Comune di San Teodoro

Loc. Salina bamba

COMUNE DI SAN TEODORO

Progetto di rinnovo CDM det. n°1273 del 29/06/2012

Relazione tecnica di calcolo

ELAB.	15	DATA	SCALA	VARIE		
		APRILE 2013	AGG.			

STUDIO DI PROGETTAZIONE

DOTT. ING. GIOVANNI PILERI

INGEGNERIA DEL MARE
URBANISTICA - DD. LL.

Via Nazionale, 89
07020 CANNIGIONE (SS)
Tel./fax 0789/88450
E - mail: studiopileri@virgilio.it

IL PROGETTISTA:

DOTT. ING.
GIOVANNI PILERI

IL COMMITTENTE:

Comune
di San Teodoro

COLLABORATORI: ING. FABIO PADRE - RAG. TOMMASO ORECCHIONI

RELAZIONE TECNICA DI CALCOLO

La presente relazione di calcolo si riferisce alla richiesta di rinnovo della concessione demaniale da parte del Comune di San Teodoro per il posizionamento di un pontile galleggiante, in sostituzione di quello esistente, in località Salina Bamba.

La struttura esistente è composta da una passerella fissa su pali che parte dalla zona rocciosa con la testata che raggiunge il fondale di circa m. (– 2,00), ad essa si allaccia un pontile galleggiante dello sviluppo di m 72,00 con un martello di testata ed un piccolo sporgente alla radice.

Il progetto, di cui la presente relazione fa parte integrante, contempla la sostituzione di questa struttura, in precario stato, con una simile, mantenendo le stesse aree attualmente in concessione.

La nuova struttura sarà composta da n° 6 moduli galleggianti, lunghi mt.12,00 e larghi mt. 2.35, posti in sequenza e con due moduli delle stesse dimensioni posti nella testata. I moduli galleggianti sono costituiti da un telaio portante formato da travi correnti di profilato IPE testati e diagonali doppie di irrigidimento. Il collegamento tra gli elementi contigui di pontile è costituito giunti in perni di acciaio AISI 204 con rondelle in gomma stirolica, addittivata con fibra tessili.

Ogni telaio è provvisto di staffoni di ancoraggio realizzati mediante piatto di acciaio Fe360 B, sagomati e zincati a caldo, imbullonati al telaio con viteria in acciaio inox.

Il galleggiamento è assicurato da elementi fluttuanti di polistirolo espanso rivestiti da calcestruzzo armato con fibre di polipropilene.

Gli elementi modulari galleggianti sono forniti con parabordi sui lati lunghi, costituiti da elementi stampati a iniezione in polipropilene capolimero addittivati con filtri U.V. e fissati al telaio mediante bulloni.

Ogni modulo è corredato di anelli di ormeggio in acciaio inox AISI 304, fissati mediante bulloni.

Il piano di calpestio è realizzato con doghe di legno duro di essenze esotiche pregiate, fissate al telaio con un sistema che ne consente un rapido smontaggio per l'ispezione dell'impiantistica sottostante. Le doghe sono sostenute da travi in alluminio e fissate con viti autofilettanti di acciaio inox.

I pontili sono predisposti per le installazioni degli impianti idrico, elettrico ed antincendio. Le tubazioni sono alloggiate nella parte sottostante il piano di camminamento in apposite canalette ispezionabili.

Il sistema di ancoraggio del pontile è stato previsto con catene e corpi morti, come schematizzato nei disegni allegati. Sarà trattenuto nel piano orizzontale con catene zincate diam. mm.16, che collegheranno le estremità della struttura ai corpi morti di circa 3000 kg posati sul fondo.

Qui di seguito sono riportate le relazioni di calcolo relative al moto ondoso del sito e di dimensionamento e verifica delle strutture previste nell'intervento.

CAPO I - CALCOLI IDRODINAMICI

Lo studio meteomarino prende in esame i fenomeni che generano la maggiore onda nel sito durante la stagione estiva per un periodo di ritorno di 10 anni ed è elaborato secondo le teorie di Sverdrup-Munk, servendosi delle tabelle costruite dal Tenani, per quanto riguarda la determinazione dell'altezza e della rifrazione dell'onda.

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL PARAGGIO

1.1 - Settore di traversia e fetch

Il paraggio, ove dovrà essere impostato il pontile in progetto è costituito da una piccola rada, ubicata lungo la costa Nord Est dell'Isola Sardegna in località Salina Bamba compresa tra la Cala Brandinchi e Baia Salinedda nella località di Capo Coda Cavallo, nel comune di San Teodoro. Alle sue spalle si trova uno specchio d'acqua salata a cui si deve il nome della spiaggia, frequentato da interessanti specie avifaunistiche. L'arenile è costituito da granelli si sabbia sottilissima lambita da un mare trasparente, le cui sfumature turchesi sono speculari alla distesa delle saline.

La rada è abbastanza protetta e si apre a SW verso le spiagge di Cala Brandinchi e Porto Brandinchi. Il pontile, che è ubicato nella costa Est dell'insenatura, è esposto ai venti del III ed una piccola parte del II quadrante, con fetch molto limitati, mentre è completamente protetto dai venti e dal mare provenienti dalle altre direzioni. Le onde al largo, provenienti da SE ,con un fetch alquanto ampio, sono rotte dall'Isola Rossa e dal promontorio Sud della rada.

In relazione alla conformazione costiera circostante sono stati individuati due settori di traversia diretti:

- il principale, dato dalla visuale compresa fra 191° (allineamento punta sud della rada) e 229° (allineamento Punta di Capecciolo) con un fetch geografico ed efficace di Km 2,00 con venti provenienti da SSW e SW.
- un secondario dato dalla visuale compresa fra 229° (allineamento Punta Capecciolo) e 270° con un fetch geografico ed efficace di 0,94 Km con venti da WSW e W.

L'agitazione che crea la maggiore altezza d'onda nella rada nel periodo estivo interessato è quella generata da venti provenienti da SW, che vengono presi come base del calcolo dell'onda teorica.

Il calcolo che si propone serve quindi come verifica matematica per stabilire il moto ondoso sulla struttura in progetto.

1.2 – Fonti meteomerine a disposizione

I dati del vento utilizzati come riferimento per stabilire l'altezza dell'onda teorica in arrivo si riferiscono a tre fonti distinte:

- rilevamenti per l'aeronautica nel decennio 1973 - 80 della stazione metereologica Castasmeralda (all. 1) situata nell'aeroporto omonimo a quota 15 m sul livello del mare, riportati come frequenze e velocità medie mensili per ogni direzione, nonché la velocità massima del vento riscontrata nel mese;
- osservazoni metereologiche effettuate dalla stazione costiera di Capo Figari, situato nella costa nord di delimitazione del golfo di Olbia, nell'arco di 26 anni (compresi dal 1927 al 1964), elaborate dall'Istituto Idrografico della Marina e riportate nel volume "Il vento e lo

stato del mare sulle coste italiane - vol. II" edito dallo stesso Istituto Idrografico della Marina.(all. 2).

- Misure dirette effettuate dalle navi in transito al largo delle bocche di Bonifacio, relative al periodo 1961-1980 (20 anni di osservazioni) e raccolti dal Regio Istituto Meteorologico Olandese.(all. 3)

Da un confronto tra le fonti succitate risulta che i dati, anche se provenienti da località diverse, ma vicine, ed eseguite con sistemi di rilevamento e misura differenti, presentano sensibili analogie ed hanno caratteristiche generali simili:

- i venti con maggiore frequenza annua sono quelli provenienti da Ovest, con una percentuale che varia dal 23% al 28,3% (considerando anche il quadrante intermedio di WNW), e da Nord-Ovest con una percentuale che varia dal 7,2% al 8,4% e con velocità massime registrate che raggiungono, rapportate al livello del mare, i 65 nodi nell'arco di 50 anni;
- gli altri venti che non creano problemi alla rada sono quelli provenienti da Nord-Est con una percentuale variabile dal 5,7% al 7,6, da Est con una percentuale che varia dal 6,5 al 7,3%, e da Sud con una percentuale dello 0,9%.

Per la determinazione dell'altezza delle onde al largo sono stati utilizzati i dati del KNMI, e in quanto riferiti ad un maggior numero di anni consecutivi di osservazione ed rilevamenti effettuati in mare aperto senza alcuna interferenza della costa, e da questi dati sono state elaborate le tabelle riportate negli allegati 3.1, 3.2 e 3.3.

Dalla tabella delle velocità estreme per assegnati periodi di ritorno, sono risultati, per il settore di traversia che interessa l'opera in progetto, i seguenti valori :

Anni di ritorno	**Velocità del vento**			
	SSW	**SW**	**WSW**	**W**
1	28,2	43,1	31,4	38,9
5	35,0	52,5	38,1	45,8
10	37,7	56,4	40,7	48,5
25	40,9	61,4	43,9	51,9
50	43,3	65,2	46,2	54,3
100	45,5	68,9	48,5	56,6

Il valore della velocità del vento al suolo subisce una riduzione del 20% rispetto ai valori della tabella di cui sopra.

È stata eseguita anche un'analisi della stagionalità dei venti con estremo riguardo alla

stagione estiva, che è la stagione maggiormente interessata dal fenomeno diportistico, e da essa è risultata una riduzione dei valori estremi fino al 40% rispetto ai valori annui.

2 – MOTO ONDOSO, MAREE E DINAMICA LITORANEA

2.1 – Moto ondoso agente sull'opera in progetto

Il calcolo del massimo moto ondoso generato dall'azione del vento nello specchio acqueo della rada in esame nel punto dove sarà sistemato il pontile, è stata eseguita, adottando i valori del vento relativi agli eventi stagionali estremi per il settore di provenienza principale (venti da SW) , applicando il metodo di Swerdrup-Munk.

Trattandosi di un impianto a carattere stagionale per quanto attiene l'utilizzo del pontile sono state considerate le velocità massime stagionali, per il tempo di ritorno di cinque anni e venticinquennale (durata prevista dei manufatti), ridotte del 20% , per rapportarlo al livello del mare, e dell'ulteriore 40% per la stagione estiva considerata.

:

Anni di ritorno	**Velocità a livello del mare del vento da SW**	
	Nodi	**mt/sec**
5	25,2	13,0
25	29,5	15,2

I valori dell'onda estiva significativa di ritorno sia annuale che decennale per fetch illimitato, in regime stazionario, con la velocità del vento di 6,9 e 8,8 m/sec., si ricavano dalle formule di Sverdrup-Munk.

- altezza dell'onda:

$$\text{Quinquennale:} \quad H = 0{,}254 \frac{U^2}{g} = 0.254 \times (13)^2 / 9{,}81 = m\ 4{,}38$$

$$\text{Venticinquennale:} \quad H = 0{,}254 \frac{U^2}{g} = 0.254 \times (15{,}2)^2 / 9{,}81 = m\ 5{,}98$$

- periodo dell'onda:

$$\text{Quinquennale:} \quad T = 1{,}37 \times U \frac{2\pi}{g} = 1{,}37 \times 13 \times (2 \times 3{,}14/9{,}81) = 11{,}40 \text{ sec.}$$

$$\text{Venticinquennale:} \quad T = 1{,}37 \times U \frac{2\pi}{g} = 1{,}37 \times 15{,}2 \times (2 \times 3{,}14/9{,}81) = 13{,}33 \text{ sec.}$$

- lunghezza dell'onda:

$$\text{Quinquennale:} \quad L = \frac{g}{2\pi} \times T^2 = 11{,}40^2 \times (9{,}81/2\times3{,}14) = \text{m } 203{,}00$$

$$\text{Venticinquennale:} \quad L = \frac{g}{2\pi} \times T^2 = 13{,}33^2 \times (9{,}81/2\times3{,}14) = \text{m } 277{,}60$$

in cui: U = velocità del vento in metri al secondo

g = accelerazione di gravità

Si imposta il calcolo per l'onda venticinquennale e per quella quinquennale, per cui :

- dai grafici dello sviluppo delle onde in acque profonde (tabella 2) si ottengono, in funzione del fetch effettivo (Km 2,00) e della velocità del vento (15,2 m/sec per l'oda venticinquennale e 13 m7sec per l'onda quinquennale), le costanti di riduzione:

1. Onda venticinquennale: β'x = 0,150 e **f(β')x** = 0,08

2. Onda quinquennale : β'x = 0,166 e **f(β')x** = 0,097

che ci permettono di calcolare gli elementi delle onde all'impatto con la radice del pontile:

1. per l'onda venticinquennale:

H° = H x **f(β')x** = m 5,98 x 0,08 = m 0,48

L° = L x **(β')²** = m 227,60 x 0,150² = m 5,12

T°= T x **(β')** = sec 13,33 x 0,150 = sec 2,00

2. per l'onda quinquennale :

H° = H x **f(β')x** = m 4,38 x 0,097 = m 0,42

L° = L x **(β')²** = m 203,00 x 0,166² = m 5,60

T°= T x **(β')** = sec 11,40 x 0,166 = sec 1,90

Le caratteristiche delle due onde son quasi equivalenti ; entrambe hanno un'altezza inferiore alla condizione estrema.

2.2 – Moto ondoso generato da navi e imbarcazioni

Le onde formate dalle navi dipendono essenzialmente dalla velocità dell'imbarcazione, dal pescaggio e dalla profondità dell'acqua. La loro altezza diminuisce rapidamente all'aumentare della distanza della rotta di navigazione.
Il paraggio in esame non è soggetto a transito di traghetti, ma durante il periodo estivo vi è un transito continuo al largo di grosse imbarcazioni da diporto, ma che in prossimità della rada diminuiscono sensibilmente la velocità, per cui le onde di breve durata, hanno un'altezza misurata inferiori a cm 30.

2.3 – Maree, correnti e dinamica litoranea

La marea astronomica nella zona interessata è del tipo semi-diurno con due massimi e due minimi al giorno e la variazione massima di livello giornaliera è di circa ±0,20 m.

In particolari condizioni metereologiche di bassa pressione possono verificarsi, in concomitanza con una marea sigiziale, livelli massimi di marea di circa + 0,30 m rispetto al livello medio del mare.

Le correnti superficiali nella rada, come in quasi tutto il mediterraneo, sono generalmente legate ai venti e concordano con la direzione di propagazione di questi. Secondo il portolano del Mediterraneo, infatti, con vento di ponente forte sono state osservate correnti di direzione Est-Ovest fino a 4 nodi di velocità.

Per quanto riguarda il trasporto solido, il moto ondoso, considerata la conformazione rocciosa, la presenza di sabbia intervallata alla poseidonia e la protezione del paraggio rispetto alle grandi onde provenienti dal largo, non produce fenomeni consistenti di trasporto litoraneo, anzi, dalle osservazioni effettuate negli ultimi anni il litorale circostante sembra abbia raggiunto un solido equilibrio.

L'intervento proposto, trattandosi di pontile galleggiante, non avrà alcun impatto sulla stabilità del litorale che di per se si trova in una situazione di sostanziale equilibrio.

2.4 – Conclusioni

Dalle risultanze dei calcoli suesposti risulta che i valori di altezza e periodo d'onda nella stagione estiva sia per un ritorno quinquennale che venticinquennale non sono superiori alla *condizione estrema* (Ho= m 0,50), per cui l'impianto in progetto potrà funzionare in massima sicurezza nella stagione osservando solamente le seguenti indicazioni:

1. il piano di calpestio del pontile dovrà avere una quota minima di cm 60 dal livello medio del mare in modo da essere fuori dal frangente;
2. le imbarcazioni dovranno essere ormeggiate perpendicolarmente al pontile;
3. la passerella di accesso al pontile dovrà essere sempre sollevata quando il pontile non è in uso.

