

Regione Sicilia
Assessorato Turismo Trasporti e Comunicazioni
Autorità Portuale di Palermo

P.O.R. Sicilia 2000 - 2006 mis. 4.20
Convenzione del 12 dicembre 2002 per la realizzazione
del Porto Turistico di S. ERASMO

PORTO DI PALERMO
COMPLETAMENTO DELLE OPERE DI DIFESA
DELLA DARSENA TURISTICA DI S. ERASMO

Contratto di concessione per la progettazione definitiva ed esecutiva -
costruzione - infrastrutturazione - arredo e gestione della darsena turistica

PROGETTO DEFINITIVO
All. f.3 - Verifica sistema di ancoraggio

Palermo: 27 - 02 - 2007

L'impresa:



RESEARCH S.p.A. ENGINEERING

IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:
IL DIRIGENTE DELL' AREA TECNICA
(Ing. Bartolomeo Salvo)

L'AUTORITA' PORTUALE:

Redatto da:



RESEARCH S.p.A. ENGINEERING



SIGMA S.r.l. INGEGNERIA

Con la collaborazione:

consulenza strutturale
consulenza bati-stratigrafia
consulenza geologica
consulenza geotecnica
impianti tecnologici
sicurezza cantiere
ingegneria marittima
studio impatto ambientale
studio incidenza ambientale

Ing. Achille Orlando
Dott. Giuseppe Di Grigoli
Dott. Oreste Adelfio
Prof. Ing. Calogero Valore
Ing. Mario Scaduto
Ing. Giuseppe Marineo
SIGMA s.r.l. INGEGNERIA
SIGMA s.r.l. INGEGNERIA
C.I.S.A.C. Università degli Studi di Palermo



1. Premessa

Tra le opere previste nel progetto di “*completamento delle opere di difesa della darsena turistica di S. Erasmo*” è compresa l’installazione, nello specchio liquido ridossato dalle opere foranee, di pontili galleggianti a servizio della nautica da diporto.

Per il dimensionamento e la verifica del sistema di ancoraggio dei pontili galleggianti destinati all’ormeggio di unità da diporto previsti in progetto, si è fatto riferimento ai risultati dello studio idraulico marittimo e dello studio della penetrazione del moto ondoso (vedi All. c.1 e c.2 al progetto definitivo) di cui, di seguito, si espongono in breve i contenuti.

Lo studio idraulico marittimo è stato redatto in assenza di misure dirette di dati ondametrici e pertanto, per la valutazione delle caratteristiche ondametriche al largo del paraggio di Palermo – s. Erasmo, è stato necessario ricorrere a una elaborazione statistica dei dati anemometrici disponibili, rilevati dall’Aeronautica Militare nella stazione di Ustica, che, tra quelle disponibili, ben rappresenta le condizioni climatiche del tratto di mare considerato.

L’elaborazione statistica dei dati del vento rilevati ha consentito di valutare le durate del vento, per le direzioni principali di provenienza, in funzione del tempo di ritorno, ottenendo le Curve del Vento provenienti dalle direzioni principali N, NE, E, SE, S, SW, W e NW per tempi di ritorno da 3 a 100 anni.

Sulla scorta dei dati anemometrici è stato espletato, con l’ausilio di opportuni modelli matematici, lo studio della previsione del moto ondoso al largo per le diverse direzioni di provenienza considerate, tenendo conto dei fetches effettivi ricavati dall’elaborazione del diagramma delle distanze di mare libero.

Per la previsione del moto ondoso al largo si è utilizzato il metodo di Sverdrup-Munk e Bretshneider con il quale è stato possibile ricavare l’altezza e il periodo significativo per ogni prefissata terna di valori del fetch F, della velocità e della durata t del vento, in funzione del tempo di ritorno.

Si sono considerate le direzioni: 337,50° N, 360,00° N, 22,50° N, 45,00° N e 67,50° ed i relativi fetches: per ognuna di esse si è fatto variare il tempo di ritorno, da 3 a 100 anni, per 8 classi di velocità del vento, da 30 a 100 nodi.

Per le direzioni di cui sopra si sono determinati i valori dell'altezza d'onda significativa $H_{1/3}$ e i periodi corrispondenti, cioè del valore medio delle altezze possedute dal terzo delle onde più alte.

