

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO ALTERNATIVE AI SITI DI DEPOSITO

(Richieste CTVA del 22/12/2011 Prot. CTVA/2011/4534 e del 16/03/2012 Prot. CTVA/2012/1012)

EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A.

SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A.

COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L.

SACYR S.A.U.

ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD

A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE

IL PROGETTISTA

 SIGMA INGEGNERIA s.r.l.
Via della Libertà 201/A
90143 PALERMO
Tel. 091 8554742 - Fax 091 8570750
e-mail: sigmaingn@gmail.com
Ing. Fausto Giordano Direttore Tecnico

(Dott. Ing. F. Giordano)



Ing. E. Pagani
Ordine Ing. Milano n°15408

IL CONTRAENTE GENERALE
PROJECT MANAGER
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA
Direttore Generale
Ing. G. Fiammenghi

STRETTO DI MESSINA
Amministratore Delegato
Dott. P. Ciucci

Firmato digitalmente ai sensi dell' "Art.21 del D.Lgs. 82/2005"

CZV0997_F0

Unità Funzionale COLLEGAMENTI VERSANTE SICILIA
Tipo di sistema CANTIERI
Raggruppamento di opere/attività RIPASCIMENTO
Opera - tratto d'opera - parte d'opera OPERE DI CANTIERIZZAZIONE
Titolo del documento AZIONI DEL MOTO ONDOSI