Qui di seguito viene riportata tutta la documentazione di ausilio alla redazione e a cui fa riferimento il presente studio:

Allegato 1 – Rilievi anemometrici della stazione metrologica di Olbia-Costasmeralda

Allegato 2 – Elaborazioni meteomarine a cura dell'Istituto Idrografico della Marina

Allegato 3 – Misure dirette ed elaborazioni metereologiche del Regio Ist. Meter. Olandese

Tabella 1 – Onde significative di Sverdrup-Munk a pieno sviluppo

Tabella 2 – Grafici dello sviluppo delle onde in acque profonde

Tabella 3 – Grafici dello sviluppo delle onde in acque basse

Tav 1 – COROGRAFIA E SETTORI DI TRAVERSIA

----oOo----

ALLEGATI
CALCOLI IDRODINAMICI

TABELLE

ALLEGATO1

RILIEVI ANEMOMETRICI

della stazione meteorologica dell'aeronautica Olbia-Costasmeralda

STAZIONE METEREOLOGICA DI OLBIA-COSTASMERALDA

TABELLA DEI VALORI DEL VENTO NEL DECENNIO 1973 - 1982

Vento al suolo - Frequenza e velocità media per direzione di provenienza e velocità massima annua

ANNI	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		Var	Cal	Massima	
	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v	f	v	f	f	dir	vel
1973	54	7	103	6	104	8	15	9	11	8	85	10	226	10	26	8	2	469	NE	40
1974	26	9	56	8	183	8	55	8	5	8	82	11	315	14	47	13		329	SE	61
1975	25	11	78	10	209	8	41	10	16	6	152	11	219	13	42	9	2	311	W	55
1976	37	8	113	9	187	8	47	10	1	7	64	9	238	11	67	12	2	342	W	56
1977	25	7	54	8	191	9	63	10	12	10	35	10	301	12	111	13	2	301	W	59
1978	26	9	90	8	192	8	38	12	18	8	32	10	262	12	128	13	3	306	W	58
1979	46	8	90	9	191	10	60	11	10	6	45	11	257	12	131	13	6	259	VA	55
1980																				
1981																				
1982																				
MEDIA	34	8	83	8	180	8	46	10	10	8	71	10	260	12	79	12	2	331	E	61
parib a gg.	11		28		60		15		3		24		87		26			110		
perc. %	3,1		7,6		16,4		4,2		0,9		6,5		23,7		7,2		0,2	30,2		

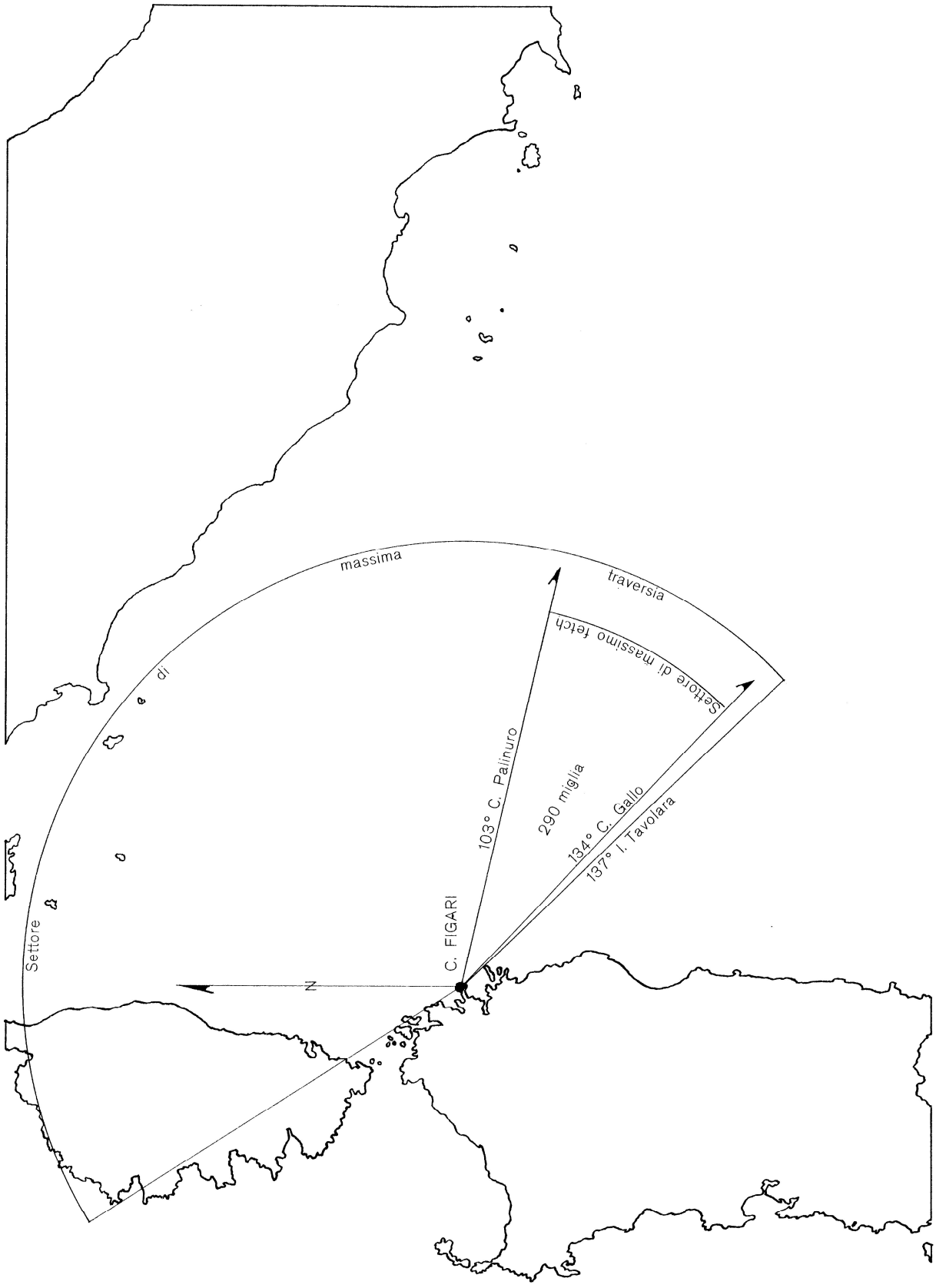
MESI	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		Variabile	Calma	Massima mensile	
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	F	Dir.	Velocità
OLBIA VENAFIORITA - *Aeroporto*																				
Dicembre	3	10	8	10	9	9	—	—	—	—	—	—	7	6	—	—	—	66	NE	40
Gennaio	11	7	5	6	—	—	1	18	3	6	9	8	11	8	1	4	—	52	W	38
Febbraio	8	8	2	5	1	5	—	—	—	—	9	10	19	12	2	6	—	43	W	32
Marzo	4	6	1	8	10	6	1	7	1	3	7	9	16	8	5	8	—	48	W	30
Aprile	5	6	4	6	5	7	2	7	4	10	11	10	29	11	3	5	—	27	W	33
Maggio	1	5	11	5	14	6	1	4	1	4	4	8	16	9	4	6	—	41	W	25
Giugno	7	4	16	5	14	7	—	—	—	—	9	8	16	12	1	6	—	27	W	31
Luglio	2	6	17	6	9	7	3	14	1	12	11	7	28	11	2	9	1	19	Var.	32
Agosto	—	—	17	7	17	10	2	10	—	—	8	12	16	11	4	8	—	29	....	....
Settembre	3	7	9	6	16	9	1	3	—	—	4	12	13	9	3	16	1	40	E	30
Ottobre	6	10	8	7	5	5	3	7	1	6	4	10	27	10	1	5	—	38	SW	36
Novembre	4	9	5	6	4	6	1	3	—	—	9	12	28	12	—	—	—	39	W	33
ANNO 1973	54	7	103	6	104	8	15	9	11	8	85	10	226	10	26	8	2	469	....	....
OLBIA VENAFIORITA - *Aeroporto*																				
Dicembre	6	7	8	11	6	11	2	8	1	15	3	11	32	12	1	5	—	34	W	42
Gennaio	—	—	—	—	1	5	1	5	—	—	2	13	40	11	—	—	—	49	W	43
Febbraio	1	10	6	9	8	12	6	7	1	3	6	10	17	12	3	11	—	36	SE	61
Marzo	1	10	3	5	18	9	13	12	—	—	—	—	24	12	8	12	—	26	NW	44
Aprile	4	7	8	9	4	6	12	11	—	—	—	—	25	10	5	9	—	32	NW	45
Maggio	1	7	3	5	18	7	4	7	1	5	2	7	23	14	16	17	—	25	W	50
Giugno	1	10	7	5	16	6	8	9	—	—	—	—	34	14	6	16	—	18	NW	43
Luglio	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Agosto	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Settembre	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Ottobre	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Novembre	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
ANNO 1974	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
OLBIA COSTA SMERALDA - *Aeroporto*																				
Dicembre	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Gennaio	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Febbraio	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Marzo	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Aprile	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Maggio	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Giugno	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Luglio	2	13	3	9	43	9	1	13	—	—	11	13	14	15	—	—	—	19	W	47
Agosto	5	7	9	8	29	10	1	3	1	3	13	12	16	18	1	12	—	18	W	48
Settembre	—	—	3	5	22	10	4	9	—	—	11	12	27	16	2	21	—	21	NW	57
Ottobre	—	—	4	6	7	7	1	6	—	—	20	10	39	15	2	15	—	20	W	54
Novembre	5	10	5	11	5	7	2	9	1	15	14	12	24	15	3	12	—	31	W	55
ANNO 1974	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
OLBIA COSTA SMERALDA - *Aeroporto*																				
Dicembre	2	19	5	12	1	7	—	—	—	—	23	11	22	13	2	20	—	38	W	48
Gennaio	—	—	3	13	3	9	6	10	2	4	19	9	22	15	2	17	—	36	W	55
Febbraio	7	17	20	14	9	9	6	12	2	6	6	10	12	13	—	—	—	22	....	....
Marzo	2	11	2	13	12	8	3	9	4	10	22	13	19	14	7	9	—	22	SW	45
Aprile	—	—	5	11	28	8	3	10	1	6	14	12	21	15	3	11	—	15	W	50
Maggio	3	6	5	8	27	9	4	10	3	4	13	10	10	11	2	12	—	26	W	33
Giugno	2	7	7	10	25	7	2	10	1	3	12	10	24	16	3	7	—	14	W	46
Luglio	1	7	3	7	40	7	1	17	—	—	8	15	17	15	5	8	—	18	W	38
Agosto	2	5	6	6	28	7	2	9	1	5	8	7	15	12	4	7	—	27	NW	38
Settembre	1	3	2	4	22	9	14	10	1	5	4	6	14	10	7	8	—	25	W	37
Ottobre	4	7	10	6	8	6	—	—	—	—	14	9	25	11	5	5	2	25	W	37
Novembre	1	7	10	10	6	5	—	—	1	6	9	11	18	8	2	13	—	43	W	36
ANNO 1975	25	11	78	10	209	8	41	10	16	6	152	11	219	13	42	9	2	311	....	....
OLBIA COSTA SMERALDA - *Aeroporto*																				
Dicembre	5	11	6	8	3	4	3	7	—	—	15	7	12	6	1	12	—	48	N	32
Gennaio	1	13	6	10	1	4	1	6	—	—	10	10	26	15	3	14	—	45	W	56
Febbraio	2	6	12	8	9	12	7	10	—	—	9	9	10	12	2	7	—	36	E	51
Marzo	3	8	18	9	14	6	2	12	—	—	6	8	10	9	4	9	1	35	W	32
Aprile	5	9	8	7	11	11	10	11	—	—	7	10	24	10	3	15	—	22	W	42
Maggio	1	9	13	6	26	8	1	3	—	—	3	10	16	12	10	10	—	23	NE	42
Giugno	6	5	11	8	36	7	—	—	—	—	5	5	9	11	1	5	—	22	SW	41
Luglio	4	8	10	8	26	8	2	11	—	—	2	4	29	12	9	12	1	10	W	43
Agosto	2	5	10	9	26	8	8	8	1	7	—	—	13	10	11	11	—	22	NW	34
Settembre	1	5	4	7	19	10	3	10	—	—	2	11	25	11	10	13	—	26	SW	38
Ottobre	3	11	3	8	14	8	7	16	—	—	4	14	26	9	9	13	—	27	SE	45
Novembre	4	9	12	13	2	7	3	7	—	—	1	15	38	10	4	12	—	26	W	41
ANNO 1976	37	8	113	9	187	8	47	10	1	7	64	9	238	11	67	12	2	342	W	56