In particolare lo studio della previsione al largo ha evidenziato che il paraggio in esame può essere investito da mareggiate, che per un intervallo di ricorrenza di 100 anni, hanno i seguenti valori massimi: $H = 11.51$ m e $T = 13.40$ s (proveniente da una direzione al largo di 360.00 °N), mentre le onde aventi tempo di ritorno pari a 50 anni si modificano come di seguito: $H = 12.72$ m e $T = 10.31$ s provenienti da 337.50 °N.

Per un tempo di ritorno di 30 anni l'altezza d'onda si riduce a 11.29 m ed il periodo a 13.26 s, con direzione di provenienza sempre di 360.0°N.

Per un intervallo di ricorrenza pari a 10 anni si ha un valore dell'altezza d'onda pari a 8.08 m ($T = 11.25$ s) per la direzione di 360.0°N.

Ed infine per un tempo di ritorno di 5 anni si ha un'altezza d'onda di 6.15 m con periodo di 9.82 s.

Successivamente si sono valutate le trasformazioni che le onde subiscono avanzando dal largo verso riva con lo studio dei fenomeni della rifrazione e del frangimento, che ha consentito di verificare in che modo le onde con determinato tempo di ritorno arrivano sulle opere foranee.

A tal fine è stato applicato il modello numerico STWAVE (Steady-State Spectral Wave Model). Come dati di input per il modello STWAVE (rifrazione, frangimento ed effetti di shoaling) si sono considerate mareggiate con tempi di ritorno di 5, 10, 30, 50 e 100 anni facendo riferimento ai risultati dello studio meteomarinario di cui sopra.

Si è, quindi, considerato un punto di osservazione al largo del paraggio in esame nel quale sono state ricavate le caratteristiche ondose sottocosta (altezza e direzione sottocosta).

I valori di output del modello STWAVE, nel punto considerato, sono di seguito riassunti nella seguente tabella:

S.ERASMO – MODELLO STWAVE					
DATI DI INPUT			DATI DI OUTPUT		tr [anni]
DD al largo [gradi]	H al largo [metri]	T [s]	H sotto costa [m]	DD sottocosta [gradi]	
337.50	4.62	8.51	2.23	350.50	5
360.00	6.15	9.82	5.59	12.00	
22.50	5.00	8.88	4.72	26.00	
45.00	4.30	8.27	4.02	44.00	
67.50	3.71	7.66	3.37	63.00	
337.50	5.73	9.46	2.65	349.5	10
360.00	8.08	11.25	7.47	13.00	
22.50	6.43	10.05	6.14	27.00	
45.00	5.39	9.23	5.06	44.00	
67.50	4.34	8.30	3.90	62.00	
337.50	7.62	10.92	3.30	347.50	30
360.00	11.29	13.26	10.39	15.00	
22.50	8.41	11.50	8.22	27.00	
45.00	6.75	10.31	6.41	43.00	
67.50	5.47	9.30	4.88	60.00	
337.50	8.60	11.55	3.63	346.50	50
360.00	11.51	13.40	10.40	15.00	
22.50	9.72	12.33	9.43	27.00	
45.00	7.95	11.16	7.72	40.00	
67.50	6.62	10.21	5.67	56.00	
337.50	8.80	11.69	3.69	346.50	100
360.00	11.51	13.40	10.40	15.00	
22.50	11.03	13.10	10.42	29.00	
45.00	7.96	10.98	7.64	43.00	
67.50	6.62	10.21	5.93	59.00	

I risultati dello studio del moto ondoso sottocosta, hanno consentito di determinare le altezze d'onda, periodi e direzioni sottocosta da utilizzare come dati di input per il modello numerico CGWAVE (Coastal Wave Prediction Model), per la determinazione dello stato di agitazione residua all'interno dello specchio liquido ridossato dalle opere foranee in progetto e quindi procedere al dimensionamento e alla verifica degli ancoraggi dei pontili galleggianti.

In particolare i risultati ottenuti per la configurazione di progetto, valutati in n. 8 punti all'interno dello specchio liquido protetto per tr=10 anni, sono riassunti nella tabella di seguito riportata:

S. ERASMO - PROGETTO - tr = 10 anni				
DD al largo [gradi]	DD sotto costa [gradi]	H sotto costa [m]	H residua [m]	STAZIONE
337.50	349.50	2.65	0.01	1
			0.03	2
			0.02	3
			0.03	4
			0.06	5
			0.02	6
			0.01	7
			0.14	8
360.00	13.00	7.47	0.08	1
			0.34	2
			0.16	3
			0.23	4
			0.41	5
			0.53	6
			0.12	7
			0.43	8
22.50	27.00	6.14	0.05	1
			0.25	2
			0.07	3
			0.16	4
			0.27	5
			0.09	6
			0.06	7
			0.25	8
45.00	44.00	5.06	0.03	1
			0.16	2
			0.12	3
			0.20	4
			0.43	5
			0.24	6
			0.08	7
			1.03	8
67.50	62.00	3.90	0.06	1
			0.13	2
			0.11	3
			0.15	4
			0.17	5
			0.12	6
			0.13	7
			0.34	8

