

# COMUNE DI SANTA MARINA SALINA

(MESSINA)

## FATTIBILITA', AGGIORNAMENTO E MODIFICA DEL PIANO REGOLATORE DEL PORTO

E copia conforme a quello adottato con delibera  
consiliare n. 46 del 19-4-1985 approvata dalla  
C.P.C. nella seduta del 27-6-1985 n. 4464/4356 pr. 8.  
S. Marina Salina, 25-3-1986

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

All. 7.1 - Studio della banchina antiriflettente.  
Relazione.

Palermo,

6 FEB. 1985

REGIONE SICILIANA

ASSESSORATO DEL TERRITORIO E DELL'AMBIENTE

CONSIGLIO REGIONALE DELL'URBANISTICA

VISTO: CON RIFERIMENTO AL PROPRIO VOTO

N. 821 del 28-11-86

IL SEGRETARIO

Redatto da:

Ing. M. Napolitano

IL SINDACO



REGIONE SICILIANA

Assessorato del Territorio e dell'Ambiente

IL PRESENTE DOCUMENTO COSTITUISCE ALLEGATO

AL D. A. N. 606/87 DEL 17/4/87

L'ASSESSORE



LE BANCHE ANTIRIFLETTENTI

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





INDICE DELLA RELAZIONE

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





1 - IL PRINCIPIO INFORMATORE DELL'OPERA	Pag. 2
2 - IL MODELLO MATEMATICO DEL CASSONE PERFORATO	" 6
3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	" 16

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





## 1 - IL PRINCIPIO INFORMATORE DELL'OPERA

La struttura proposta consiste in un cassone di calcestruzzo armato le cui celle sono connesse fra loro mediante opportuni fori praticati nelle nervature (Cassoni tipo Jarlan (\*)). La serie di celle che guarda dalla parte del mare viene con questo messa in comunica zione per mezzo di ulteriori fori praticati nella pare te laterale del cassone.

Solo alcune delle celle vengono riempite di calcestruzzo; la rimanente parte di volume disponibile viene, pertanto, occupata dall'acqua.

Una struttura del tipo suddetto comporta una no tevole dissipazione dell'energia dell'onda di modo che i suoi effetti risultano più simili a quelli di una scogliera che non di una parete verticale.

Si evitano cioè quei fenomeni di riflessione pres soché totali del moto ondoso che, come è noto, possono dar luogo a notevoli inconvenienti sia alle navi in ma

---

(\*) JARLAN G.E.: "A perforated vertical wall breakwater".  
The Dock and Harbour Aucturity, 1961.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

Q



novra sia alle altre strutture limitrofe.

L'efficienza delle strutture perforate del tipo proposto dipende principalmente dai seguenti fattori geometrici del cassone:

- a) rapporto fra l'area dei fori praticati sulla parete verticale esterna e l'intera area della parete stessa.
- b) la profondità delle camere perforate
- c) la larghezza delle celle vuote

Risulta invece di secondaria importanza la forma dei fori.

Giocando sui suddetti fattori, in funzione delle caratteristiche dell'onda di progetto, è possibile appunto prevedere l'aliquota di energia dissipata.

L'energia dell'onda, infatti, viene in parte dissipata subito all'atto dell'impatto per effetto delle perdite di carico che il liquido fluente verso le celle incontra nell'attraversare i fori; e in parte viene trasformata in energia potenziale di posizione per l'accumulo all'interno delle celle stesse.

Tale ultima aliquota verrà anch'essa dissipata in perdite di carico dovute alla strozzatura, nel movimento di riflusso verso il mare.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE



accumulare il materiale al piede dell'opera.

La larghezza caratteristica della cella vuota e le dimensioni dei fori vengono prefissati in funzione delle caratteristiche del moto ondoso di modo che l'opera risulti funzionale in tutto il campo dei previsti valori dell'altezza e del periodo delle onde di fronte all'opera stessa.

La notevole sensibilità dei cassoni forati nei riguardi del periodo dell'onda dipende dal fatto che le celle di smorzamento funzionano da camere di risonanza, caratterizzate pertanto da una propria frequenza ottimale.

La massima attenuazione dell'onda incidente si verifica per periodi dello stesso ordine di grandezza di quello proprio di risonanza della cella.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





## 2 - IL MODELLO MATEMATICO DEL CASSONE PERFORATO

Lo studio teorico del fenomeno di assorbimento dell'onda da parte di superfici porose è stato da tempo affrontato nel caso dell'acustica (Stokes, Kirkoff, Rayleigh), ma solo di recente è stato risolto per il caso di onde liquide gravitazionali (\*).

L'esame teorico rigoroso del fenomeno risulta complicato dall'influenza che i getti provenienti dai fori hanno nei confronti del liquido nell'interno della camera.