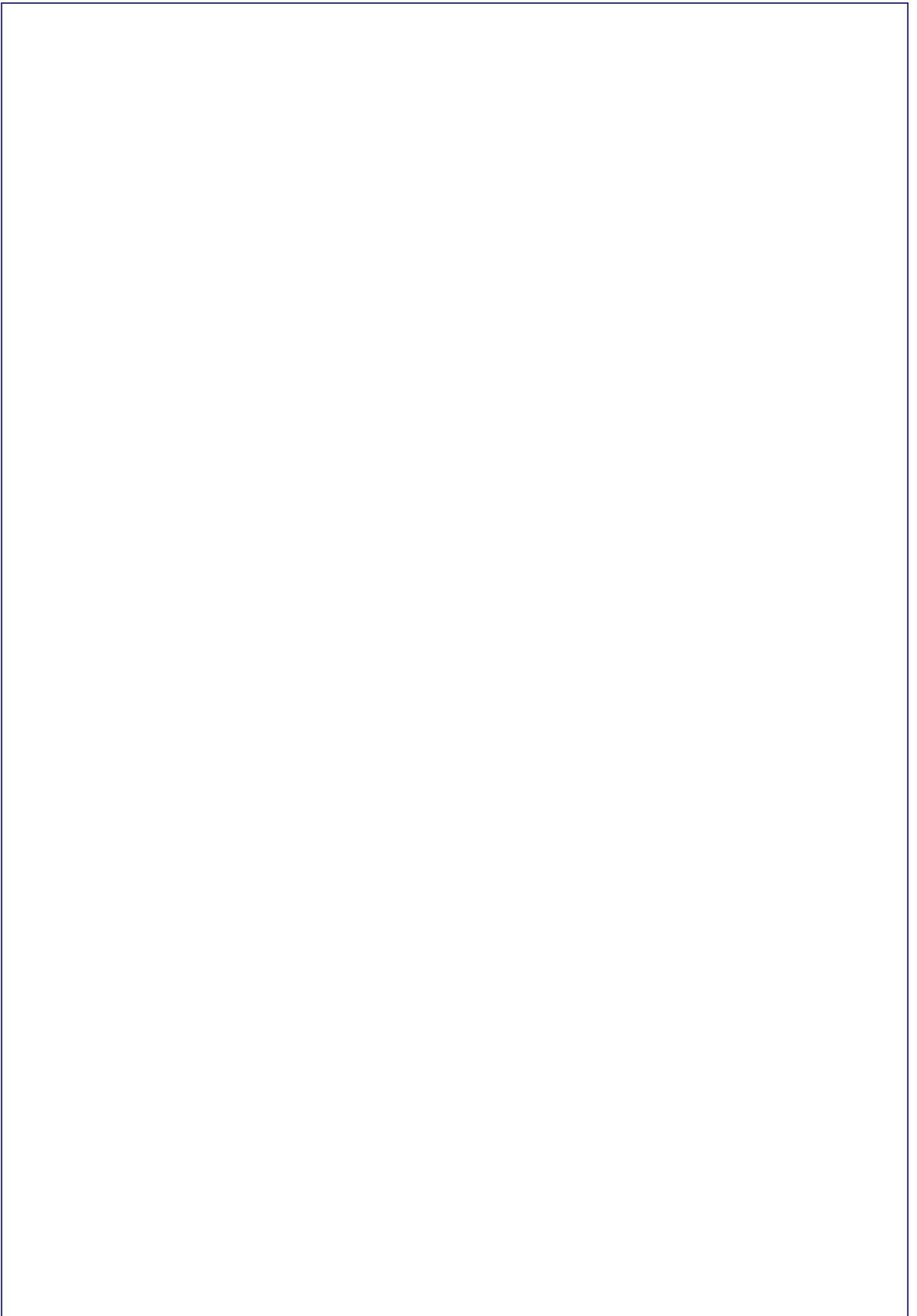
CODICE

C G 0 0 0 0 P R X V S C Z C 3 G O 0 0 0 0 0 0 0 7 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	31/05/2012	EMISSIONE FINALE	R. RIGOGLIOSO	F. GIORDANO	F. GIORDANO

NOME DEL FILE: CZV0924_F0

revisione interna: __



1 DETERMINAZIONE DELLE FORZANTI INDOTTE DAL MOTO ONDOSI SUI PALI

1.1 – Determinazione delle altezze d’onda di progetto

Secondo le “Istruzioni tecniche per la progettazione delle dighe marittime”, il tempo di ritorno di progetto dell’opera T_r può essere determinato utilizzando la seguente relazione:

$$T_r = \frac{T_v}{-Ln(1 - P_f)} \quad (1.1)$$

Dove con T_v si indica il tempo di vita dell’opera calcolato in relazione alle caratteristiche funzionali ed al livello di sicurezza richiesto, mentre con P_f il livello massimo di danneggiamento ammissibile. In riferimento alle su citate istruzioni i valori di T_v e P_f sono determinabili dalle tabelle di seguito riportate:

Tipo dell’opera	Livello di sicurezza richiesto		
	1	2	3
	Vita di progetto in anni		
Infrastrutture di uso generale	25	50	100
Infrastrutture ad uso specifico	15	25	50

Tabella I – Durata minima di vita per opere o strutture di carattere definitivo (T_v)

Danneggiamento incipiente	Rischio per la vita umana	
Ripercussione economica	Limitato	Elevato
Bassa	0,50	0,30
Media	0,30	0,20
Alta	0,25	0,15

Tabella II – Massima probabilità di danneggiamento ammissibile nel periodo di vita operativa della struttura (P_f)

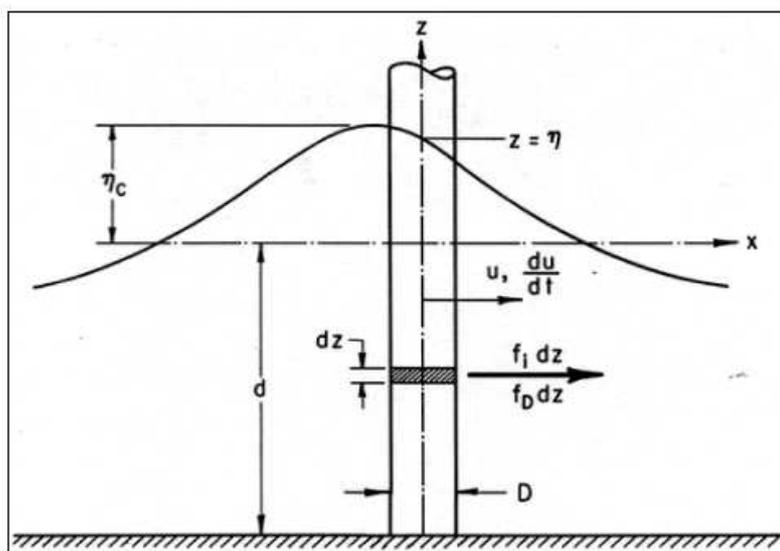
Considerando che la struttura abbia un uso specifico con livello di sicurezza pari a 3 (tempo di vita di progetto dell'opera $T_v = 50$ anni), e nel caso di collasso, abbia una ripercussione economica bassa ed un danno per la vita umana limitato (livello massimo di danneggiamento ammissibile $P_f = 0,5$), la formula fornisce un tempo di ritorno di circa 72 anni; per cui si è scelto di considerare, a favore della sicurezza, per il progetto e la verifica delle opere, un tempo di ritorno di 100 anni.

