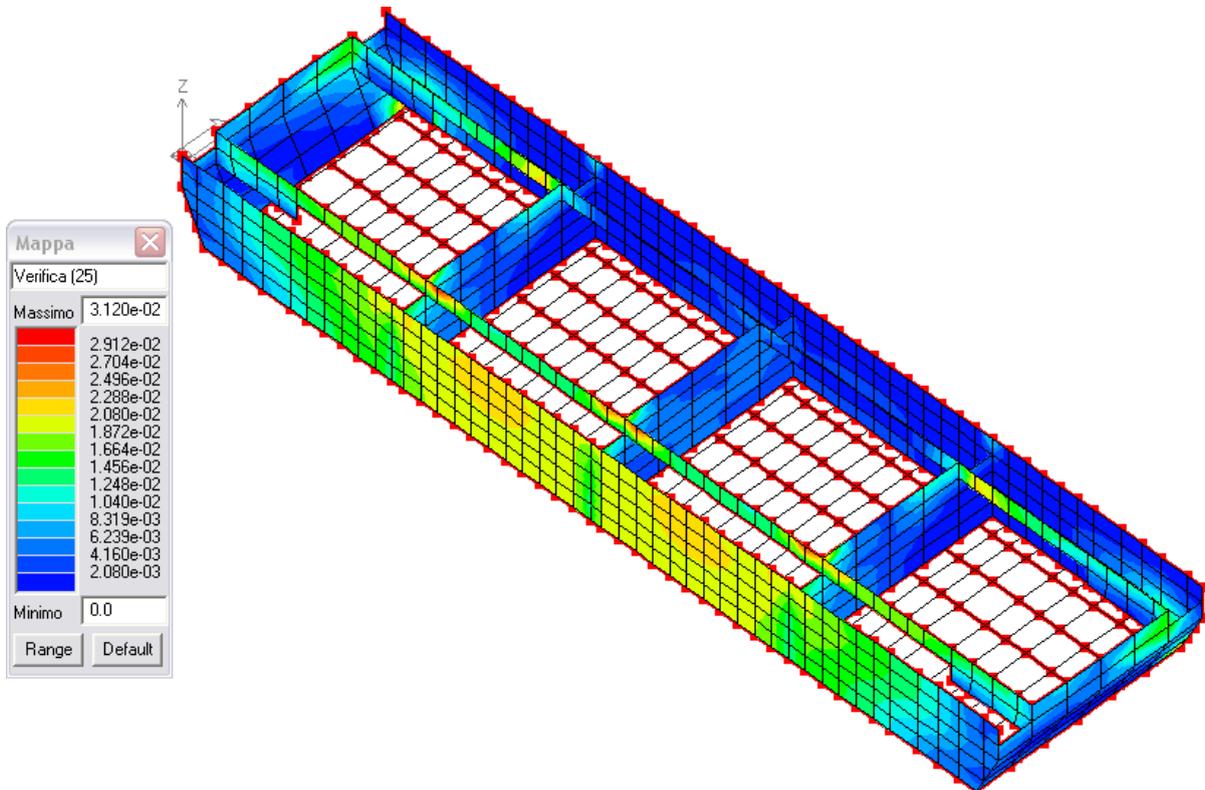
Verifica a pressoflessione della soletta.



Verifica a taglio della soletta.



Verifica a pressoflessione delle pareti.



Verifica a taglio delle pareti.

Riqualificazione e Potenziamento del porto turistico e porto pescatori in Torregrande

PROGETTO DEFINITIVO

Verifica a fessurazione

Le verifiche sono soddisfatte per valori di fessure <0,2 mm.

Per la soletta (spessore $s=4$ cm) si ricava

$M^{freq} = 57$ kgm momento flettente per combinazione SLE frequente

$M^{perm} = 57$ kgm momento flettente per combinazione SLE quasi permanente da cui

$w^{freq} = 0,1199$ mm ampiezza fessure per combinazione SLE frequente

$w^{perm} = 0,1220$ mm ampiezza fessure per combinazione SLE quasi permanente

Per le pareti perimetrali (spessore $s=7,5$ cm) si ricava

$M^{freq} = 58,47$ kgm momento flettente per combinazione SLE frequente

$M^{perm} = 58,44$ kgm momento flettente per combinazione SLE quasi permanente da cui