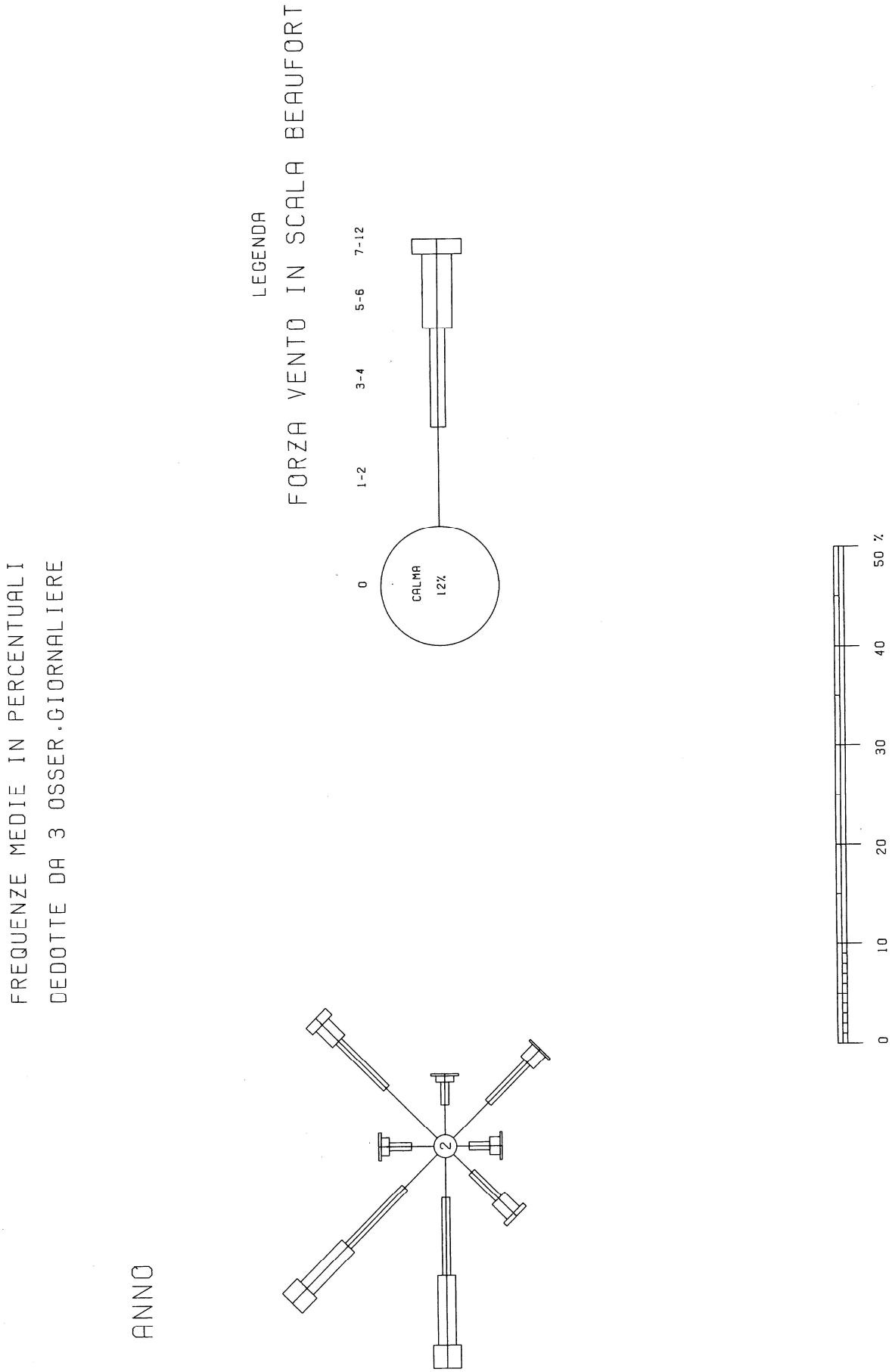
MESI	N		NE		E		SE		S		SW		W		NW		Variabile	Calma	Massima Mensile	
	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	V	F	F	Dir.	Velocità
OLBIA COSTA SMERALDA - *Aeroporto*																				
Dicembre	—	—	4	15	7	15	2	8	—	—	5	9	29	14	4	17	—	42	W	54
Gennaio	2	8	2	5	2	8	9	12	2	5	11	11	22	11	5	12	—	38	W	50
Febbraio	1	5	4	7	3	9	5	7	—	—	2	15	53	14	6	13	—	10	W	53
Marzo	—	—	5	4	21	8	3	12	1	15	3	6	28	11	4	12	—	28	W	50
Aprile	2	6	6	9	18	7	6	11	—	—	3	9	25	15	9	12	—	21	W	59
Maggio	1	11	6	10	25	8	3	10	—	—	5	9	16	10	18	13	—	19	NW	42
Giugno	4	8	6	7	28	9	3	13	—	—	1	13	21	11	13	15	—	14	W	41
Luglio	4	8	6	7	34	10	4	11	1	7	1	15	19	10	11	14	1	12	NW	41
Agosto	4	8	4	6	24	9	7	13	1	18	2	8	18	11	13	11	1	19	W	40
Settembre	6	4	6	8	19	7	2	8	—	—	—	—	14	8	5	7	—	38	NW	31
Ottobre	—	—	3	6	6	8	18	9	7	10	1	4	17	10	5	10	—	36	W	47
Novembre	1	2	2	7	4	9	1	6	—	—	1	4	39	12	18	12	—	24	W	57
ANNO 1977	25	7	54	8	191	9	63	10	12	10	35	10	301	12	111	13	2	301	W	59
OLBIA COSTA SMERALDA - *Aeroporto*																				
Dicembre	3	6	4	5	5	10	—	—	1	5	2	13	18	12	6	13	—	54	W	47
Gennaio	1	10	9	11	—	—	1	10	6	8	5	13	28	12	12	12	2	29	W	50
Febbraio	4	7	5	9	2	6	5	17	4	11	4	10	38	12	14	12	—	8	W	56
Marzo	1	14	3	7	7	9	5	11	2	8	2	10	32	14	18	13	—	23	W	58
Aprile	4	13	7	13	10	6	9	12	1	3	4	10	23	11	11	12	1	20	N	43
Maggio	4	6	11	9	21	9	2	14	—	—	2	8	27	11	8	12	—	18	W	47
Giugno	—	—	3	10	28	9	5	12	1	16	4	11	20	13	12	15	—	17	NW	43
Luglio	1	9	2	10	38	9	4	13	—	—	—	—	18	13	15	16	—	15	NW	48
Agosto	—	—	13	8	29	8	3	8	1	2	—	—	16	12	11	14	—	20	NW	51
Settembre	—	—	6	8	22	8	1	3	1	13	2	11	21	11	16	13	—	21	NW	39
Ottobre	4	6	17	7	19	9	2	8	—	—	1	20	9	11	4	7	—	37	W	39
Novembre	4	15	10	8	11	5	1	5	1	3	6	6	12	10	1	6	—	44	N	45
ANNO 1978	26	9	90	8	192	8	38	12	18	8	32	10	262	12	128	13	3	306	W	58
OLBIA COSTA SMERALDA - *Aeroporto*																				
Dicembre	3	11	8	10	4	11	1	5	1	6	8	10	39	13	6	13	—	23	VA	55
Gennaio	4	7	7	6	5	11	11	13	1	8	3	12	21	13	16	16	1	24	W	53
Febbraio	2	6	9	13	8	12	2	3	1	7	4	8	32	12	9	16	—	17	W	51
Marzo	1	10	7	9	6	7	5	11	—	—	6	9	36	13	12	15	—	20	W	48
Aprile	2	8	7	12	12	8	5	12	2	5	3	16	23	13	19	13	1	16	W	46
Maggio	5	7	13	9	24	10	6	18	1	12	3	14	8	11	9	14	1	23	NW	38
Giugno	6	7	5	9	27	9	5	9	—	—	3	5	14	11	9	13	1	20	N	38
Luglio	4	11	3	6	34	10	3	12	1	6	2	17	20	13	13	10	—	13	NW	41
Agosto	6	9	3	7	33	10	2	9	—	—	1	13	19	12	16	14	—	13	NW	46
Settembre	3	7	14	8	20	10	9	9	1	5	4	8	11	13	2	5	—	26	W	40
Ottobre	3	7	3	7	17	8	11	11	2	4	3	9	10	7	5	7	1	38	SE	41
Novembre	7	7	11	12	1	8	—	—	—	—	5	14	24	13	15	12	1	26	W	50
ANNO 1979	46	8	90	9	191	10	60	11	10	6	45	11	257	12	131	13	6	259	VA	55
OLBIA COSTA SMERALDA - *Aeroporto*																				
Dicembre	5	5	6	6	—	—	3	13	—	—	6	13	34	14	13	19	1	25	E	56
Gennaio	5	11	8	10	4	10	7	7	—	—	3	20	25	12	15	9	—	26	E	49
Febbraio	3	10	7	6	14	8	2	11	1	3	3	11	15	13	13	15	—	29	NW	50
Marzo	4	8	7	7	11	7	4	8	2	12	6	10	27	10	14	12	—	18	W	40
Aprile	3	9	12	8	16	9	11	12	—	—	2	7	20	11	12	13	—	14	W	45
Maggio	7	7	4	8	14	11	10	9	—	—	5	10	13	11	18	11	—	22	N	35
Giugno	7	12	2	11	25	10	5	7	1	4	6	11	19	11	19	14	—	6	NW	48
Luglio	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Agosto	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Settembre	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Ottobre	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
Novembre	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....
ANNO 1980	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....

ALLEGATO 2

ELABORAZIONI METEOMARINE

a cura dell'Istituto Idrografico della Marina su osservazioni metereologiche della stazione di Capo Figari


CAPO FIGARI
massima
traversia
Settore di massimo fetch
di
Settore
103° C. Palinuro
290 miglia
134° C. Gallo
137° I. Tavolara
C. FIGARI
N


FREQUENZE MEDIE IN PERCENTUALI
DEDOTTE DA 3 OSSER.GIORNALIERE
ANNO
LEGENDA
FORZA VENTO IN SCALA BEAUFORT
0
1-2
3-4
5-6
7-12
CALMA
12%
0
10
20
30
40
50 %
2

MASSIMO MARE VERIFICATOSI NEI SINGOLI MESI E RELATIVE FREQUENZE

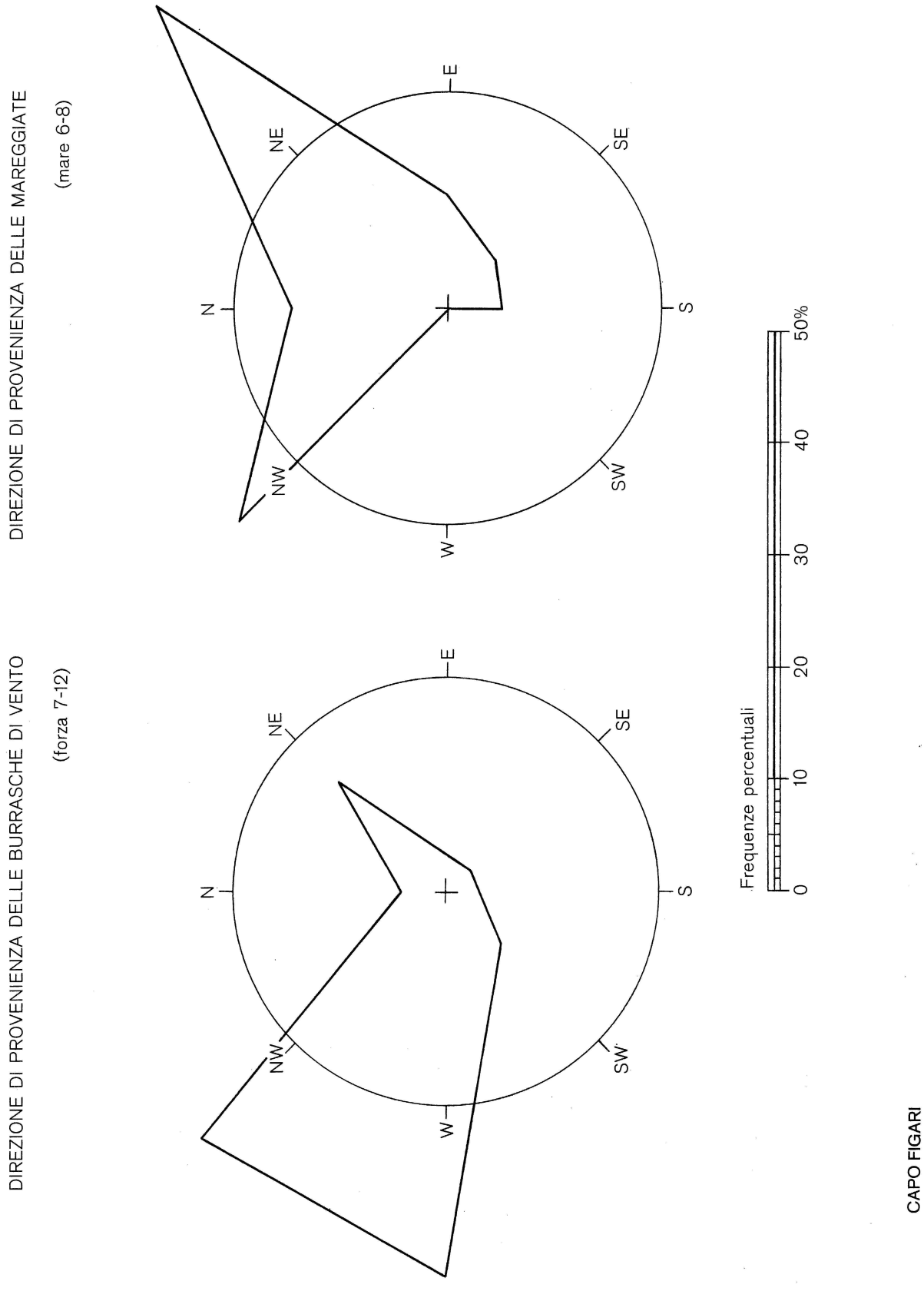
Mese	Stato del mare	Frequenza in giorni	Direzione di provenienza
Gen.	8	3	3 N
Feb.	8	1	E
Mar.	8	1	NW
Apr.	8	1	NE
Mag.	7	1	NE
Giu.	6	3	3 NW
Lug.	7	1	NW
Ago.	7	1	SE
Set.	7	3	1 N - 1 NE - 1 NW
Ott.	7	2	2 N
Nov.	8	4	1 N - 3 NE
Dic.	8	2	2 E

DURATA MASSIMA DELLE MAREGGIATE

(mare 6 ÷ 8)

Mese	Durata (ore)	Stato del mare	Direzione di provenienza
Dic.	62	6-7	NE
Nov.-Dic.	56	6-7	N
Ott.	54	6-7	N
Ott.	54	6-7	NE
Apr.	52	6-7	NE
Dic.	50	6-7	NE
Feb.	48	6-7	S
Mar.	48	6-7	E
Feb.	40	6-8	E
Nov.	40	6-8	NE
Gen.	38	6-8	N
Gen.	38	6-7	NE
Feb.	38	6-7	E
Nov.	38	6-8	N
Nov.-Dic.	38	6-7	NE
Dic.	38	6-8	E
Gen.	36	6-7	NE
Feb.	36	6-7	NE
Dic.	36	6-7	NE
Dic.	36	6	NW
Gen.	34	6	NE
Mar.	32	6-7	SE
Mar.	32	6	S
Nov.	32	6-8	NE
Dic.	32	6	E

CAPO FIGARI


DIREZIONE DI PROVENIENZA DELLE MAREGGIATE
(mare 6-8)
DIREZIONE DI PROVENIENZA DELLE BURRASCHE DI VENTO
(forza 7-12)
N
NE
E
SE
S
SW
W
NW
Frequenze percentuali
0
10
20
30
40
50%
CAPO FIGARI

ALLEGATO 3

MISURE DIRETTE ED ELABORAZIONI METEOROLOGICHE

raccolti dal Regio Istituto Meteorologico Olandese

3.1 - Frequenza percentuale della velocità del vento rispetto alla direzione di provenienza (dati KNMI dal 1961 al 1980)

Direzione	Velocità del vento (nodi)										
	0a5	6a10	11a15	16a20	21a25	26a30	31a40	41a50	51a60	>60	TOT.
N	2,1	1,1	1,0	0,7	0,3	0,1	0,1	0,02			5,6
NNE	2,0	1,3	1,3	0,8	0,4	0,2	0,1	0,03	0,02		5,9
ENE	1,7	1,2	1,2	0,8	0,4	0,2	0,2	0,02			5,7
E	2,0	1,4	1,6	1,1	0,6	0,4	0,3	0,02			7,3
ESE	1,6	1,4	1,5	0,8	0,5	0,2	0,1	0,01			6,1
SSE	1,6	0,8	0,9	0,5	0,3	0,1	0,02		0,01		4,2
S	2,3	0,8	0,8	0,5	0,2	0,1	0,05				4,7
SSW	2,6	1,1	1,1	0,8	0,3	0,2	0,05	0,01			6,1
WSW	1,9	1,4	1,7	1,1	0,7	0,2	0,2	0,02			7,3
W	3,2	2,2	2,8	1,8	1,4	0,7	0,6	0,10		0,01	12,8
WNW	3,7	2,2	3,0	2,2	1,7	1,2	1,1	0,30	0,10		15,5
NNW	2,6	1,7	1,6	1,0	0,7	0,3	0,4	0,10	0,02	0,01	8,4
CALMA											10,2
TOTALI	27,3	16,6	18,7	12,0	7,4	3,9	3,2	0,60	0,10	0,02	100,0

3.2 - Probabilità di eccedenza della velocità del vento rispetto alla direzione di provenienza (dati KNMI 1961 - 1980)

Direzione	Velocità del vento (nodi)								
	5	10n	15	20	25	30	40	50	60
N	3,5	2,3	1,3	0,6	0,3	0,2	0,02		
NNE	4,0	2,7	1,4	0,7	0,3	0,2	0,05	0,02	
ENE	4,0	2,8	1,6	0,8	0,4	0,2	0,02		
E	5,3	3,9	2,3	1,2	0,6	0,3	0,02		
ESE	4,5	3,1	1,6	0,8	0,3	0,2	0,01		
SSE	2,6	1,8	0,9	0,4	0,1	0,3	0,01	0,01	
S	2,4	1,7	0,8	0,3	0,2	0,1			
SSW	3,5	2,5	1,3	0,6	0,3	0,1	0,01		
WSW	5,4	4,0	2,2	1,1	0,4	0,2	0,02		
W	9,7	7,5	4,6	2,8	1,4	0,7	0,10	0,01	0,01
WNW	11,8	9,6	6,6	4,5	2,7	1,5	0,40	0,10	
NNW	5,8	4,2	2,5	1,5	0,8	0,5	0,10	0,02	0,01
S-W	21,0	15,6	9,0	4,8	2,2	1,0	0,10	0,01	0,01
WSW-NNW	32,7	25,2	16,0	9,9	5,4	2,9	0,60	0,10	0,02
TUTTE	62,5	45,9	27,3	15,2	7,8	3,9	0,70	0,10	0,02

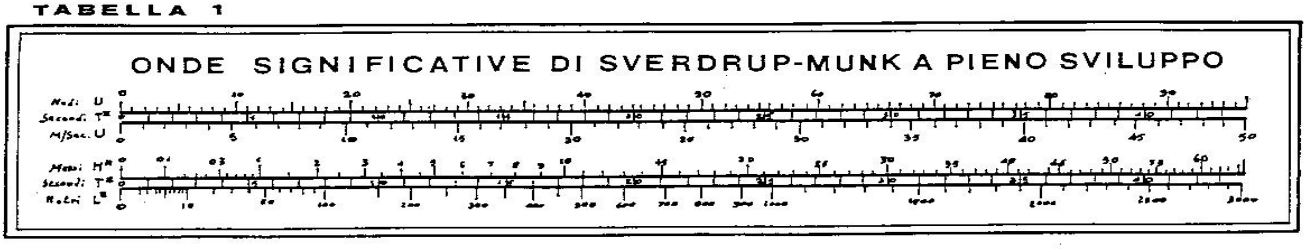
3.3 - Velocità estreme nei periodi rispetto alla direzione di provenienza