Allo stato attuale esistono due modelli matematici per lo studio del funzionamento di un frangiflutto impermeabile.

Ad entrambi è comune la valutazione del coefficiente di riflessione e delle altre caratteristiche idrodinamiche attraverso un bilancio energetico tra il moto ondoso che si stabilisce in prossimità della parete forata ed il moto di oscillazione che si desta all'interno del cassone.

-----  
(\* ) JARLAN G.E., STEVENSON C.A.: "Perforated concrete crib" - V IHC, 1964.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



Con il primo modello (\*) si ipotizza la presenza di un moto oscillatorio di tipo ondoso all'interno delle celle ammettendo che, tramite la parete forata, sia consentita la trasmissione del moto senza alterazioni apprezzabili delle sue caratteristiche.

Con l'ausilio del secondo modello (\*\*), il processo di moto viene schematizzato come una oscillazione di massa del tipo di quella presente nei pozzi piezometrici.

Nell'ambito del presente lavoro si adotta per il moto ondoso la teoria del primo ordine (onda di Airy).

Nelle immediate vicinanze della parete forata si genera, pertanto, un clapotis parziale di equazione (Fig. 1):

$$\eta = a_i (1+R) \sin Kt$$

-----  
(\*) TERRET F.I., OSORI J.D.C., LEAN G.H.: "Model studies of a perforated breakwater". Proc. 11<sup>th</sup> Conf. of Coast. Eng., 1968.

(\*\*) RICHEY E.P., SOLLIT C.K.: "Wave attenuation by porous walled breakwater". A.S.C.E., August 1970.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE



dove:

$\eta(t)$  = quota della superficie libera sul medio mare

$a_i$  =  $H_i/2$  semialtezza dell'onda incidente

$R$  = coefficiente di riflessione =  $a_i/a_r$

$a_r$  =  $H_r/2$  semialtezza dell'onda riflessa

$K$  =  $2\pi/T$  = frequenza angolare.

La pressione esercitata sulla parete, al di sotto del l.m.m. varia nel modo seguente:

$$p/\gamma = (h-y) + \frac{ch}{ch} \frac{my}{mh} a_i (1+h) \sin Kt$$

in cui:

$\gamma$  = peso specifico dell'acqua

$h$  = profondità media dell'acqua

$m = 2\pi/L$  numero d'onda.

Nella zona compresa fra il pelo libero e la quota media del mare (A D di Fig. 1) la pressione si ammette variabile con legge idrostatica:

$$p/\gamma = \eta - (y-h)$$

Applicando al volume elementare 1-2-3-4 (Fig. 2)

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE



l'equazione globale dell'equilibrio idrodinamico e proiettando sull'asse  $y$ , si ottiene la seguente equazione, valida in fase ascendente:

$$\frac{\delta p / \gamma}{\delta y} = -1 - \frac{2Q}{g \Sigma^2} \frac{\delta Q}{\delta y} - \frac{1}{\Sigma g} \frac{\delta Q}{\delta t}$$

mentre, in fase discendente, vale l'equazione:

$$\frac{\delta p / \gamma}{\delta y} = -1 - \frac{2Q}{g \Sigma^2} \frac{\delta Q}{\delta y} - \frac{1}{g \Sigma} \frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{Q}{g \Sigma^2} \frac{\delta q}{\delta y}$$

con:

$\Sigma$  = sezione orizzontale del cassone per unità di lunghezza

$$Q = V \Sigma$$

$V$  = velocità delle particelle alla quota  $y$

$dq$  = portata defluente attraverso i fori presenti nella porzione di superficie a quota  $y$  e di spessore  $dy$ .

L'equazione del moto attraverso i fori compresi nel tratto  $0 < y < \alpha$  (fori rigurgitati) nell'ipotesi di liquido perfetto si può scrivere:

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



$$\frac{\delta H}{\delta s} + \frac{1}{g} \frac{\delta V}{\delta t} = 0$$

in cui:

$$H = y + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g}$$

Integrando l'equazione del moto fra i punti 1 e 2 di Fig. 3 e tenendo presente che  $y_1 = y_2$ , si ottiene:

$$p_2/\gamma + \frac{u^2}{2g} - (h-y) - \frac{ch \, my}{ch \, mh} \ddot{a}_i (1+R) \operatorname{sen} Kt + \frac{1}{g} \int_0^{\delta} \frac{v}{t} ds = 0$$

Non si riportano le equazioni relative al campo dei fori non rigurgitati ( $\alpha < y < h$ ) in quanto per le onde di piccola altezza l'intervallo ( $\alpha, y$ ) è piccolo rispetto a quello ( $0, h$ ).