$w^{freq} = 0,0882$ mm ampiezza fessure per combinazione SLE frequente

$w^{perm} = 0,0882$ mm ampiezza fessure per combinazione SLE quasi permanente

Per i setti centrali (spessore $s=10$ cm) si ricava

$M^{freq} = 6,44$ kgm momento flettente per combinazione SLE frequente $M^{perm} = 4,43$ kgm

momento flettente per combinazione SLE quasi permanente

da cui

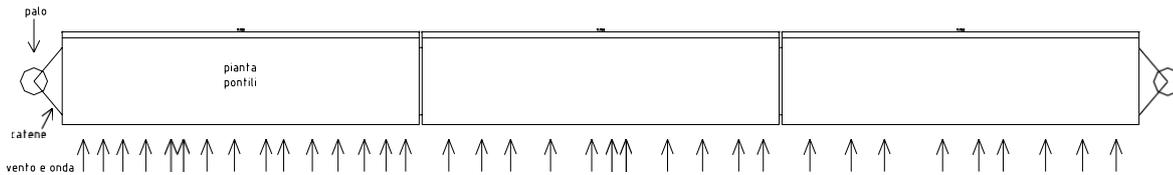
$w^{freq} = 0,0087$ mm ampiezza fessure per combinazione SLE frequente

$w^{perm} = 0,0058$ mm ampiezza fessure per combinazione SLE quasi permanente Le verifiche a fessurazione

risultano soddisfatte.

Verifica delle funi di collegamento longitudinale dei pontili singoli

Si considera l'azione del vento e dell'onda su un blocco di tre pontili. Lo schema è quello di trave in semplice appoggio di luce L=36 m.



Le azioni di vento ed onda generano momento flettente in mezzera pari a

$$M_{\text{vento}}^{\text{Sd}} = (1,5 \cdot q_{\text{vento}}) \cdot L^2 / 8 = (1,5 \cdot 100) \cdot 36^2 / 8 = 24300 \text{ kgm}$$

$$M_{\text{onda}}^{\text{Sd}} = (1,5 \cdot q_{\text{onda}}) \cdot L^2 / 8 = (1,5 \cdot 205 \cdot 0,4) \cdot 36^2 / 8 = 19926 \text{ kgm}$$

Considerato che il braccio delle funi di collegamento dei pontili è pari a $d=2,26$ m, si ricava sulla fune la sollecitazione

$$F_{\text{Sd}} = M_{\text{onda}}^{\text{Sd}} / d = 24300 / 2,26 = 10752 \text{ kg} < F_t = 14950 \text{ kg}$$

Tutte le verifiche risultano soddisfatte rispettando i requisiti normativi ed i relativi coefficienti di sicurezza.

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

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 $[\text{m}^3]$: $V = B^2 h$
- 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*

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

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:

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

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);
- Kp 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 Fs, per le verifiche a ribaltamento e scorrimento sarà definita facendo riferimento al seguente schema:

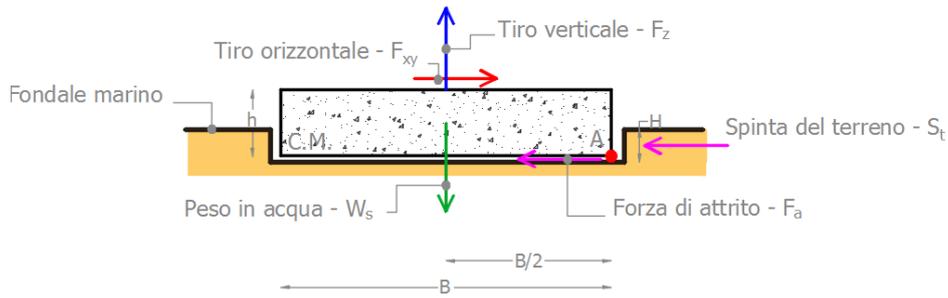


Figura 2: Schema delle azioni agenti sul corpo morto.

3.6.1 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:

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

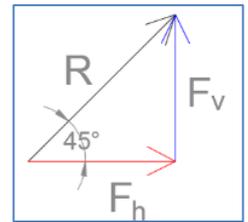
Imbarcazione	SOLLECITAZIONI			DIMENSIONI CORPO MORTO				Spinta Terreno S	VERIFICA ALLO SCORRIMENTO		
	Tiro risultante R	Tiro orizzontale F_{xy}	Tiro verticale F_z	Lato B	Altezza h	peso CM in aria W	Peso immerso W_s		Forze resistenti F_a	Forze spingenti F_{xy}	Coefficiente di sicurezza $F_a/F_{xy} \geq 1$
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

3.6.2 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 _{soll}	M _{res} / M _{soll} >= 1
	[t]	[t]	[t]	[m]	[m]	[t]	[t]	[t m]	[t m]	
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 impiegare sono:

- **Pontile galleggianti PG 01 e PG 02 (darsena sud)**

B = 2.50 m x 2.50 m x 0.50 m – **7.50 t**;

- **Pontile galleggiante PG 03 (darsena sud)**

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 5.00 t 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: 62;
- Corpi morti da 7.50 t: 42;
- Corpi morti da 10.80 t: 18;

3.7 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 cormpo 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.

3.7.1 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

3.7.2 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.

3.7.3 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 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:

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

3.7.4 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.