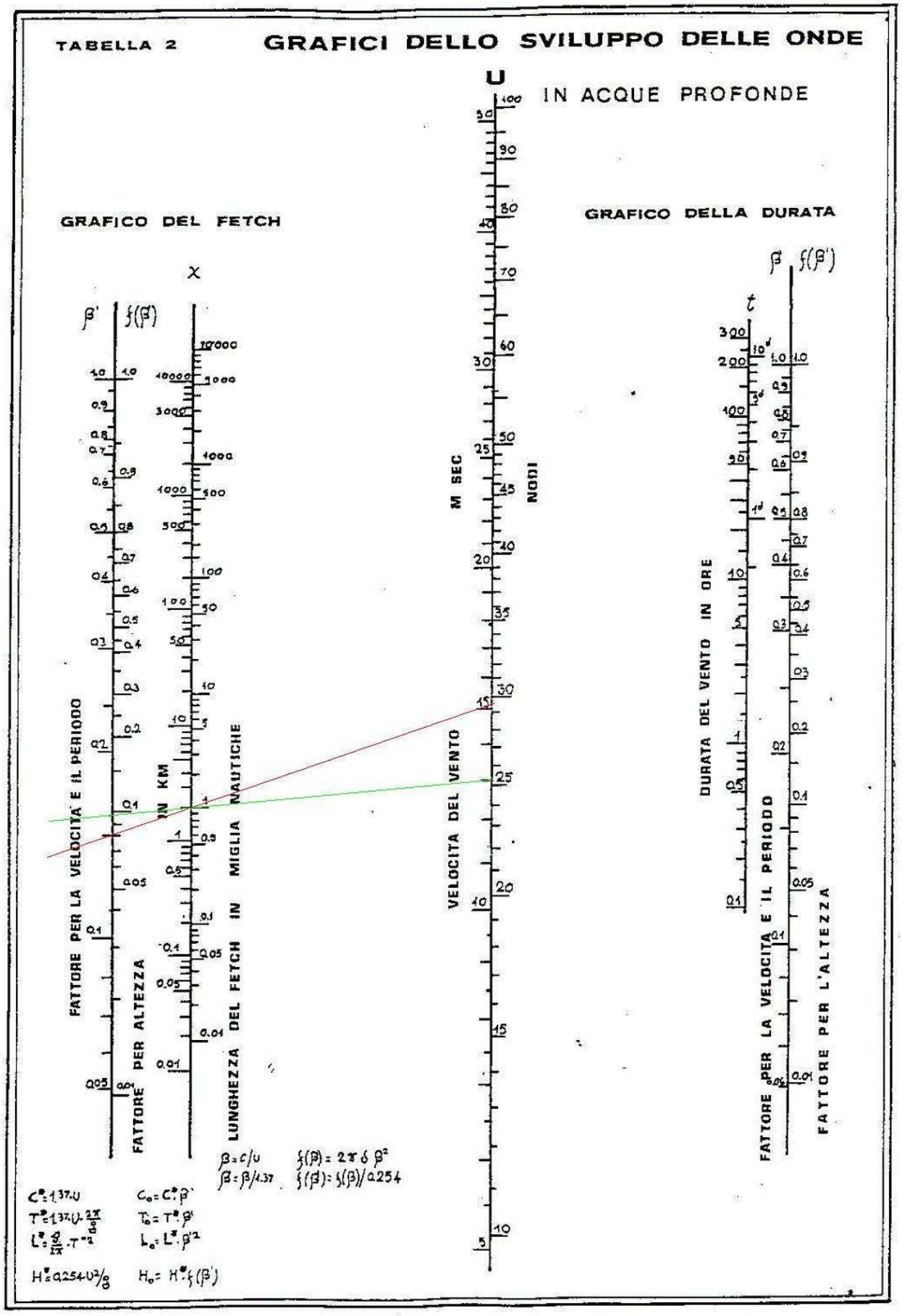
Dati KNMI 1961 - 1980

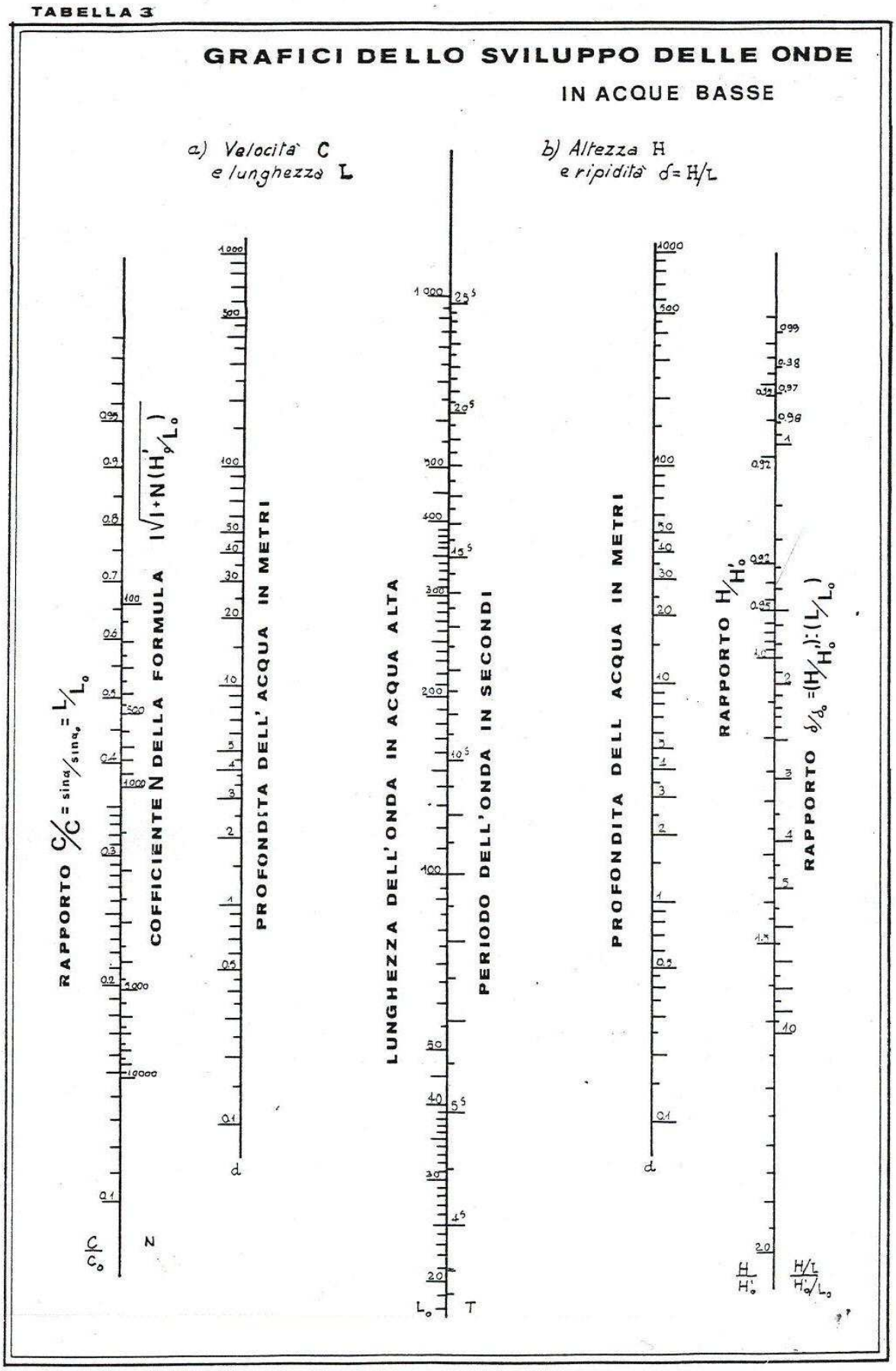
Direzione	**TEMPO DI RITORNO (anni)**					
	1a	5a	10a	25	50	100a
N	30,2	38,2	41,4	45,3	48,1	50,8
NNE	33,0	45,7	51,2	58,6	64,1	69,6
ENE	31,2	38,5	41,3	44,8	47,3	49,6
E	33,4	40,2	42,7	45,9	48,1	50,3
ESE	29,8	36,4	38,9	42,0	44,2	46,4
SSE	25,4	36,6	41,5	48,1	53,2	58,4
S	25,6	32,7	35,4	38,7	41,1	43,4
SSW	28,2	35,0	37,7	40,9	43,3	45,5
WSW	31,4	38,1	40,7	43,9	46,2	48,5
W	38,9	45,8	48,5	51,9	54,3	56,6
WNW	48,2	59,3	63,9	69,8	74,2	78,4
NNW	40,0	51,3	56,0	61,9	66,3	70,6
S-W	43,1	52,5	56,4	61,4	65,2	68,9
WSW-NNW	49,4	57,6	60,9	65,1	68,2	71,2
TUTTE	49,5	57,4	60,6	64,7	67,8	70,7

Durata media evento: 12 ore
NUMERO EVENTI IN 1 ANNO: 730
(Stime effettuate con la distribuzione di Weibull a tre parametri)

TABELLA 1




TABELLA 2
GRAFICI DELLO SVILUPPO DELLE ONDE
IN ACQUE PROFONDE
GRAFICO DEL FETCH
GRAFICO DELLA DURATA
FATTORE PER LA VELOCITA' E IL PERIODO
FATTORE PER ALTEZZA
LUNGHEZZA DEL FETCH IN KM
LUNGHEZZA DEL FETCH IN MIGLIA NAUTICHE
VELOCITA DEL VENTO
M SEC
NODI
DURATA DEL VENTO IN ORE
FATTORE PER LA VELOCITA' E IL PERIODO
FATTORE PER L'ALTEZZA


TABELLA 3
GRAFICI DELLO SVILUPPO DELLE ONDE
IN ACQUE BASSE
a) Velocità C
e lunghezza L
b) Altezza H
e ripidità δ = H/L
RAPPORTO C/C₀ = sinα/sinα₀ = L/L₀
COFFICIENTE N DELLA FORMULA N√(1+N(H'/L₀))
PROFONDITA DELL' ACQUA IN METRI
LUNGHEZZA DELL' ONDA IN ACQUA ALTA
PERIODO DELL'ONDA IN SECONDI
PROFONDITA DELL ACQUA IN METRI
RAPPORTO H/H'₀
RAPPORTO δ/δ₀ = (H/L) : (H'₀/L₀)

CAPO II - CALCOLI E VERIFICHE DEGLI ELEMENTI GALLEGGIANTI, ANCORAGGI DEL PONTILE E ORMEGGI DELLE IMBARCAZIONI

PONTILE GALLEGGIANTE IN ELEMENTI DA m 12,00x2,35 e 8,00x2,35

1 - INTRODUZIONE

Questa relazione tecnica riporta le specifiche dimensionali/costruttive ed i calcoli di verifica relativi ai pontili galleggianti di tipo da m 12,00x2.35 e m 8,00x2.35.

Tipologia

Alto dislocamento, con galleggiamento discontinuo e baricentro basso. Costruzione a mezzo di assemblaggio dell'impalcato con le unità galleggianti.

Impieghi

Ormeggio di imbarcazioni fino a 12 m di lunghezza in siti protetti.

Caratteristiche

Ottima stabilità e robustezza, versatilità, comfort e trasparenza all'onda.

2 - SPECIFICHE COSTRUTTIVE

Struttura portante

Telaio in acciaio zincato realizzato mediante profili CNP, IPE, L ad ali uguali e piastre di vario tipo, completamente saldato con procedura M.A.G.

Unità galleggianti

Manufatti in calcestruzzo confezionato con cemento solfato resistente, addittivato con fibre di polipropilene e armato con ferri e reti in acciaio inox o zincato in relazione alla posizione ed allo spessore del copriferro. I galleggianti presentano un nucleo in polistirolo espanso a densità minima garantita di 15 kg/m^3 che assicura il galleggiamento e due chiglie laterali in c.a. con funzione stabilizzante. I tirafondi di collegamento con la struttura principale sono in acciaio inox.

Piano di calpestio

Doghe smussate e scanalate in legno esotico pregiato Yellow Balau, sezione nominale mm 95x21 avvitate su speciali longheroni in lega di alluminio con interspazio di 5 mm l'una dall'altra.

Vani per impianti

Ai lati dei pontili con sezione di cm 30x8 cm circa, chiusi con pannelli in doghe di legno Yellow Balau.

Parabordi

Legno Yellow Balau, sezione nominale 95x35 mm.

Elementi di giunzione

N° 4 tiranti in acciaio inox con interposti ammortizzatori in gomma con inserti tessili.

Dispositivi di ancoraggio al fondo

Con catene: n° 4 staffoni in acciaio zincato, imbullonati ai profili laterali della struttura portante.

Viteria

In acciaio inox A2-70.

Accessori per l'ormeggio dei natanti

Anelli golfari in acciaio zincato o inox.

Fissaggio accessori
Sui profili di bordo dei telai sono predisposti fori a passo 50 cm per il fissaggio degli anelli e dei finger di ormeggio e per la giunzione dei moduli a T.

3 - CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E PRESTAZIONALI

Le principali caratteristiche dei pontili sono elencate di seguito:

	FE/IG/12-3H/2.35
Dimensioni	
lunghezza	12.00 m
larghezza(incluso parabordo in legno)	2.35 m
altezza	1.211 m
Dislocamento	53.3 kN
Bordo libero	70 cm (circa)
Riserva di spinta	2400 N/m^2 (=245 kg/m^2)
Sovraccarico strutturale distribuito	2300 N/m^2
Sovraccarico strutturale concentrato	37500 N/m^2 su 20x20 cm
Tiro orizzontale sul telaio	2500 N/m

4 – NORMATIVA DI RIFERIMENTO

a) UNI ENV 1993-1-1 Eurocodice 3. Progettazione delle strutture di acciaio. Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici

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

5 – SPECIFICHE MATERIALI

Acciaio :	EN 10025 S275 JR Tensione di snervamento R_{eH} = 275 MPa Densità : 7850 kg/m^3
Alluminio :	EN-AW 6060 – T5 Tensione di snervamento R_{eH} = 120 MPa
Viteria :	A2-70 secondo EN ISO 3506-1:1998 Resistenza a trazione R_m = 700 MPa
Legno :	Yellow balau (legno duro tropicale) Classe di resistenza: D70 Momento parallelo alla fibra: 70.0 MPa Taglio parallelo alla fibra: 2.60 MPa Densità: 900 kg/m^3
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 rinforzato con fibre confezionato con cemento solfato resistente

6 – VERIFICHE NAVALI

Pontile tipo FE/IG/12-3H/2.35

Bordo libero

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

La densità dell'acqua è assunta uguale a ρ_W = 1025 kg/m^3

Le dimensioni complessive del pontile sono

Lunghezza piano di calpestio	:	l_d = 12.00 m
Larghezza piano di calpestio	:	w = 2.35 m
Larghezza telaio in acciaio		:w_d = 2.28 m
Area del piano di calpestio	:	A_d = 28.20 m^2

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

dimensioni	:	l_{fu} = 2.26 m × w_{fu} = 1.96 m × h_{fu} = 0.91+0.10 m
area	:	4.43 m^2
peso	:	12260 N

Il dislocamento totale del pontile è dato dalla tabella seguente:

Galleggianti	36780 N
Telaio in acciaio	8992 N
Profili in alluminio	562 N
Piano di calpestio in legno	4817 N
Parabordi in legno e gomma	1934 N
Viteria	250 N
Totale D =	53335 N

Il dislocamento del pontile è pertanto pari a 4445 N/m (453 kg/m).