Per la determinazione delle forzanti indotte dal moto ondoso sui pali del pontile a giorno previsto in progetto, si sono assunte, come onde di progetto, quelle desunte dallo studio idraulico marittimo redatto dall'Università di Catania.

I risultati di tale studio, per il tempo di ritorno di 100 anni, hanno portato alla determinazione del valore di altezza d'onda, in un punto posto in prossimità della testata del pontile in progetto, pari a 4.81 m, periodo $T=11.80$ s per la direzione di attacco del moto ondoso al largo di 292.50 N che diventa sottocosta dir= 3 15.20 N.

1.2 – Determinazione delle forzanti sui pali dovute al moto ondoso

Il modello matematico utilizzato per il calcolo delle forzanti sui pali per effetto del moto ondoso, fa riferimento alla teoria del Morison in base alla quale si calcola la forza che si esercita sul palo per unità di lunghezza assumendo che l'azione idrodinamica nel moto ondoso possa esprimersi con la stessa legge di quella delle correnti unidirezionali; ritenendo, inoltre, trascurabile l'effetto distorcente della diffrazione intorno al palo, la forza che si esercita localmente sulla parete del palo cilindrico è dipendente dai valori di velocità ed accelerazione del campo idrodinamico non perturbato dalla sua stessa presenza.



Sotto tali ipotesi esemplificative, l'espressione che esprime il valore della forzante sul palo è la seguente:

$$f = f_i + f_d = \rho \cdot C_m \frac{\pi D^2}{4} \frac{du}{dt} + \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot D \cdot \rho \cdot u^2$$

dove:

f_i = forza di inerzia per unità di lunghezza del palo;

f_d = forza di trascinamento per unità di lunghezza del palo;

ρ = densità dell'acqua;

D = diametro del palo

u = componente orizzontale della velocità della particella d'acqua dell'asse del palo;

du/dt = componente orizzontale dell'accelerazione;

C_m = coefficiente di massa aggiuntiva;

C_d = coefficiente di trascinamento;

L'espressione predetta è applicabile solo se risulta, come in questo caso:

$$D/L < 0.05$$

con L lunghezza d'onda secondo la teoria di Airy.

L'azione massima esercitata sul palo di testata dal moto ondoso (FM) ed il momento rispetto alla quota del fondo marino (MM), determinati secondo la teoria di Morison, sono forniti dalle seguenti relazioni:

$$F_M = \phi_M \cdot \rho \cdot C_D \cdot H^2 \cdot D$$

$$M_M = \alpha_M \cdot \rho \cdot C_D \cdot H^2 \cdot D \cdot d$$

nelle quali:

ϕ_M e α_M sono due coefficienti i cui valori sono ricavabili da appositi diagrammi in funzione dei rapporti d/gT_p^2 , H/gT_p^2 e $W=CM D/CDH$ (**figg. da 1 a 8 – ALL. A**);

C_D e C_M sono due coefficienti adimensionali variabili in funzione del numero di Reynolds (**fig. 9 – ALL. A**);

ρ è la densità dell'acqua marina 1.03 t/mc;

D è il diametro del palo;

d è la profondità in m al piede del palo al quale si riferiscono i calcoli;

g è l'accelerazione di gravità (m/s²);

T_p è il periodo di picco del moto ondoso di progetto

Il numero di Reynolds (Re) è fornito dalla relazione $Re = u \cdot D / \nu$ nella quale: u è la velocità massima della particella idrica = $\pi H / T_p \cdot L_o / L_A$ (teoria lineare di Airy);

L_o = lunghezza d'onda in acqua profonda = $g T_p^2 / 2\pi$;

L_A = lunghezza d'onda in corrispondenza del fondale dove si calcola la spinta dell'onda;