2 – Valutazione delle forzanti dovute al moto ondoso e verifica degli ancoraggi

A partire dai risultati ottenuti con lo studio della diffrazione, si è proceduto al dimensionamento e verifica del sistema di ancoraggio dei pontili galleggianti destinati all'ormeggio di unità da diporto previsti in progetto.

Nella **fig. 2**, sono riportate le zone A, B e C nelle quali è stata calcolata l'altezza d'onda di progetto per il calcolo del sistema di ancoraggio dei pontili.

In particolare, dai risultati dello studio delle agitazioni interne, risulta che i valori più gravosi dell'altezza d'onda nel sito in esame, per le condizioni ondometriche considerate, sono i seguenti:

- Zona A: $H=0.55$ m ($T=11.25$ s);
- Zona B: $H=0.35$ m ($T=11.25$ s);
- Zona C: $H=1.03$ m ($T=9.23$ s).

Oltre all'azione delle onde sulle unità galleggianti si è considerata anche quella dovuta al vento.

In particolare, di seguito, si riporta una tabella delle equivalenze anemometriche relative alla scala del vento dell'Ammiraglio Beaufort:

SCALA DEL VENTO DELL'AMMIRAGLIO BEAUFORT				
Forza del vento in gradi Beaufort	Denominazione del vento	Velocità del vento		
		Nodi	Km/h	m/sec
0	Calma	< 1	< 1	> 0,2
1	Bava di vento	1 - 3	1-5	0,3-1,5
2	Brezza leggera	4 - 6	6-11	1,6-3,3
3	Brezza tesa	7 - 10	12-19	3,4-5,4
4	Vento moderato	11 - 16	20-28	5,5-7,9
5	Vento teso	17 - 21	29-38	8,0-10,7
6	Vento fresco	22 - 27	39-49	10,8-13,8
7	Vento forte	28 - 33	50-61	13,9-17,1
8	Burrasca	34 - 40	62-74	17,2-20,7
9	Burrasca forte	41 - 47	75-88	20,8-24,4
10	Tempesta	48 - 55	89-102	24,5-28,4
11	Tempesta violenta	56 - 63	103-117	28,5-32,6
12	Uragano	> 64	< 118	>32,7

Il valore di velocità del vento considerato nelle verifiche è pari a $v=26$ m/s \cong 30 nodi, corrispondente, nella scala Beaufort, a forza del vento pari a 10.

PONTILI DA DIPORTO (m. 11,50*2,50) - ZONA A

La forza dovuta al vento si può calcolare con la formula:

$$F = 0.72 E D S V^2 \quad (1)$$

dove:

E = area della sezione trasversale della parte emergente dell'imbarcazione (m²);

D = Fattore adimensionale di direzione (*fig. 2.1*);

S = Fattore adimensionale di schermo (*fig. 2.1*);

V = velocità del vento (m/s).

L'azione delle onde sulle unità galleggianti si può calcolare con la formula:

$$F_{\max} = C_m \frac{\sinh(2\pi \frac{h}{L}) - \sinh(2\pi \frac{h-d}{L})}{\cosh(2\pi \frac{h}{L})} \cdot \frac{\pi \cos \alpha}{8} D^2 W_0 H \quad (2)$$

dove:

F_{max} = massimo valore dell'azione dell'onda (t);

C_m = coefficiente di forza inerziale;

h = profondità (m);

d = pescaggio (m);

D = larghezza del pontile nella direzione di attacco dell'onda (m);

W₀ = peso specifico dell'acqua (t/m³);

α = angolo di incidenza dell'onda (gradi);

L = lunghezza dell'onda incidente alla profondità h (m);

H = altezza dell'onda incidente (m).

Per un modulo della lunghezza di 11,50 m e della larghezza di 2,50 m, disposto sulla prima fila di pontili lato mare, su cui si può ipotizzare l'ancoraggio di tre imbarcazioni per lato, considerando un'imbarcazione di 8 m di lunghezza, dalla (1) si ottiene:

$$F = 6571 \text{ N}$$

con $E = 3.00 \text{ m}^2$, $D = 1$, $S = 1-0.5$.