La spinta assicurata dalle chiglie è data da

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

Cioè, 3 galleggianti, 2 chiglie per galleggiante, ognuna avente una sezione trapezoidale con basi lunghe 0.10 m e 0.16 m, altezza 0.10 m e lunghezza 1.96 m.
Considerando il solo il solo peso del pontile, l'immersione è data da

$$i = \frac{D - B_K}{n \cdot A_{fu} \cdot \rho_w \cdot g} = 0.388 \text{ m}$$

Ogni galleggiante emerge di

$$e = h_{fu} - i = 0.522 \text{ m}$$

e il bordo libero risulta

$$b = e + h_d = 0.723 \text{ m}$$

dove h_d = 0.201 m è la distanza tra la sommità del piano di calpestio e la sommità del galleggiante.

Sovraccarico di galleggiamento

I risultati precedenti consentono il calcolo della riserva di spinta del pontile attraverso la formula

$$S = n \cdot e \cdot A_{fu} \cdot \rho_W \cdot g = 69.7 \text{ kN}$$

che è corrispondente ad un carico uniformemente distribuito sul piano di calpestio del pontile pari a

$$q = \frac{S}{A_d} = 2472 \text{ Pa} = 252 \text{ kg/m}^2 > 2.40 \text{ kPa}$$

Stabilità ai carichi eccentrici: angolo di sbandamento e bordo libero residuo

La stabilità è verificata sotto l'azione di q_d = 4000 N sul bordo del pontile, come mostrato in Figura 1.

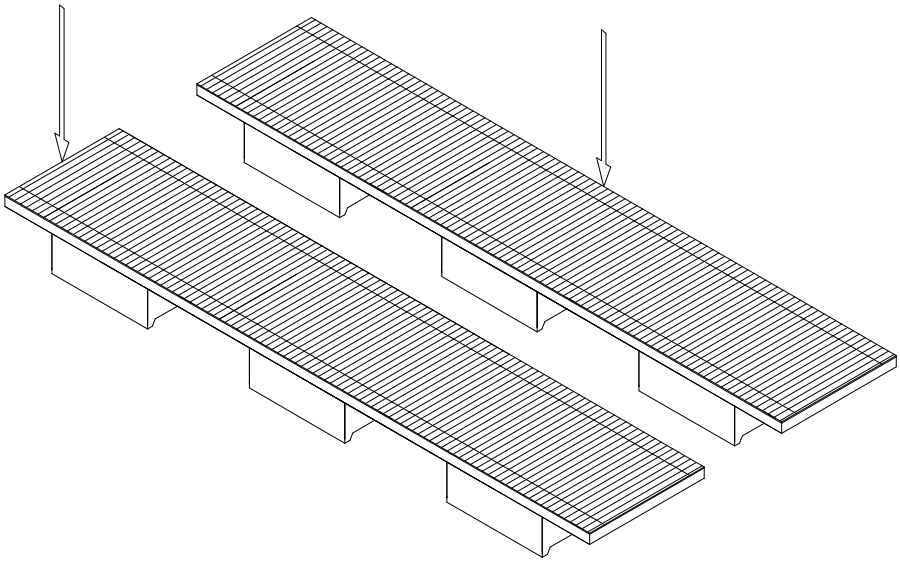


Figura 1

Il momento longitudinale è calcolato come segue

$$M_{Rx} = \frac{q_d \cdot w}{2} = 4700 \text{ N·m}$$

mentre il momento trasversale è

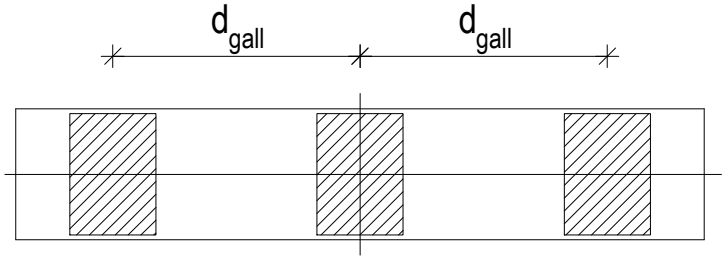
$$M_{Ry} = \frac{q_d \cdot l}{2} = 24000 \text{ N·m}$$

	M Carico o peso [N]	Braccio (ref. dist.) [m]	MD Carico · Braccio [N·m]
Carico vivo	4000	1.111	4444
Piano di calpestio in legno	4817	1.100	5298.7
Parabordo	1934	1.064	2058
Telaio in acciaio	8992	1.000	8992
Longheroni in alluminio	562	1.050	590
Viteria	250	1.000	250
Galleggianti	36780	0.46	16919
Totali	*M= 57335 N*		*MD = 38552N·m*

Tabella 1

Dalla Tabella 1 si ricava la quota del baricentro rispetto al fondo del galleggiante, che risulta essere

$$y_G = \frac{MD}{M} = 0.672 \text{ m}$$



$d_{gall} = 4.05$ m

Figura 2

Riferendosi alla Figura 2 l'inerzia della figura di galleggiamento rispetto all'asse longitudinale x-x è

$J_x = 5.66 \text{ m}^4$

Nelle condizioni di carico considerate il volume immerso V è

$$V = \frac{M - B_K}{\rho_W \cdot g} = 5.551 \text{ m}^3$$

ed il pescaggio del pontile

$$i = \frac{M - B_K}{n \cdot A_{fu} \cdot \rho_w \cdot g} = 0.418 \text{ m}$$

quindi il centro del volume immerso è posto ad una quota

$$y_B = \frac{i}{2} = 0.209 \text{ m}$$

rispetto al fondo del galleggiante.
La distanza tra il centro del volume immerso ed il metacentro è pari al rapporto tra l'inerzia J_x ed il volume immerso V:

$$d_{BMx} = \frac{J_x}{V} = 1.020 \text{ m}$$

sotto queste condizioni di carico,
La distanza del centro di galleggiamento dal baricentro è quindi

$d_{GB} = y_G - y_B = 0.463$ m

e pertanto la distanza del baricentro dal metacentro (altezza metacentrica) risulta

$d_{GMx} = d_{BMx} - d_{GB} = 0.557$ m

La formula

$$\alpha_T = asin\frac{M_{Rx}}{M \cdot d_{GM\,x}} = asin(0.15) = 8.44°$$

determina l'angolo di sbandamento longitudinale del pontile.
A tale angolo corrisponde un bordo libero residuo del galleggiante

$$b_{gallx} = (h_{fu} - i_{stab}) \cdot \cos(\alpha_{Tx}) - \frac{l_{fu}}{2} \cdot \sin(\alpha_{Tx}) = 32.03 \text{ cm}$$

ed un bordo libero residuo del pontile

$$b_x = (h_{fu} + h_d - i_{stab}) \cdot \cos(\alpha_{Tx}) - \frac{w}{2} \sin(\alpha_{Tx}) = 51.25 \text{ cm}$$

Analogamente, l'angolo di inclinazione trasversale rispetto all'asse y-y, il bordo libero del galleggiante ed il bordo libero residuo del pontile risultano

$J_y = 149.6\ m^4$

$d_{BM\,y} = J_y / V = 26.950$ m

$d_{GMy} = d_{BMy} - d_{GB} = 26.487$ m

$$\alpha_T = asin\frac{M_{Ry}}{M \cdot d_{GM\,x}} = asin(0.02) = 0.91°$$

$$b_{gally} = (h_{fu} - i_{stab}) \cdot \cos(\alpha_{Ty}) - (d_{gall} + \frac{w_{fu}}{2}) \cdot \sin(\alpha_{Ty}) = 41.21 \text{ cm}$$

$$b_y = (h_{fu} + h_d - i_{stab}) \cdot \cos(\alpha_{Ty}) - \frac{l_d}{2} \sin(\alpha_{Ty}) = 59.77 \text{ cm}$$

7 - VERIFICHE STRUTTURALI

Tutte le verifiche strutturali operate nei paragrafi seguenti sono riferite al pontile da 12 m. Essendosi adottati per il pontile da 8 m i medesimi profili e le medesime soluzioni costruttive, lo stesso risulterà verificato una volta che i calcoli strutturali del pontile da 12 m abbiano dato esito positivo.

7.1 - CARICHI VERTICALI

Sovraccarico strutturale distribuito

Il carico distribuito di progetto è assegnato pari a

q = 2300 Pa

Il piano di calpestio del pontile è composto da doghe di legno tropicale. Le doghe sono avvitate a quattro profili prendivite in alluminio sottostanti. La distanza i profili è d= 0.55 m. A loro volta i longheroni in alluminio sono imbullonati ai traversi del telaio costituiti da profili IPE 80 in acciaio zincato.

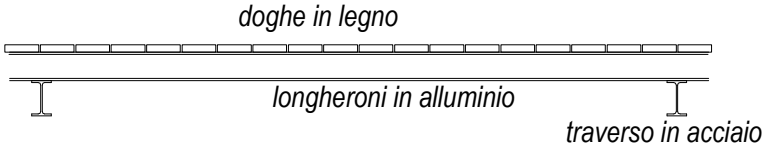


Figura 3

La distanza tra i traversi del telaio è pari a l_b = 2.00 m. I traversi, infine, sono saldati alle travi laterali del telaio, costituite da profili CNP180 in acciaio zincato. Le travi laterali del telaio sono sorrette dai tre galleggianti.

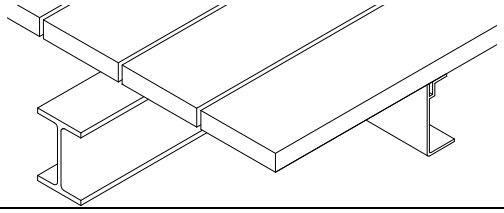


Figura 4

Doghe in legno

Le doghe hanno una sezione rettangolare larga 95 mm e alta 21 mm.
Per esse si assume lo schema di una trave su 4 appoggi, costituiti dai longheroni in alluminio, e caricata da un carico distribuito sulla lunghezza

$$q_1 = \gamma_Q \cdot q \cdot d_b + \gamma_g \cdot w = 369 \text{ N/m}$$

dove γ_Q=1.5 e γ_G=1.35 sono i coefficienti di sicurezza parziali rispettivamente per le azioni variabili e per quelle permanenti. L'interasse tra due doghe adiacenti è d_b = 0.10 m mentre w=17.6 N/m è il peso proprio per unità di lunghezza della singola doga.

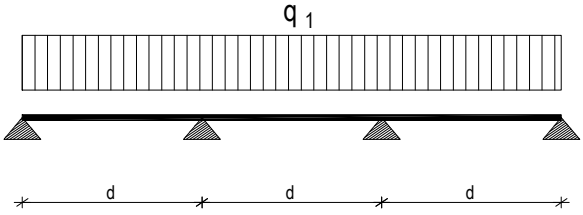


Figura 5

Il massimo momento flettente per tale di configurazione è dato da

$$M_{1,Sd} = 0.1 \cdot q_1 \cdot d^2 = 11.16 \text{ N·m}$$

Dove 0.1 è il coefficiente del massimo momento flettente per una trave in semplice appoggio su quattro supporti.
Il modulo della sezione della trave è dato da

$$W_x = b \cdot h^2 / 6 = 95 \cdot 21^2 / 6 = 6.98 \text{ cm}^3$$

La tensione del momento flettente è pertanto

$$\sigma_{1,Sd} = M_{1,Sd} / W_x = 11.16 / 6.98 = 1.6 \text{ MPa}$$

quindi la sezione è verificata poiché

$$\sigma_{1,Sd} / f_y = 1.6 / 70.0 = 0.02 \leq 1.00$$

dove

$f_y = 70$ MPa è il valore caratteristico della resistenza a flessione per il legno yellow balau

Longheroni in alluminio

I carichi sul piano di calpestio sono trasmessi dalle doghe di legno alle sottostanti travi in alluminio; per esse si assume una condizione di carico distribuito sulla lunghezza.
Le doghe di legno trasmettono alle travi in alluminio più caricate un carico pari a

$$q_2 = 1.1 \cdot q_1 \cdot d / d_b = 2232 \text{ N/m}$$

dove1.1 è il coefficiente di reazione verticale per un appoggio centrale nello schema di trave su quattro appoggi, come mostrato in Figura 6.

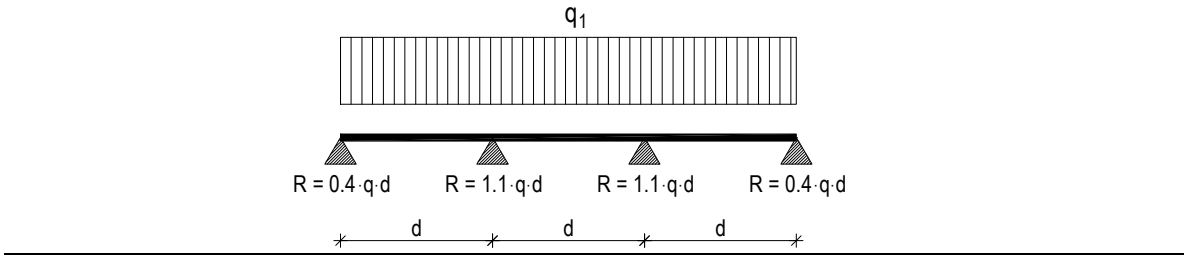


Figura 6

Lo schema strutturale è ancora quello di una trave in semplice appoggio su quattro supporti costituiti dai traversi del telaio in acciaio. Ogni longherone è caricato da un carico pari a

$$q_3 = q_2 + \gamma_G \cdot w_2 = 2251 \text{ N/m}$$

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 deriva direttamente dal calcolo di q_1.
Il massimo momento flettente risulta

$$M_{2,Sd} = 0.1 \cdot q_3 \cdot l_b^2 = 900 \text{ N·m}$$

Il momento resistente della sezione in alluminio, mostrata in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, è

$$M_{2,Rd} = W_x \cdot f_y / \gamma_{M0} = 9.9 \cdot 120 / 1.05 = 1131 \text{ N·m}$$

dove

$\gamma_{M0} = 1.05$ è il fattore di sicurezza parziale per le sezioni di Classe 1, 2 o 3
$f_y = 120.0$ MPa è la tensione di snervamento nominale dell'alluminio

quindi la seguente

$$M_{2,Sd} / M_{2,Rd} = 0.80 \leq 1.00$$

Verifica la sezione.

h_{Tot} = 80.0 mm
A = 405.0 mm^2
y_G = 38.96 mm
Jx = 40.8 cm^4
W_x = 9.9 mm^3

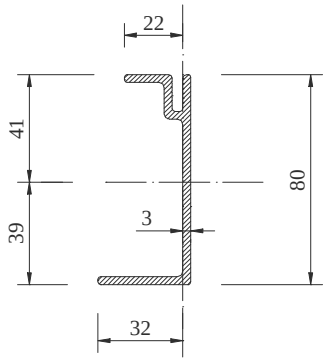


Figura 7

Traversi del telaio

I quattro profili di alluminio poggiano sui traversi e ad essi trasmettono i le risultati dei carichi ad essi applicati. I traversi sono costituiti da un profilo IPE80 avente le seguenti caratteristiche:

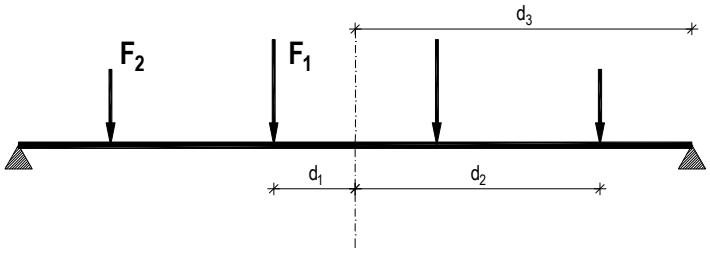
G = 58.8 N/m
A = 7.64 cm^2
J_x = 80.1 cm^4
$W_{x,}$ = 20.0 cm^3

Le azioni trasmesse dai profili in alluminio ai sottostanti traversi in acciaio sono, rispettivamente per i longheroni al centro e per quelli ai lati,

$$F_1 = 1.1 \cdot q_3 \cdot l_b = 4952 \text{ N}$$

$$F_2 = 0.4 \cdot q_3 \cdot l_b + 0.5 \cdot (\gamma_Q \cdot d_{uc} \cdot q_1 / w_d) \cdot l_b = 3558 \text{ N}$$

Dove d_{uc} = 0.31 m è la larghezza della copricanaletta.
Il profilo IPE80 è sostenuto dai profili laterali principali ed è soggetto al proprio peso ($q_4 = \gamma_G \cdot w_{IPE80}$ = 79 N/m) ed a quattro forze puntuali corrispondenti alle reazioni delle travi in alluminio (F_1 e F_2 contengono i pertinenti fattori di sicurezza). La situazione è mostrata in Figura 8.



d_1 = 0.275m
d_2 = 0.825m
$d_3 = w_d/2$ = 1.14 m

Figura 8

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

$$M_{3,Sd} = \frac{1}{8} \cdot q_4 \cdot w_d^2 + (F_1 + F_2) \cdot d_3 - F_1 \cdot d_1 - F_2 \cdot d_2 = 5456 \text{ N·m}$$

Il momento resistente per la sezione IPE80, appartenente alla classe 1, è

$$M_{3,Rd} = W_x \cdot f_y / \gamma_{M0} = 23.2 \cdot 275 / 1.05 = 6076 \text{ N·m}$$

dove

γ_{M0} = 1.05 è il fattore di sicurezza parziale per sezioni di Classe 1, 2 o 3
f_y = 275.0 MPa è la tensione di snervamento nominale dell'acciaio

$W_{x,pl}$ = 23.2 cm^3 è il modulo plastico di resistenza della sezione

Quindi la seguente

$$M_{3,Sd} / M_{3,Rd} = 0.90 \leq 1.00$$

verifica la sezione.