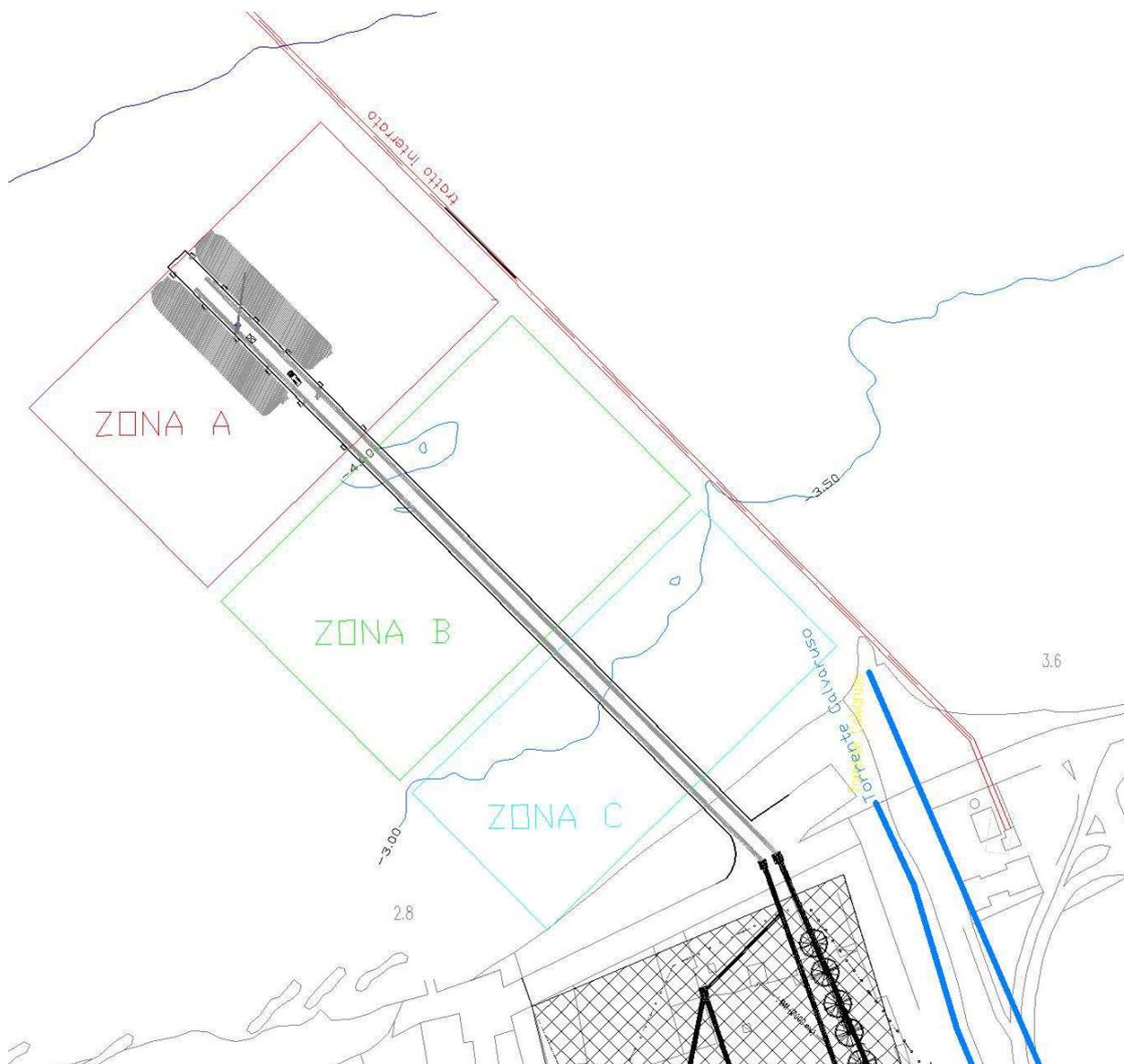
ν = viscosità cinematica = $9.29 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$.

Per la determinazione delle forzanti sui pali, il Coastal Engineering Manual (CEM) – U.S. Army Corps of Engineers raccomanda l'utilizzo, come onda di progetto (H), dell'altezza d'onda al frangimento (H_f) ridotta di circa $\frac{3}{4}$ ovvero: $H = \frac{3}{4} H_f$.