Dalla (2) si ottiene:

$$F_{\max} = 1,19 \text{ t}$$

con h pari a circa 3.50 m , $d = 0.25 \text{ m}$, $D = 11.50 \text{ m}$, $H = 0,55 \text{ m}$ e $L_{3.5\text{m}} = 66,00 \text{ m}$.

Sommando le due aliquote risulta una forza pari a circa $F_{\text{tot}} = 1.85 \text{ t}$ sull'unità galleggiante sottoposta alle condizioni suddette. La forza agente su ciascuna linea di ormeggio è pari a $F' = F_{\text{tot}}/2 = 0.92 \text{ t}$.

Tenuto conto che ogni modulo della lunghezza di $11,50 \text{ m}$ è ancorato a quattro blocchi, di cui in forza soltanto quelli sopravento, per la verifica allo scorrimento dei blocchi di ancoraggio il valore della forza di trascinamento non deve superare il peso del blocco per un coefficiente di sicurezza. Nel caso in esame, per la verifica allo scorrimento del blocco in c.a. si deve avere:

$$\frac{\mu R_v}{R_0} \leq Sf$$

con:

R_v = Risultante delle forze verticali agenti sul blocco in cls;

R_0 = Risultante delle forze orizzontali agenti sul blocco in cls;

Sf = fattore di sicurezza relativo all'ancoraggio con blocco in cls;

μ = coefficiente di attrito

Il tiro T sulla cima di ancoraggio si può calcolare come segue :

$$T = F' / \cos \theta$$

dove θ è l'angolo tra la cima di ancoraggio ed il fondo che si è posto pari a circa 20° .

Il peso del blocco di ancoraggio in calcestruzzo, in acqua W_w , vale quindi:

$$W_w = Sf/\mu * T \cos \theta + T \sin \theta$$

Con $Sf = 1,2$ e stimando μ pari a $0,60$.

Si ottiene:

$$T = 1,0 \text{ t}$$

$$W_w = 2,24 \text{ t}$$

Volendo, infine, valutare per ciascuna linea di ormeggio il peso del blocco fuori acqua W_a si ottiene, con $\gamma_c = 2,30 \text{ t/mc}$ e $\gamma_w 1,03 \text{ t/mc}$, $\gamma_c/\gamma_c-\gamma_w = 1,8$

$$W_a = 4.0 \text{ t}$$

Per ciascuna linea di ormeggio del modulo galleggiante si utilizzeranno, quindi, n. 2 corpi morti dal peso fuori acqua pari a 2.0 t ciascuno.

Dalla **tab 2.1** si evince che il carico a rottura per una catena avente calibro $\phi = 14 \text{ mm}$ e peso a metro lineare pari a 4.31 Kg/m risulta pari a :

$$Q = 7.82 \text{ t}$$

Il tiro ammissibile è dato da Q/n , con n coefficiente di sicurezza posto prudenzialmente pari a 3.

Si ha:

$$\frac{Q}{n} = \frac{7,82}{3} = 2,60 \text{ t}$$

Poiché il tiro è pari a $T = 1.0 \text{ t}$, ed essendo $Q/n > T$, la verifica del calibro della catena è soddisfatta con un coefficiente di sicurezza pari a $n=3$.

Quindi ciascuna unità galleggiante sarà ancorata mediante catene $\Phi 14 \text{ mm}$, a n. 4 blocchi in c.a. dal peso fuori acqua pari a 2.0 t ciascuno collegati con una catena di fondo $\Phi 20 \text{ mm}$.

ZONA B

Per un modulo della lunghezza di 11,50 m e della larghezza di 2,50 m, disposto sulla prima fila di pontili lato mare, su cui si può ipotizzare l'ancoraggio di tre imbarcazioni, dalla (1) si ottiene (con h pari a 3.50 m, d = 0.25 m, D = 11.50 m, H = 0,350 m e $L_{3.5m} = 66,00 \text{ m}$):

$$T = 0,8 \text{ t}$$

$$W_w = 1.67 \text{ t}$$

Volendo, infine, valutare il peso del blocco fuori acqua W_a si ottiene

$$W_a = 3 \text{ t}$$

Quindi ciascuna unità galleggiante sarà ancorata mediante catene $\Phi 14 \text{ mm}$, a n. 4 blocchi in c.a. dal peso fuori acqua pari a 1.5 t ciascuno collegati con una catena di fondo $\Phi 20 \text{ mm}$.