L'equazione di continuità si scrive:

$$Qdt = \Sigma da$$

essendo  $da$  la variazione della quota raggiunta dal

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*[Handwritten signature]*



pelo libero della vasca.

Nell'ipotesi che i fori siano assimilabili a luci in parete sottile, si ha:

$$Q = \int_0^{h+\eta} u C_c n dy = \sum \frac{d}{dt}$$

con:

$C_c$  = coefficiente di contrazione

$n$  = porosità della parete forata.

Supponendo che:

- a) la velocità  $V$  sia costante lungo la linea di flusso 1-2 e pari a quella che si ha nella sezione contratta (Fig.5.3)
- b) la velocità  $u$  nella sezione contratta sia costante con la quota  $y$
- c) lo scostamento  $s$  fra il valore effettivo della pressione all'interno della vasca e quello che si avrebbe in condizioni idrostatiche si possa ritenere costante con  $y$ , si ottiene:

$$Q = u C_c n y = \sum \frac{y}{h} \alpha^0$$

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*R*



$$\frac{\delta Q}{\delta t} = \Sigma \frac{y}{h} \alpha''$$

$$\frac{\delta Q}{\delta y} = \frac{\Sigma}{y} \alpha'$$

Sostituendo le precedenti tre equazioni nella equazione globale dell'equilibrio idrodinamico, si ottiene:

$$\frac{\delta p/\gamma}{\delta y} = 1 - \frac{2}{g} \frac{y}{h^2} \alpha^2 - \frac{1}{g} \frac{y}{h} \alpha''$$

che, integrata con la seguente condizione:

$$p = 0 \text{ per } y = \alpha$$

fornisce:

$$p/\gamma = \frac{p(\alpha)}{\gamma} = (\alpha - y) + (\alpha^2 - y^2) \left( \frac{\alpha^2}{gh^2} + \frac{\alpha''}{2g h} \right)$$

che, in conformità all'ipotesi c), si può scrivere:

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*[Handwritten signature]*



$$p/\gamma = (\alpha - \gamma) + \frac{1}{3} \frac{\alpha^2}{gh} \left( \frac{\alpha^2}{h} + \alpha'' \right)$$

Analogamente la pressione sulla diga esercitata dal moto ondoso si scrive come segue:

$$p/\gamma = h - y + a_i \frac{1+R}{mh} \sin Kt \tanh mh$$

L'integrale dell'equazione del moto, infine, tramite l'equazione globale dell'equilibrio idrodinamico, ed essendo:

$$\int_0^\delta \frac{\delta V}{\delta t} ds = \frac{\delta V}{\delta t} \delta = \frac{\delta u}{\delta t} d$$

si scrive:

$$\beta + \left[ 1 + \left( \frac{\Sigma}{c_{nh}} \right)^2 \right] \frac{\beta^2}{2g} + \left[ \frac{1}{3} \frac{h}{g} + \frac{\delta \Sigma}{y c_{nh}} \right] \beta = A \sin Kt$$

con:

$$\beta = \alpha - h$$

$$A = a_i \frac{(1+R)}{mh} + \tanh mh$$

IL SINDACO



Segretario Comunale



La precedente è una equazione differenziale a derivate totali del 2° ordine non lineare, tipica dei fenomeni oscillatori periodici, in presenza di un termine dissipativo quadratico.

Tale equazione può essere linearizzata adottando il noto procedimento di Lorenz, utilizzato da Scicosen e da Richey e Sellit, per cui si ottiene:

$$\beta(R) = H \sin(Kt - \theta)$$

$$\text{con } H = A [B^2 K^2 + (1 - K^2/w^2)^2]^{-1/2}$$

$$\theta = \arctg \frac{BK}{1 - K^2/w^2}$$

$$B = \frac{D}{2g} \left[ 1 + \left( \frac{\Sigma}{C_{nh}} \right)^2 \right]$$

$$D = \frac{8}{3\pi} KH$$

$$\frac{1}{w^2} = \frac{1}{3} \frac{h}{g} + \frac{\delta \Sigma}{y C_{nh}}$$

Le equazioni precedentemente ottenute esprimono

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE



il processo di moto, che si svolge tra il mare e la vasca di smorzamento, e dipendono dal valore del coefficiente di riflessione R.

La determinazione di questa si può effettuare in base al principio che l'energia perduta durante una oscillazione completa del sistema deve eguagliare la differenza fra l'energia incidente e quella riflessa dell'ostacolo nell'intervallo di tempo T.

L'energia dissipata nel tempo t è solo quella cinetica posseduta da getti effluenti dai fori essendosi trascurate le resistenze laterali di parete e le perdite localizzate per moti turbolenti.

Si arriva pertanto alla equazione:

$$R^2 = 1 - \frac{8 \sum^3 e^3 K^4 A^3}{3 \pi a_i^2 y^2 C_c^2 n^2 h^2}$$

che, tramite la precedente definizione della grandezza A, costituisce un sistema di equazione non lineare che risolve il problema della ricerca di R.