Profili laterali del telaio

I traversi del telaio sono saldati ai profili laterali e a questi trasmettono le risultati dei carichi da cui sono gravati. Per le travi laterali del telaio si adottano due profili CNP180, aventi le seguenti caratteristiche:

G = 216N/m
A = 28.0 cm^2
J_x = 1354 cm^4
W_x = 150 cm^3

Nello studio dei profili laterali si adotta lo schema di una trave in semplice appoggio su 3 supporti (i tre galleggianti) soggetta ad un carico distribuito sulla lunghezza pari alla combinazione del peso proprio (legno+alluminio+acciaio) e delle azioni accidentali.
Il peso del pontile, esclusi i galleggianti, è pari a 53335-36780=16555 N pertanto il peso proprio (carico distribuito di progetto) risulta:

$$p = 16555 / 12 = 1380 \text{ N/m}$$

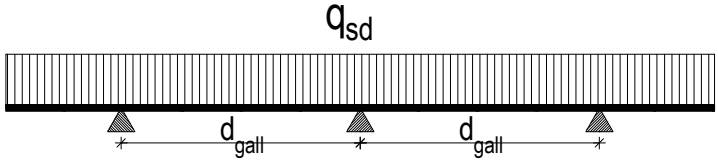
Ad esso si somma il carico accidentale

$$q_A = q \cdot A_d / l_d = 5405 \text{ N/m}$$

Il carico complessivo di progetto risulta, con gli opportuni coefficienti moltiplicativi,

$$q_{sd} = 1.35 \cdot p + 1.5 \cdot q_A = 9971 \text{ N/m}$$

Lo schema di calcolo è illustrato in Figura 9.



l_b= 2.00 m
d_{gall}=4.05 m

Figura 9

Risolvendo lo schema iperstatico si ottiene la massima sollecitazione in corrispondenza degli appoggi esterni, dove il momento flettente risulta essere

$M_{4,Sd}$ =18957 N m.

Il momento resistente delle due sezioni CNP180 è dato da

$$M_{4,Rd} = 2 \cdot W_x \cdot f_y / \gamma_M = 2 \cdot 150 \cdot 275 / 1.05 = 78571 \text{ N m.}$$

Quindi il risultato seguente

$$M_{4,Sd} / M_{4,Rd} = 0.24 \leq 1.00$$

verifica la sezione.

Sovraccarico strutturale concentrato

Il carico puntuale di progetto è assegnato pari a

$q_p = 37500$ Pa

Su un'impronta di 20 x 20cm, come mostrato in Figura 10.

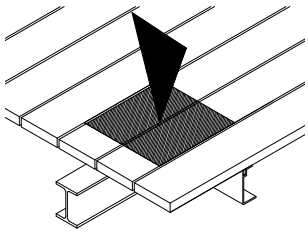


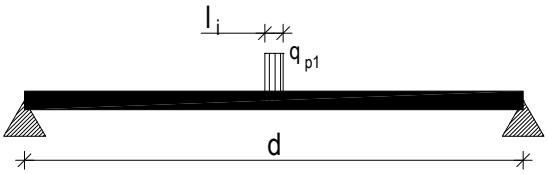
Figura 10

Doghe in legno

Il carico puntuale si divide tra due doghe in legno adiacenti. Il carico agente su ogni doga, considerando il fattore moltiplicativo delle azioni, risulta pari a

$$q_{p1} = \gamma_Q \cdot q_p \cdot d_b = 1.5 \cdot 37500 \cdot 0.1 = 5625 \text{ N / m}$$

dove $d_b = 0.1$ m è la larghezza della doga.
Il caso più sfavorevole è quello in cui il carico agisca a metà della distanza tra due longheroni in alluminio. Lo schema di calcolo considera la doga in semplice appoggio sui due longheroni più vicini, come mostrato in Figura 11



d = 0.55 m
l_i = 0.2 m

Figura 11

Il massimo momento flettente sulla doga è pari a

$$M_{5,Sp} = q_{p1} \cdot \frac{l_i}{2} \cdot \frac{d}{2} - q_p \cdot \frac{l_i^2}{8} = 126.6 \text{ N·m}$$

Il modulo della sezione della doga è pari a $W_x = 6.98$ cm^3. il momento resistente della doga è quindi pari a

$$M_{5,Rd} = W_x \cdot f_y / \gamma_M = 465.3 \text{ N·m}$$

dove

$f_y = 70$ MPa è la tensione flettente parallela alla fibra per yellow balau.

Quindi la seguente

$$M_{5,Sp} / M_{5,Rd} = 0.27 \leq 1.00$$

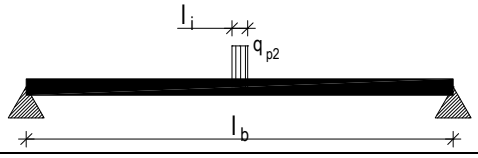
verifica la sezione.

Longherone di alluminio

Il longherone di alluminio è soggetto alla reazione delle doghe su cui agisce il carico puntuale; considerando i fattori di sicurezza, la forza agente sul longherone è pari a

$$q_{p2} = q_p \cdot \gamma_Q \cdot l_i = 37500 \cdot 1.5 \cdot 0.2 = 11250 \text{ N / m}$$

A favore di sicurezza si assume che il carico risulti in mezzeria al longherone. Lo schema di calcolo considera il longherone semplicemente appoggiato sui due traversi più vicini, come mostrato in Figura 12



l_b = 2 m
l_i = 0.2 m

Figura 12

Il massimo momento flettente sul longherone è pari a

$$M_{6,Sp} = q_{p2} \cdot \frac{l_i}{2} \cdot \frac{l_b}{2} - q_p \cdot \frac{l_i^2}{8} = 1069 \text{ N·m}$$

Il momento resistente per il longherone di alluminio, come calcolato in precedenza, è pari a

$M_{6,Rd}$ = 1131 N·m

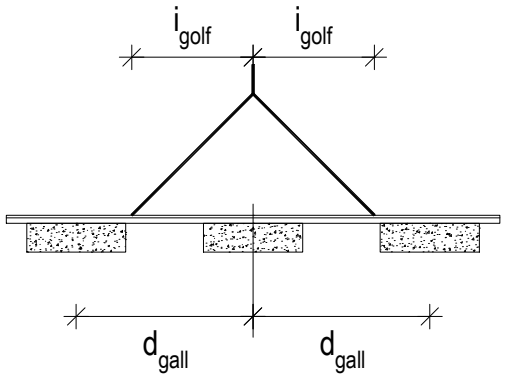
Quindi la seguente

$M_{6,Sp} / M_{6,Rd} = 0.95 \leq 1.00$

Verifica la sezione.

Azioni durante le operazioni di sollevamento

Durante le operazioni di assemblaggio e varo, il pontile è sollevato tramite cinghie e 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) ed a quello dei galleggianti in calcestruzzo.
La situazione è illustrata in Figura 13.



d_{gall} = 4.05 m

i_{golf} = 2.95 m

Figura 13

I carichi di progetto sono il peso della struttura in acciaio, dell'alluminio, del piano di calpestio in legno, dei parabordi e dei tre galleggianti. Tali peso sono tradotti in un carico distribuito lungo i profili laterali ed il peso dei tre galleggianti in calcestruzzo, ed in tre come tre carichi concentrati.
Il peso del pontile, dedotto del peso dei galleggianti, è 53335-36780=16555 N quindi il carico distribuito risulta:

$q_L = 1.35 \cdot 16555 / 12 = 1862$ N/m

mentre i carichi concentrati sono:

$F_f = 1.35 \cdot 12260 = 16551$ N

Il momento flettente in corrispondenza dei supporti, dovuto al carico distribuito, è

$$M_{Sd,qL} = f_D \cdot \frac{1}{2} q_L \left(\frac{l_d}{2} - i_{golf}\right)^2 = 1.50 \cdot 1862 \cdot (6.00 - 2.95)^2 / 2 = 12991 \text{ N·m}$$

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, in corrispondenza dei supporti, è

$$M_{Sd,qL} = f_D \cdot F_f (d_{gall} - i_{golf}) = 1.5 \cdot 16551 \cdot (4.05 - 2.95) = 27309 \text{ N·m}$$

Il momento flettente totale è quindi

$$M_{7,Sd} = 12991 + 27309 = 40300 \text{ N·m}$$

Il momento resistente dei due profili laterali CNP180 è dato da

$$M_{7,Rd} = W_x \cdot f_y / \gamma_{M0} = 2 \cdot 150 \cdot 275 / 1.05 = 78571 \text{ N·m}$$

Quindi la verifica è soddisfatta in quanto

$$M_{7,Sd} / M_{7,Rd} = 40300 / 78571 = 0.51 < 1.00$$

La reazione in corrispondenza dei supporti è

$$R_S = 1.5 \cdot (1862 \cdot 12 + 16551 \cdot 3) / 2 = 53998 \text{ N}$$

Infine, ogni cinghia usata per il sollevamento deve sopportare una tensione pari a

$$T_{belts} = 53998 / 4 \cdot 2^{-1/2} = 19.1 \text{ kN}$$

Azione delle onde

La verifica è eseguita considerando il passaggio di un'onda sotto al pontile. In tale situazione il telaio del pontile è sostenuto dai galleggianti esterni e caricato dal peso proprio e dal peso del galleggiante centrale. La situazione è mostrata in Figura 14.

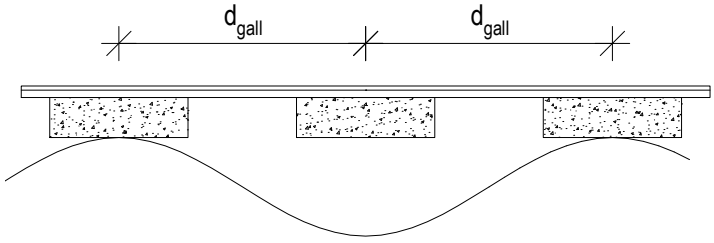


Figura 14

I carichi considerati sono gli stessi calcolati al paragrafo precedente.
Il momento flettente è

$$M_{Sd,qL} = \frac{1}{8} q_L (2d_{gall})^2 + \frac{1}{2} F_f d_{gall} = 1/8 \cdot 1862 \cdot 8.1^2 + 1/2 \cdot 16551 \cdot 4.05 = 48787 \text{ N·m}$$

Quindi la verifica è soddisfatta in quanto

$$M_{Sd,qL} / M_{4,Rd} = 48787 / 78571 = 0.62 < 1.00$$

7.2 - CARICHI ORIZZONTALI

Azioni di calcolo

Il pontile è pensato per l'ormeggio di barche fino ad una lunghezza di 12.0 m, aventi le seguenti caratteristiche standard:

Lunghezza fuori tutto	:	12.0 m
Larghezza fuori tutto	:	3.7 m
Area trasversale A_{end}	:	9.6 m^2
Dimensioni del posto barca	:	13.00 m × 4.00 m

La velocità massima del vento è assunta pari a v = 20.6 m/s (40 nodi).
Il carico orizzontale dovuto al tiro dell'ormeggio della singola imbarcazione è pari a

$$F_{pull} = 0.613 \cdot v^2 \cdot A_{end} = 0.613 \cdot 20.6^2 \cdot 9.6 = 2497 \text{ N}$$

Su un pontile di lunghezza pari a 12 m trovano posto n_{berth} = 3 imbarcazioni con un posto barca largo 4 m. Il carico distribuito dovuto al tiro degli ormeggi sul pontile è quindi pari a

$$q_{berth} = F_{pull} \cdot n_{berth} / l_d = 2497 \cdot 3 / 12 = 624.3 \text{ N/m}$$

Lo schema di calcolo è mostrato in Figura 15

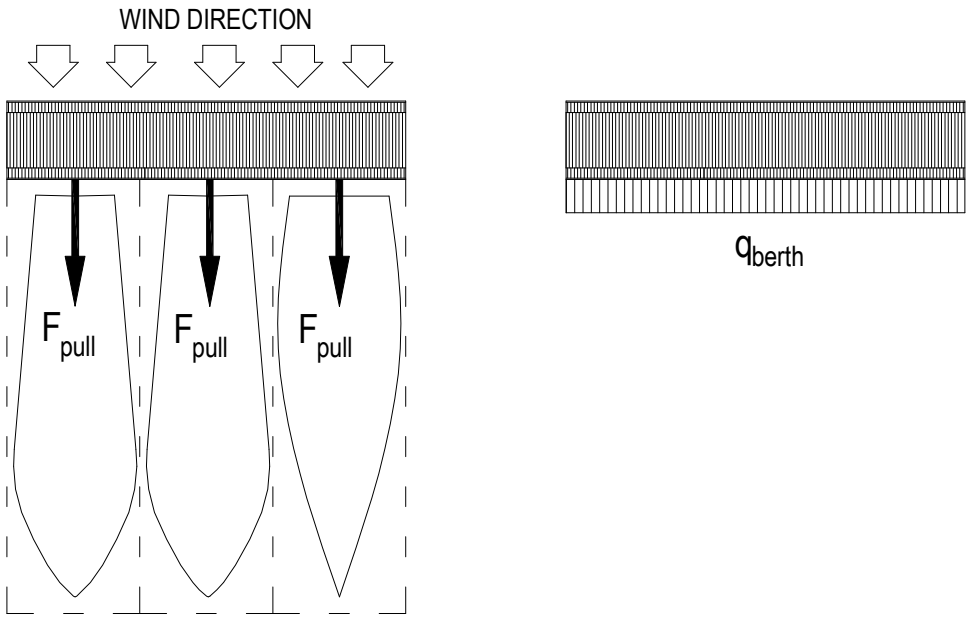


Figura 15

Modello di calcolo

Il telaio del pontile è stato analizzato tramite un modello ad elementi finiti, supponendolo soggetto ad un carico orizzontale distribuito pari a 2500 N/m.
Lo schema utilizzato è mostrato nella seguente Figura 16, dove le diverse travi che formano il pontile sono numerate in nero e i nodi di interesse sono mostrati e numerati in viola.