Come valore di altezza d'onda è stato considerato, come già riportato nel precedente paragrafo, quello ricavato dallo studio idraulico-marittimo espletato dall'Università di Catania:

$$H = 4.81 \text{ m} - \text{periodo } T = 11.80 \text{ s} - \text{Dirlargo} = 292.50 \text{ N} - \text{Dirisottocosta} = 315.20 \text{ N}.$$

In particolare, il pontile è stato suddiviso in tre zone (denominate A,B e C) indicate nella seguente figura:



Considerato che il valore di altezza d'onda sopra riportato risulta limitato dai fondali, sono state individuate, alle profondità di -5.00 m e -3.50 m sotto l.m.m., le altezze d'onda da considerare per le zone B e C ($H=0.64*d$ – con d profondità del fondale).

In definitiva si ha:

ZONA A – $H=4.81$ m – profondità al piede dei pali -11.00 m sotto l.m.m

ZONA B – $H=3.90$ m – profondità al piede dei pali -5.00 m sotto l.m.m

ZONA C – $H=2.73$ m – profondità al piede dei pali -3.50 m sotto l.m.m

Tali altezze d'onda, sono state, quindi, utilizzate per i calcoli relativi a file di pali posti nelle immediate vicinanze dei punti considerati.

Il metodo basato sulla teoria di Morison per il calcolo della forza esercitata dal moto ondoso sul singolo palo è valido anche per il calcolo della forza che si esercita su un gruppo di pali,

connessi da una sovrastruttura posta al di sopra del livello d'acqua indisturbato, purché venga soddisfatta una condizione, ovvero che i pali risultino sufficientemente distanziati in modo tale che il flusso del moto ondoso intorno ad ogni singolo palo non influenzi quello dei pali adiacenti. Pertanto, considerando pali aventi diametro di 1.20 m, si ricavano, seguendo il procedimento sopra descritto, i valori di azione massima esercitata sul palo dal moto ondoso (FM) ed il relativo momento (MM) rispetto alla quota del fondo marino.

Tali valori sono stati moltiplicati per un fattore di sicurezza pari a 1,5 così come raccomandato nel Coastal Engineering Manual (CEM) – Parte VI – U.S. Army Corps of Engineers, di cui si riporta un estratto nell' **ALL. B** (vedi paragrafo d – “Safety factors in pile design”):

Infatti, tale coefficiente di sicurezza è raccomandato nel caso del calcolo di forze e momenti sui pali in cui si utilizzino altezze d'onda di progetto aventi bassa probabilità di accadimento, come nel caso in esame ($t_r=100$ anni).

Come si evince, infatti, dal calcolo eseguito nel paragr. 1.1 relativamente al tempo di ritorno di progetto dell'opera T_r , in funzione del tempo di vita di progetto dell'opera (T_v), dell'uso specifico con determinato livello di sicurezza, della ripercussione economica e del danno per la vita umana, si è ricavato, a favore della sicurezza, il tempo di ritorno di progetto pari a $t_r=100$ anni.

Qualora, al contrario, si considerassero altezze d'onda di progetto aventi elevata probabilità di accadimento (tempi di ritorno brevi), il Coastal Engineering Manual raccomanda un coefficiente di sicurezza pari a 2 .

Il calcolo è stato eseguito per le direzioni del moto ondoso provenienti IV quadrante (direzione al largo $292,5^\circ$ - dir. sottocosta $315,2^\circ$ N) ovvero per la direzione per la quale, nelle tre zone considerate considerati, si sono riscontrati i valori di altezza d'onda maggiori.

Di seguito, quindi, sono riportati i valori delle forze e dei momenti sui pali considerati, posti a diverse profondità e soggetti ad altezze d'onda per tempo di ritorno di progetto pari a $t_r=100$ anni, incrementati del coefficiente di sicurezza pari a 1.5:

CALCOLO FORZANTI MOTO ONDOSO - PALI										
	Φ	H	DD al largo	T	DD sottocosta	d (profondità al piede)	F_M (*1,5)	M_M	r	t_r
	(mm)	(m)	(gradi)	(s)	(gradi -N)	(m)	(t)	(t*m)	(M)	(anni)
PALI ZONA A	1200	4.81	292.5	11	315.2	11.00	8.62	74.03	8.59	100
PALI ZONA B	1200	3.9	292.5	11	315.2	5.00	8.40	36.79	4.38	

PALI										
ZONA C	1200	2.73	292.5	11	315.2	3.50	4.36	5.82	1.33	

In tal caso, essendo la sovrastruttura di collegamento dei pali collocata al di sopra della massima cresta dell'onda (η_{max}) per assegnato tempo di ritorno, la stessa risulta soggetta a forze trascurabili.