ZONA C

Per un modulo della lunghezza di 11,50 m e della larghezza di 2,50 m, disposto sulla prima fila di pontili lato mare, su cui si può ipotizzare l'ancoraggio di tre imbarcazioni per lato, dalla (1) si ottiene (con h pari a circa 3.5 m, d = 0.25 m, D = 11.50 m, H = 1,03 m e $L_{3.5m} = 54,00$ m):

$$T = 1,6 \text{ t}$$

$$W_w = 3.32 \text{ t}$$

Volendo, infine, valutare il peso del blocco fuori acqua W_a si ottiene

$$W_a = 6 \text{ t}$$

Quindi ciascuna unità galleggiante sarà ancorata mediante catene Φ 16 mm, a n. 4 blocchi in c.a. dal peso fuori acqua pari a 3.0 t ciascuno collegati con una catena di fondo Φ 22 mm.

Per quanto riguarda gli ormeggi dei natanti adiacenti alla banchina di riva, allo sporgente centrale e alla diga foranea di sopraflutto, è prevista la posa in opera di corpi morti da 1.5 t a 3 t a seconda delle suddette zone A, B e C posizionati ogni 10 m, collegati da catene di fondo Φ 20 mm e Φ 22 mm.

La disposizione planimetrica delle catene e dei corpi morti è riportata nell'All. d.4.20 al progetto definitivo.