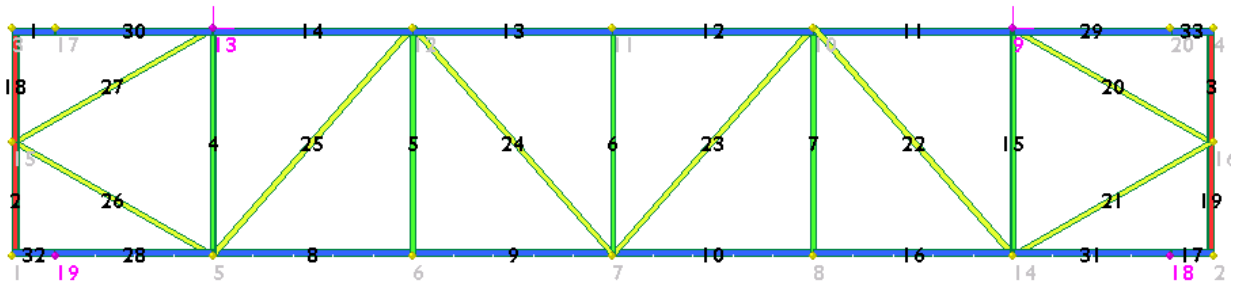


Figura 16

È stato considerato sia il caso di ancoraggio del pontile con catene che quello con pali, bloccando nelle diverse situazioni diversi nodi: nel caso di ancoraggio con catene i nodi 18 e 19, nel caso de pali i nodi 9 e 13.

Verifiche al tiro degli ormeggi

Il carico applicato nel modello comprende già il fattore moltiplicativo $\gamma_1 = 1.5$, secondo quanto prescritto dall'Eurocodice 3.
In tutte le verifiche, a favore di sicurezza, verrà considerata la tensione di snervamento dell'acciaio ridotta, pari a

$f_{yd} = f_y / \gamma_{M0} = 275 / 1.05 = 262$ MPa.

Va inoltre fatto notare che, definito

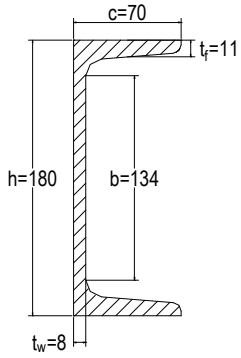
$$V_{pl,Rd,y} = A_V \cdot \frac{f_y/\sqrt{3}}{\gamma_{M0}}$$

quando lo sforzo di taglio in una sezione non ecceda il 50% di $V_{pl,Rd,y}$ lo stesso può essere trascurato e non è necessaria nessuna riduzione nella combinazione tra momento e forza assiale.

Travi laterali

Le travi laterali sono costituiti da due sezioni CNP180. Nello schema del telaio un profilo laterale è costituito dalle travi 1, 11, 12, 13, 14, 29, 30 e 33; l'altro dalle travi 8, 9, 10, 16, 17, 28, 31 e 32.
Le principali caratteristiche della sezione CNP180 sono

h = 180 mm
b = 134 mm
c = 70 mm
t_w = 8 mm
t_f = 11 mm
A = 2800 mm^2
A_{Vy} = 1540 mm^2
$W_{el,\,y}$ = 22.4 cm^3



Nel caso i ancoraggio del pontile con catene, gli elementi più sollecitati sono le travi 32 e 17, che quindi verranno verificate. Le azioni agenti su queste travi sono:

N_{Sd}	=	1834N	sforzo assiale
$M_{Sd,y}$	=	4843 N·m	momento flettente
$V_{Sd,\,y}$	=	16253 N	sforzo di taglio

In assenza di sforzo di taglio, poichè

$V_{Sd,y} < V_{pl,Rd,y} = 232864.6$N

una sezione di Classe 3 è verificata se verifica il seguente criterio

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Per il caso in analisi, risulta

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = 0.003 + 0.825 = 0.828 \leq 1$$

che verifica la sezione.
Nel caso di ancoraggio con pali gli elementi più sollecitati sono le travi 8 e 16, che quindi verranno verificate. Le azioni agenti su queste travi sono:

N_{Sd}	= 7116 N	sforzo assiale
$M_{Sd,y}$	= 1481 N·m	momento flettente
$V_{Sd,}$	= 3930 N	sforzo di taglio

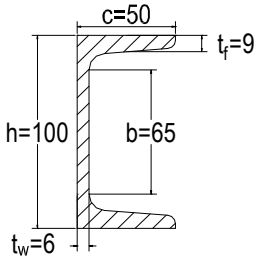
La sezione è verificata in quanto

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = 0.010 + 0.252 = 0.262 \leq 1.00$$

Testate

Le testate laterali sono costituite da due profili CNP 100, travi appartenenti alla Classe 3. Nello schema del telaio una testata del pontile è costituita dalle travi 2 e 18, l'altra dalle travi 3 e 19. Durante il calcolo le travi che costituiscono un profilo laterale sono considerate incastrate una all'altra.
Le principali caratteristiche di un profilo CNP 100 sono

h = 100 mm
b = 65 mm
c = 50 mm
t_w = 6 mm
t_f = 9 mm
A = 1350 mm^2
A_{vy} = 900 mm^2
$W_{el,\,y}$ = 8.45 mm^3



Nel caso di ancoraggio con catene, gli elementi più sollecitati sono le travi 2 e 19, che quindi verranno verificate. Le azioni agenti su queste travi sono:

N_{Sd}	= 14659 N	sforzo assiale
$M_{Sd,y}$	= 1516 N·m	momento flettente
$V_{Sd,}$	= 1834 N	sforzo di taglio

In assenza di sforzo di taglio, per il caso in analisi, risulta

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = 0.041 + 0.685 = 0.726 \leq 1.00$$

che verifica la sezione.
Nel caso di ancoraggio con pali gli elementi più sollecitati sono ancora le travi 2 e 19, che quindi verranno verificate. In questo caso, le azioni agenti su queste travi sono:

N_{Sd}	= 3124N	sforzo assiale
$M_{Sd,y}$	= 340N·m	momento flettente
$V_{Sd,}$	= 394 N	sforzo di taglio

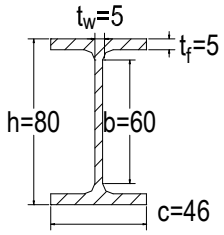
Si verifica la sezione

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = 0.009 + 0.154 = 0.162 \leq 1.00$$

Traversi

I traversi sono costituiti da profili IPE 80, appartenenti alla Classe 3. Nello schema del telaio i traversi sono costituti dalle travi 4, 5, 6, 7 e 15.
Le principali caratteristiche di un profilo IPE 80 sono

h = 80 mm
b = 60 mm
c = 46 mm
t_w = 5 mm
t_f = 5 mm
A = 764 mm^2
A_{Vy} = 460 mm^2
$W_{el,\,y}$ = 3.69 mm^3



Nel caso di ancoraggi con catene, gli elementi più sollecitati sono le travi 5 e 7, che quindi verranno verificate. Le azioni agenti su queste travi sono:

N_{Sd}	=	8817 N	sforzo assiale
$M_{Sd,y}$	=	16 N·m	momento flettente
$V_{Sd,}$	=	6 N	sforzo di taglio

In assenza di sforzo di taglio, per il caso in analisi, risulta

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = 0.044 + 0.017 = 0.061 \leq 1.00$$

che verifica la sezione.
Nel caso di ancoraggio con pali gli elementi più sollecitati sono le travi 4 e 15, che quindi verranno verificate. In questo caso, le azioni agenti su queste travi sono:

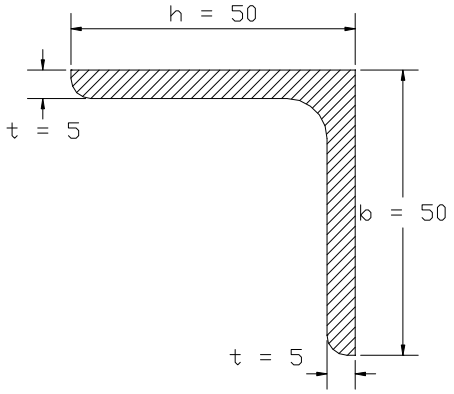
N_{Sd}	=	20940N	sforzo assiale
$M_{Sd,y}$	=	4 N·m	momento flettente
$V_{Sd,}$	=	3 N	sforzo di taglio

Anche in questo caso viene quindi verificata la relazione

$$\frac{N_{Sd}}{A \cdot f_{yd}} + \frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = 0.105 + 0.004 = 0.109 \leq 1.00$$

Controventi
I controventi sono costituiti da profili ad L 50x5. Nello schema del telaio sono le travi numerate da 20 a 27
Le principali caratteristiche di un profilo L50x5 sono

h = b = 50 mm
t = 5 mm
A = 480 mm^2
A_V = 250 mm^2
$W_{el,y}$ = 3.05 cm^3



Il rapporto tra l'altezza e lo spessore dell'elemento compresso parallelo all'asse del momento flettente è

$$\frac{h}{t} = \frac{70}{7} = 10 < 15 \cdot \varepsilon = 13.8$$ Classe 3

mentre lo stesso rapporto per le frange sporgenti vale

$$\frac{b+h}{2\cdot t}=\frac{70+70}{2\cdot 7}=10<11.5\cdot\varepsilon=10.6 \qquad \text{Classe 3}$$

quindi la sezione è di Classe 3.,
Le azioni più rilevanti sono gli sforzi assiali e quindi verranno eseguite le verifiche delle travi a compressione. Nel caso di ancoraggio con catene, gli elementi più sollecitati sono le travi 22 e 25, che quindi verranno verificate. Le azioni agenti su queste travi sono:

N_{Sd}	=	16485 N	sforzo assiale in compressione
$M_{Sd,y}$	=	152N·m	momento flettente
$V_{Sd,y}$	=	77N	forza di taglio

In assenza di forza di taglio, per il caso in analisi, la verifica risulta

$$\frac{N_{Sd}}{A\cdot f_{yd}}+\frac{M_{y,Sd}}{W_{el,y}\cdot f_{yd}} = 0.131 + 0.190 = 0.321 \le 1.0$$

oltre al precedente, il controllo della resistenza all'instabilità è importante per la trave.
La resistenza all'instabilità a compressione per la trave è espressa come

$$N_{b,Rd} = \chi\cdot\beta_A\cdot A\cdot f_y / \gamma_{M1}$$

Dove

$\beta_A = 1$ per una sezione di Classe 3

χ è il fattore di riduzione per l'instabilità presa in esame.

Per una compressione assiale costante in travi con sezione costante (come nel caso in esame), il valore di χ in funzione della snellezza $\overline{\lambda}$ può essere determinato come

$$\chi=\frac{1}{\phi+\sqrt{\phi^2-\overline{\lambda}^2}} = 0.153 \qquad \text{se } \chi \le 1$$

dove

$\phi = 0.5\cdot[1+\alpha\cdot(\overline{\lambda}-0.2)+\overline{\lambda}^2] = 2.722$

$\alpha = 0.49$ fattore di imperfezione

$$\overline{\lambda}=\sqrt{\frac{\beta_A\cdot A\cdot f_y}{N_{CR}}}=\frac{\lambda}{\lambda_1}\cdot\sqrt{\beta_A} = 2.214$$

nel calcolo di $\overline{\lambda}$ si ha:

λ snellezza per la trave presa in esame. La snellezza è data da $\lambda=\ell/i$ = (0.9·207.2)/0.97 = 192.2; dove i = 0.97 cm è il raggio di inerzia attorno all'asse preso in considerazione (asse di simmetria v-v), determinato usando le proprietà dell'area trasversale lorda. La lunghezza compressa ℓ di una trave in compressione con entrambi gli estremi fissi può essere considerata come la lunghezza a riposo L moltiplicata per 0.9.

$$\lambda_1=\pi\cdot\sqrt{\frac{E}{f_y}}=93.9\cdot\varepsilon=86.8$$

$$\varepsilon=\sqrt{\frac{E}{f_y}}=0.92 \qquad (f_y \text{ in MPa})$$

N_{cr} forza elastica critica per la compressione presa in esame

Nel caso in esame le eccentricità possono essere trascurate e le estremità possono essere considerate fisse per il calcolo degli angoli, se al posto di $\overline{\lambda}$ viene utilizzata una snellezza effettiva $\overline{\lambda}_{\text{eff}}$ calcolata come

$$\overline{\lambda}_{\text{eff}} = 0.35 + 0.7 \cdot \overline{\lambda} = 1.900$$

La resistenza all'instabilità della trave in compressione è quindi data da

$$N_{b,Rd} = 0.153 \cdot 1 \cdot 480 \cdot 275 / 1.05 = 19234.3 \text{ N}$$

Poiché la trave è soggetta alla combinazione del momento e dell'azione assiale, deve essere soddisfatta la verifica seguente:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} < 1.0$$

Dove:

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 0.448$$

$\chi_y = 0.153$ come calcolato in precedenza

$\mu_y = \overline{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4)$ =0.676 se $\mu_y \leq 0.90$

$\beta_{My} = 1.8 - 0.7 \cdot \psi = 2.178$ è il fattore del momento uniforme equivalente per stabilità alla flessione; in tale formula ψ è il rapporto tra i momenti agli estremi della trave e varia tra –1 e 1

$$\Psi = \frac{min(M_i; M_j)}{max(M_i; M_j)} = \text{-0.540}$$

dato che i momenti flettenti alle estremità della trave, come calcolato con lo schema ad elementi finiti, valgono

$M_i = -121.34$ N·m

$M_j = 65.5$ N·m

Sostituendo i risultati precedenti, il criterio viene verificato in quanto:

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = 0.857 + 0.085 = 0.942 \leq 1.00$$

Nel caso di ancoraggio con pali gli elementi più sollecitati sono ancora le travi 22 e 25, che quindi verranno verificate. In questo caso, le azioni agenti su queste travi sono:

$N_{Sd} = 14629$ N sforzo assiale in compressione

$M_{Sd,y} = 10.3$ N·m momento flettente

$V_{Sd,} = 3.4$ N sforzo di taglio

Anche in questo caso viene quindi verificata la relazione

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} = 0.020 + 0.002 = 0.022 \leq 1.00$$

Poiché la trave è soggetta alla combinazione del momento e dell'azione assiale, deve essere soddisfatta anche la verifica seguente

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_{yd}} + \frac{k_y \cdot M_{y,Sd}}{W_{el,y} \cdot f_{yd}} \leq 1.0$$

Dove:

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y \cdot N_{Sd}}{\chi_y \cdot A \cdot f_y} = 1.501$$

$\chi_y = 0.153$ come calcolato in precedenza

$\mu_y = \bar{\lambda}_y \cdot (2 \cdot \beta_{My} - 4)$ =-0.692 se $\mu_y \leq 0.90$

$\beta_{My} = 1.8 - 0.7 \cdot \psi = 1.818$

$$\Psi = \frac{min(M_i; M_j)}{max(M_i; M_j)} = -0.025$$

$M_i = 7.23$ N·m

$M_j = -0.18$ N·m

quindi

$$\frac{N_{Sd}}{\chi_{min} \cdot A \cdot f_y / \gamma_{M1}} + \frac{k_y \cdot M_{Sd,y}}{W_{el} \cdot f_y / \gamma_{M1}} = 0.761 + 0.019 = 0.780 \leq 1.00$$

7.3 – VERIFICHE DI DETTAGLIO

Profili laterali del telaio soggetto al tiro degli ormeggi

Viene qui verificato puntualmente il comportamento del telaio. I tiri degli ormeggi non vengono quindi considerati come carico distribuito ma come forze puntuali, trasmesse dalle barche agli anelli o alle bitte di ormeggio e da questi al telaio. Per questa verifica il caso peggiore è quando una barca viene ormeggiata all'inglese, parallelamente al pontile. La forza agente su un anello o su una bitta risulta quindi essere

$$F_{pull2} = 0.613 \cdot v^2 \cdot A_{lat} = 0.613 \cdot 20.6^2 \cdot 28.7 = 7466 \text{ N}$$

Il caso peggiore si ha quando una bitta è fissata in mezzeria ad un campo del telaio. Il telaio, come descritto nei paragrafi precedenti, ha traversi equispaziati a distanza l_b = 2.00 m. Il massimo momento nel profilo laterale è quindi

$$M_{8,Sd} = \gamma_G \cdot F_{pull2} \cdot l_b / 4 = 1.5 \cdot 7466 \cdot 2.0 / 4 = 5600 \text{ N·m}$$

Il momento resistente del profilo CNP180, attorno l'asse y-y è dato da

$$M_{8,Rd} = W_y \cdot f_y / \gamma_{M0} = 22.4 \cdot 275 / 1.05 = 5867 \text{ N·m}$$

che è maggiore del momento agente.