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

*[Handwritten signature]*



### 3 - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Come messo in evidenza dal precedente modello matematico, il fenomeno della riflessione da parte di un cassone perforato è funzione dei seguenti fattori:

- $H$  = altezza d'onda
- $L$  = lunghezza d'onda
- $T$  = periodo dell'onda
- $h_e$  = profondità fuori della camera
- $D$  = diametro dei fori
- $n$  = porosità
- $b$  = larghezza della camera
- $h$  = profondità della camera

Dei suddetti parametri alcuni possono essere fissati come elementi fondamentali di progetto ( $H$ ,  $h_e$ ), altri risultano legati fra loro dalla equazione di Airy ( $L, h_e, T$ ), altri ancora vengono fissati in base a considerazioni di carattere costruttivo ( $D, b$ ), gli ultimi ( $n, h$ ) debbono opportunamente essere scelti in base ai risultati cui si perviene utilizzando il precedente modello matematico.

Nel presente caso si è assegnato al diametro dei

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



fori il valore  $D = 0,80$  m che costituisce, come già messo in evidenza da precedenti esperienze, un ottimo compromesso fra l'esigenza, da un lato, di non realizzare fori così grandi da compromettere la resistenza della parete verticale del cassone e, dall'altro, di non aumentare a dismisura l'onere derivante dalla costruzione di un gran numero di fori di piccolo diametro.

Con riferimento alla larghezza della camera si è assunta la terna  $b = 3,00; 4,00; 5,00$  m che bene soddisfa il disegno di insieme del cassone sia sotto il profilo statico, sia sotto quello del galleggiamento.

Il valore di  $h_e$  resta determinato dalla profondità di imbasamento della struttura perforata indicata a margine delle figure che seguono.

Fissate così le tre grandezze geometriche fondamentali ( $D, b, h_e$ ) si è proceduto ad indagare sul comportamento dell'opera al variare della porosità per un campo di periodi che si estende da zero a 14 sec.

I valori di porosità prescelti sono: 0,10; 0,15 e 0,20.

Lo studio è stato condotto assumendo i seguenti quattro valori dell'altezza dell'onda incidente:  $H=0,50$  m;

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE

R



$H = 0,75 \text{ m}$ ;  $H = 1,00 \text{ m}$ . Per ciascuno dei suddetti valori d'onda si sono ipotizzati tre diversi valori di profondità all'interno delle camere  $h_i$ .

Considerando pertanto, per ognuna delle suddette combinazioni, i tre distinti valori della porosità,  $n$ , di cui si è detto precedentemente, si sono messe fra loro a confronto ottantuno configurazioni diverse sia con riferimento alla geometria del cassone sia nei riguardi delle caratteristiche dell'onda incidente.

Da tale studio (Vedi Figg. da 4 a 31) si evince che, se è pur vero che all'aumentare della porosità diminuisce il valore minimo del coefficiente di riflessione  $R_{\min}$ , si ha, di contro, il verificarsi dei due seguenti fenomeni:

- a) il valore del periodo in corrispondenza del quale si manifesta il minimo valore del coefficiente di riflessione  $T(R_{\min})$  diminuisce all'aumentare della porosità  $n$ .

Ciò comporta che il funzionamento ottimale del cassone perforato si allontani sempre più dai periodi più frequenti e significativi avvicinandosi invece a periodi più bassi e, quindi, a lunghezze d'onda

IL SINDACO



IL SEGRETARIO COMUNALE





più brevi che non hanno riscontro nella pratica.

b) il campo dei periodi all'interno del quale il cassone garantisce un funzionamento con un coefficiente di riflessione al di sotto di un assegnato valore, aumentata al crescere della porosità da  $n=0,10$  a  $n=0,20$ .

Dopo aver determinato, secondo i criteri anzidetti, il valore ottimale della porosità del cassone, è opportuno indagare sul valore da assegnare alla profondità all'interno della camera.

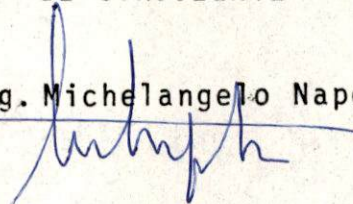
Si sono considerati i seguenti tre valori della profondità: 6,5 m; 5,5 m e 4,5 m.

Si osservi che il comportamento idraulico del cassone migliora allorquando la camera forata è parzialmente riempita di calcestruzzo.

Palermo, **6 FEB. 1965**

IL CONSULENTE

Dott. Ing. Michelangelo Napolitano



**IL SINDACO**




**IL SEGRETARIO COMUNALE**