MARE TIRRENO

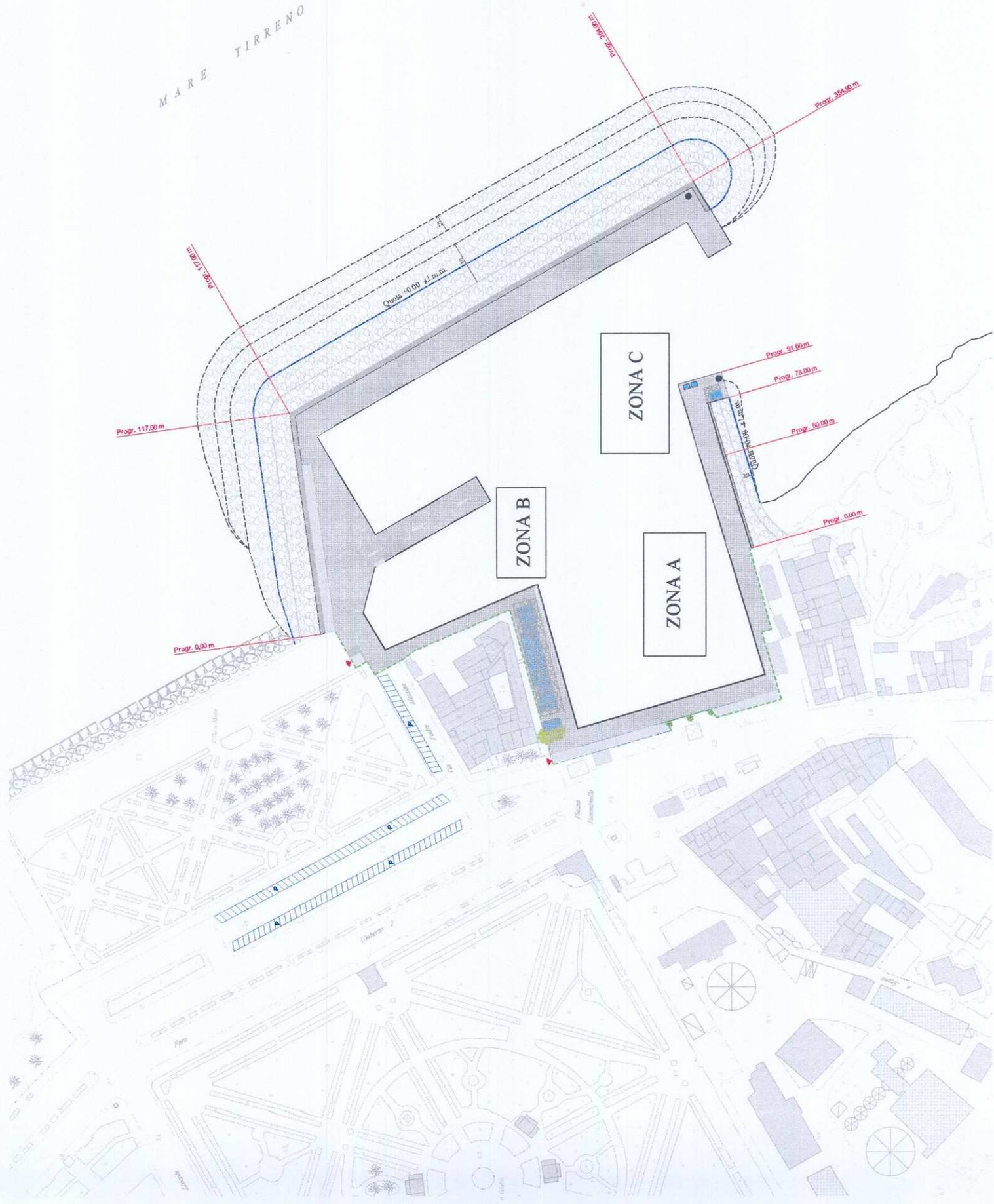


Fig. 2

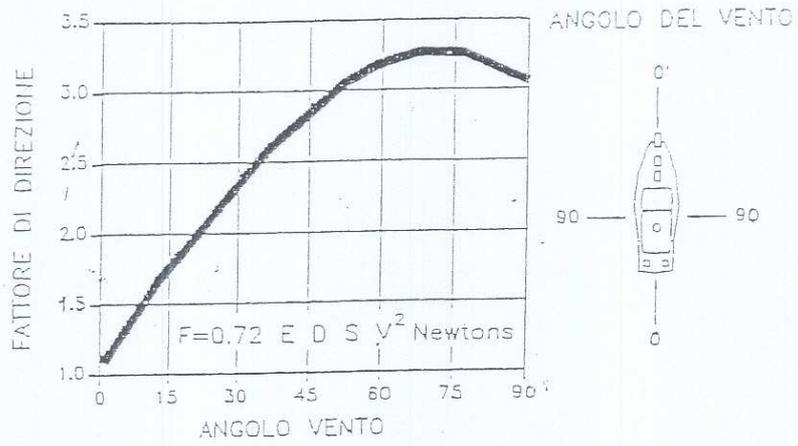


Fig. 2.1

Catena a maglia aperta

CODICE	Ø mm	DIMENSIONI ESTERNE		PROVE REGOLAMENTARI		PESO Kg/mt	LIRE
		LUNGHEZZA mm	LARGHEZZA mm	ROTTURA TONS	TRAZIONE TONS		
8500CAT04	4	20	15	0.105	0.6	0.300	
8500CAT05	5	25	17	0.35	1	0.450	
8500CAT06	6	20	30	0.49	1.4	0.650	
8500CAT07	7	24	35	0.63	1.8	0.890	
8500CAT08	8	27	40	0.88	2.5	1.160	
8500CAT10	10	50	33	3.77	1.87	2.200	
8500CAT11	11	55	36	4.56	2.28	2.660	
8500CAT12	12	60	40	5.42	2.71	3.170	
8500CAT13	13	65	43	6.80	3.46	3.720	
8500CAT14	14	70	46	7.82	4.01	4.310	
8500CAT15	15	75	49	9.13	4.55	4.950	
8500CAT16	16	80	53	9.65	4.83	5.650	
8500CAT17	17	85	56	10.85	5.43	6.350	
8500CAT18	18	90	59	12.96	6.46	7.150	
8500CAT19	19	95	63	13.61	6.81	7.950	
8500CAT20	20	100	66	15.10	7.56	8.800	
8500CAT21	21	105	69	17.45	8.73	9.700	
8500CAT22	22	110	72	18.25	9.12	10.650	
8500CAT23	23	150	76	19.93	9.96	11.650	
8500CAT24	24	120	79	21.72	10.85	12.650	
8500CAT25	25	125	82	23.55	11.77	13.750	
8500CAT26	26	135	86	26.51	13.26	14.870	
8500CAT28	28	140	95	29.55	14.25	17.250	
8500CAT30	30	150	99	33.93	16.96	19.800	
8500CAT32	32	160	106	38.61	19.90	22.530	
8500CAT34	34	170	112	43.55	21.78	25.430	
8500CAT36	36	180	119	48.82	24.41	28.500	
8500CAT38	38	190	126	54.44	27.22	32.000	
8500CAT40	40	200	132	60.32	30.16	35.200	
8500CAT42	42	210	139	66.51	33.26	38.810	
8500CAT44	44	220	146	72.99	36.50	42.590	
8500CAT46	46	230	152	79.76	39.88	46.550	
8500CAT48	48	240	158	86.86	43.43	50.690	
8500CAT50	50	250	165	94.24	47.12	55.000	

Tab. 2.2