Verifiche sui giunti

Giunto tra i pontili soggetti al tiro degli ormeggi

Il giunto tra pontili successivi è mostrato nella seguente Figura 17.

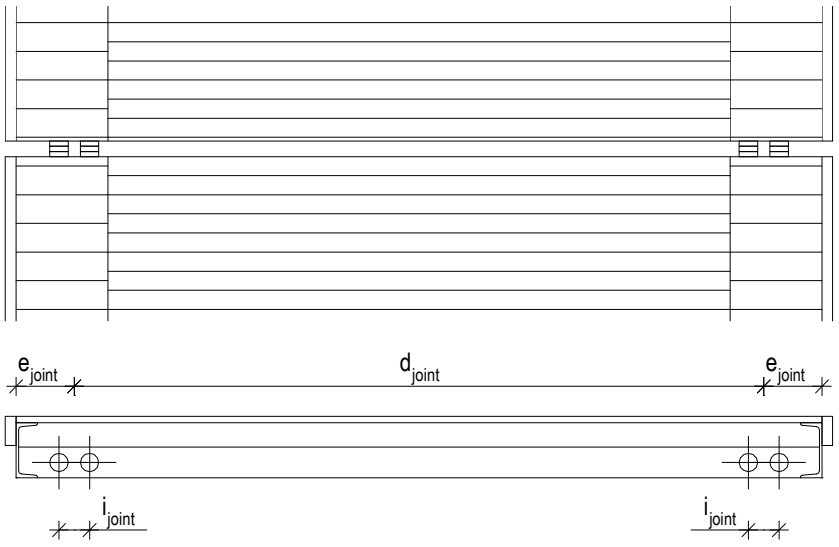


Figura 17

Il giunto è composto da n° 4 bulloni A2-70 M24 e da n° 12 rondelle in gomma (3 per bullone). Da ciascun lato della testa del pontile si posizionano due set composti da 3 rondelle ed 1 bullone.
A causa dei carichi trasversali, dovuti all'azione delle barche ormeggiate, la struttura è soggetta a un momento flettente sul piano della struttura stessa. Tale momento si traduce in una coppia tensione-compressione sulle travi laterali della struttura del pontile. Questi carichi sono trasmessi da un elemento a quello contiguo dalle giunzioni in esame. Nella verifica seguente si ipotizza, cautelativamente, che lavorino solo i giunti più esterni mentre quelli interni rimangono di sicurezza.
Il carico orizzontale, pari al tiro delle imbarcazioni ormeggiate alla struttura, è

$$q = \gamma_G \cdot q_{betrh} = 936 \text{ N/m}.$$

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

$$M = 1 / 8 \cdot 936 \cdot 12^2 = 16848 \text{ N·m}$$

Essendo la distanza tra giunti d_{joint} = 1.9 m, lo sforzo assiale su questi è

$$N = 16848 / 1.9 = 8.9 \text{ kN}$$

La compressione agisce sulle rondelle in gomma, mentre la tensione agisce sul bullone M24.
La resistenza del bullone M24 è

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot 430 \cdot 353 / 1.35 = 101 \text{ kN}$$

La resistenza a compressione della serie di rondelle, avente ognuna area pari a 5780 mm^2, è

$$F_{C,Rd} = 0.75 \cdot 2 \cdot 5780 \cdot 20.4 / 1.35 = 131 \text{ kN}$$

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

Profilo laterale sotto l'azione dei giunti

I profili laterali sono soggetti ad uno sforzo assiale pari a

$$N = 16848 / 2.28 = 7.4 \text{ kN}$$

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

$$M_{Sd} = 8900 \cdot 0.19 = 1691 \text{ N·m}$$

Le azioni resistenti sono

$$N_{Rd} = 2800 \cdot 275 / 1.05 = 570 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = 22.4 \cdot 275 / 1.05 = 5867 \text{ N·m}$$

Il controllo dell'elemento è quindi

$$7.4 / 570 + 1691 / 5867 = 0.29 < 1.00$$

che è verificato.

Staffone di ancoraggio (ancoraggio con catene)

Sui pontili sono predisposti degli speciali staffoni per il collegamento alle catene di ancoraggio. La seguente figura 20 illustra la geometria dello staffone.

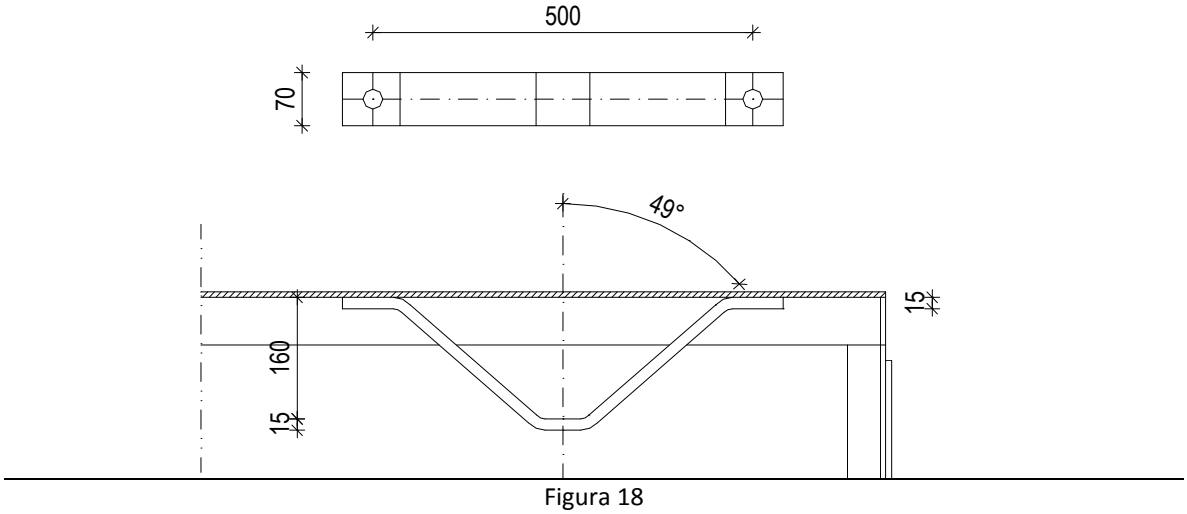


Figura 18

Lo staffone è formato da un piatto in acciaio zincato a caldo, opportunamente sagomato, di sezione 70×15 mm.
Il piatto è fissato al profilo laterale del pontile con due bulloni A2-70 M20.
Considerando un carico orizzontale pari a 936 N/m, cioè pari al tiro degli ormeggi, 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

$$F_{Sd} = 936 \cdot 12.0 / 2 = 15.0 \text{ kN}$$

Assumendo un angolo della catena pari a 30°, le azioni verticali e orizzontali sono

$$H_{Sd} = 15 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} = 15 \cdot \tan(30°) = 8.7 \text{ kN}$$

Viteria

Ogni bullone è soggetto alle azioni di trazione e di taglio

$$F_{t,Sd} = 15 / 2 = 7.5 \text{ kN}$$

$$F_{V,Sd} = 8.7 / 2 = 4.35 \text{ kN}$$

Le azioni resistenti dei bulloni sono

$$F_{t,Rd} = 0.9 \cdot 245 \cdot 700 / 1.35 = 114 \text{ kN}$$

$$F_{V,Sd} = 0.5 \cdot 245 \cdot 700 / 1.35 = 64 \text{ kN}$$

Quindi il bullone è verificato in quanto

$$7.5 / 1.4 \cdot 114 + 4.35 / 64 = 0.11 < 1.00$$

Piatto piegato

Per quel che riguarda il piatto viene verificata la sezione A-A che è la più sollecitata.
Essa risulta infatti soggetta alle forze assiali ed al momento flettente seguenti

$$N_{Sd} = 15 / 2 \cdot \cos(49°) = 11.4 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} = 8.7 \cdot 0.160 / 2 = 696 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Le azioni resistenti della sezione del piatto sono

$$N_{Rd} = 70 \cdot 15 \cdot 275 / 1.05 = 275.0 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = (15 \cdot 70^2 / 6) \cdot 275 / 1.05 = 3208 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Quindi la sezione è verificata in quanto

$$11.4 / 275 + 696 / 3208 = 0.26 < 1.00$$

----oOo----

CAPO III - ANCORAGGIO PONTILI E ORMEGGIO NATANTI

1 – GENERALITÀ

Il sistema di ancoraggio dei pontili e di ormeggio dei natanti è previsto con catene e corpi morti, come schematizzato nei disegni di progetto.

I pontili sono trattenuti nel piano orizzontale con catene zincate del □□□□□mm, che collegano le estremità di ogni singolo elemento a corpi morti di circa 3 tonn., posati sul fondo. Le catene riportano, quindi, ai punti fissi (corpi morti) gli sforzi indotti sulle strutture dal vento e dal moto ondoso.

I corpi morti sono collegati tra loro con catene di fondo del □ 24 mm che consentono il fissaggio delle trappe d'ormeggio dei natanti.

Le trappe d'ormeggio sono costituite da uno spezzone di catena zincata del □□ da mm 10 a mm 14, a seconda dell'imbarcazione ormeggiata, collegata alla catena di fondo , e da un tratto di cima tessile, anch'essa di diametro variabile a seconda della grandezza dell'imbarcazione, i cui estremi sono collegati: uno alla catena e l'altro all'anello posto sul pontile.

Le imbarcazioni saranno perciò ormeggiate con la poppa rivolta al pontile e troveranno alla loro prua le trappe d'ormeggio posizionate in funzione del posto barca.

Si elabora, qui di seguito, il calcolo dell'ancoraggio di un pontile con corpi morti e catene, nell'ipotesi di mare senza onda, con tutte le imbarcazioni all'ormeggio e nelle condizioni peggiori di vento forte.

2 – DIMENSIONAMENTO DELLA CATENA DI ANCORAGGIO E DISTANZA DI POSA DEL CORPO MORTO

Si considera la velocità massima che il vento possa raggiungere nel paraggio, che sarà quindi di:

70 nodi, pari a 130 Km/h, per cui si ottengono:

- ***spinta:*** S = 0,0856 x 130 / 3,6 = 111,6 Kg/mq
- ***superficie esposta*** su m 12,00 di pontile

  A = 12,00 x 0,70 = 8,4 mq
- ***forza orizzontale impressa alla catena***

  F = 8,4 x 111,6 = 979,4 Kg
- ***calibro della catena***

  Il calibro della catena viene definito mediante la relazione empirica:

  Fb = (1,12 x F) / 0,35 = 4 320 Kg

  Potrebbe impiegarsi una catena UNI 4419 a passo lungo del Φ 14 con carico di rottura di 7 500 Kg, ma, per maggior sicurezza e garanzia di durata nel tempo, si impiega la catena del Φ 16 mm con carico di rottura di 9100 Kg.
- ***peso in acqua della catena***

  W = 5,5 x 0,87 = 4,80 Kg/m
- ***parametro caratteristico della catenaria***

  C = 979,4 / 4,80 = 204 m

Si impone che, all'atto del tiro massimo, la catena all'attacco con il corpo morto presenti un angolo di 8 gradi, per cui:

- ***forza normale al corpo morto***

  Va = 979,4 x tang. 8° = 138 Kg

- ***lunghezza ideale***

  Sa = 138 /4,8 = 29 m

  Ya = 204 + 29 = 206 m

Si considera il fondale medio su cui vengono ancorati i pontili di m (- 4,00) per cui:

Yb = 206 + 4 = 210 m

Sb = 210 – 204 = 50 m

da cui:

- ***lunghezza della catena***

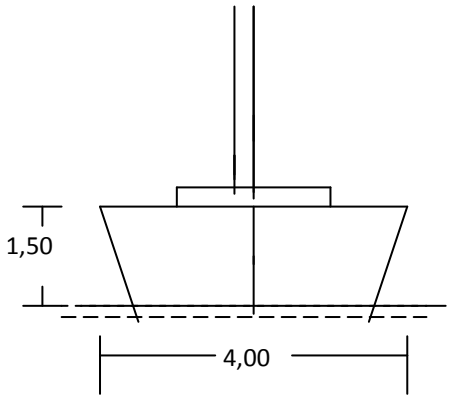
  L = 50 – 29 = 21 m

- ***distanza minima del corpo morto dal pontile***

  D = (21/1,12) – 4 = 18 m circa

3 – DIMENSIONAMENTO DELLA CATENA D'ORMEGGIO

Si dimensiona la catena per un'imbarcazione media di m 12,00 di lunghezza fuori tutto e nelle condizioni peggiori di vento forte, pari a 70 nodi.



- ***fronte esposto***

  F = 4,00 x 1,50 = 6,00 mq

- ***spinta del vento***

  q = 0,0856 x 130 / 3,6 = 111,6 Kg/mq

- ***spinta sullo scafo***

  S = 1,2 x 111,6 x6,00 = 835 Kg

  Fb = 1,12 x 835 / 0,35 = 2 672 Kg

Si impiega una catena del □□12 mm a passo lungo UNI 4419 con carico minimo di rottura di Kg 5 500.

- ***Peso in acqua della catena***

  W = 3,25 x 0,87 = 2,82 Kg/m

- ***Parametro caratteristico della catenaria***

  C = 835 / 2,82 = 296 m

Si impone che, all'atto del tiro massimo, la catena all'attacco con la catenaria di fondo presenti un angolo di 15 gradi, per cui:

- ***Forza normale al corpo morto***

  Va = 835x tang. 15° = 224 Kg

- ***Lunghezza ideale***

Sa = 224 / 2,82 = 79,5 m

Ya = 296 + 79,5 = 306,5 m

Si considera il fondale medio su cui vengono ancorati i pontili di m (- 4,00), per cui:

Yb = 306,5 + 4 = 310,5 m

Sb = 310,5 - 296 = 94 m

da cui:

L = 94 – 79,5 = 14,5 m circa

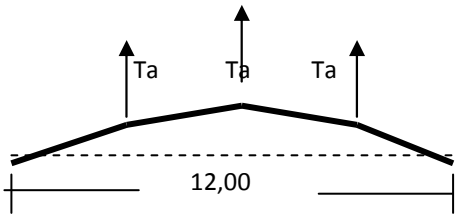
4 – DIMENSIONAMENTO DELLA CATENA DI FONDO

Si impiega una catena di fondo del ⍰⍰24 mm con carico minimo di rottura di 20 400 Kg.

F = 20 400 Kg

Fa = (20 400 x 0,35) /1.12 = 6 375 Kg

Ta = S / cos 15° = 835 / cos 15° = 864 Kg



Il poligono funicolare è tale per cui nella catena di fondo non si supera mai la tensione 6375 Kg quando le catena d'ormeggio delle imbarcazioni imprimono un tiro di Kg 864 ciascuna.

Dal calcolo del poligono scaturisce una lunghezza di catena del Φ 24 di m 12,12.

5 – DIMENSIONAMENTO DEL CORPO MORTO

- ***Tiro della catena d'ormeggio del pontile***

Ma = 1350 Kg

Va = 189 Kg

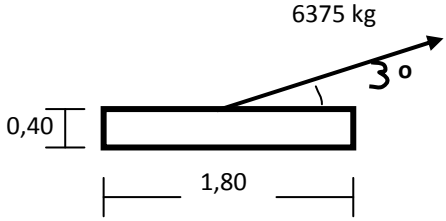
P = 1350 + (2 x 6375x sen 8°)= 3 124 Kg

V = Va + 2 Vc = 189 + (2 x 6375 x sen 3°) = 856 Kg

P'c = 3 124 / 3 = 1 041 Kg

Pc = P'c + V = 1 041 + 846 = 1 897 Kg

Vol = Kg 1 897 / (2 500 – 1 000) Kg/mc = 1,265 mc



da cui:

- ***Peso del corpo morto***

P = 1,265 x 2 500 = 3 152,5 Kg

Per ragioni di ordine costruttivo si impiegano corpi morti delle dimensioni di m 1,80 x 1,80 x 0,40, pari a 3,24 tonn. di peso.

----oOo----