

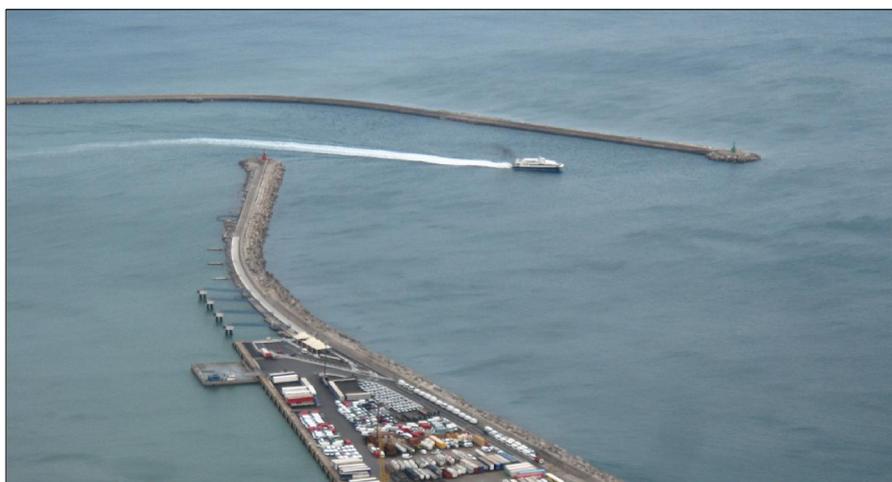


AUTORITA' PORTUALE
SALERNO

PORTO COMMERCIALE DI SALERNO

LAVORI DI PROLUNGAMENTO DEL MOLO DI SOPRAFLUTTO E
RESECAZIONE DEL TRATTO FINALE DEL MOLO DI SOTTOFLUTTO

PROGETTO DEFINITIVO



ELABORATO :
Calcoli delle strutture e degli impianti

R.U.P.
Ing. Elena Valentino

Progettisti
AREA TECNICA

Ing. Gianluigi Lalicata Arch. Corrado Olivieri

Geom. Pasquale Memoli Geom. Luigi Monetti Geom. Enrico Leone

Disegno
Geom. Carmine Memoli

data: Giugno 2013

04

PREDIMENSIONAMENTO DEI CASSONI REWEC3/3

A CELLE INDIPENDENTI (U-OWC/3)

PER IL PORTO COMMERCIALE DI SALERNO

Per il prolungamento della diga foranea del Porto commerciale di Salerno, è prevista la realizzazione di cassoni cellulari di tipo REWEC3/3. Per tali cassoni si è proceduto ad un pre-dimensionamento, in modo da verificare la stabilità globale della struttura secondo le Istruzioni Tecniche del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (1995), il cui risultato è riportato negli elaborati grafici di progetto.

1 Condizione di non-frangimento davanti alla struttura

Considerando le *Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime* (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 1995), per un corretto dimensionamento della struttura è necessario, innanzitutto, effettuare la verifica di non-frangimento dell'onda di progetto in fase di cresta. In dettaglio, qualora la seguente relazione

$$d > 1.5H \quad (1)$$

risulta soddisfatta, la struttura risulta non soggetta all'azione di onde frangenti e le sollecitazioni dovute alle pressioni prodotte dall'onda possono essere computate mediante lo schema di Saintflou (1928). Qualora, invece, la relazione (1) non risultasse verificata, per un corretto dimensionamento è opportuno fare riferimento allo schema di Goda (1974, 1999; vedi anche Boccotti 2000 – Sezione 15.1) per il calcolo delle pressioni agenti sulla struttura.

Nella relazione (1), d è la quota di imbasamento della struttura riferita al *l.m.m.* ed H è il valore H_{\max} atteso una sola volta in un lasso di tempo doppio della vita presunta dell'opera (v. *Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime*, Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, 1995). Per una verifica *preliminare* di non-frangimento la norma prescrive di assumere un valore di H pari ad $H_{1/100} = 1.67 H_s$, con H_s altezza significativa dello stato di mare di progetto riferito alla vita di progetto L della struttura.

Nel caso in esame, il livello di altezza significativa, davanti alla diga, in condizioni di progetto (dati forniti dall'Autorità Portuale di Salerno), risulta pari a 5.2m.

La direzione viene assunta ortogonale alla diga, in prima approssimazione.

in corrispondenza della quale:

$$H_{1/100} = 8.7m \quad \text{da cui:} \quad d = 11.5m < 1.5H .$$

Per un corretta verifica di stabilità della struttura, le sollecitazioni instabilizzanti prodotte dall'onda verranno computate facendo riferimento allo schema di Goda.

2 Calcolo delle Azioni Instabilizzanti prodotte dall'Onda di Progetto in Fase di Cresta

Lo schema delle distribuzioni delle pressioni prodotte dal campo di moto ondoso incidente, proposto da Goda, è riportato in Figura 1 e prevede che la massima elevazione della superficie libera, η_{max} , sia pari a

$$\eta_{max} = \frac{3}{4}(1 + \cos \theta)H \quad (2)$$

e che le massime pressioni prodotte dall'onda in corrispondenza della fase di cresta d'onda relativamente al livello di medio mare e alla profondità di imbasamento della struttura (vedi schema di Figura 1) siano, rispettivamente, uguali a

$$p_{w1}^{(+)} = \frac{1}{2}(1 + \cos \theta)(\alpha' + \alpha'' \cos^2 \theta) \gamma_a H , \quad (3)$$

e

$$p_w^{(+)} = \alpha''' p_{w1}^{(+)} , \quad (4)$$

e il valore della sottospinta prodotta dall'onda, dal lato battuto dall'onda, sia fornita dalla seguente relazione

$$p_{w2}^{(+)} = \frac{1}{2}(1 + \cos \theta)\alpha' \alpha''' \gamma_a H . \quad (5)$$

essendo γ_a il peso specifico dell'acqua del mare.

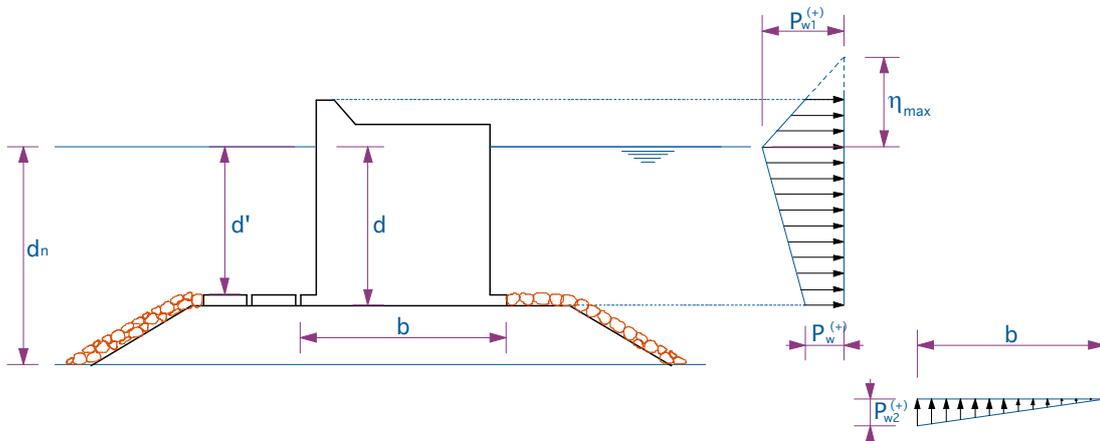


Figura 1 Schema di calcolo della distribuzione delle pressioni prodotte dall'onda in fase di cresta, proposto da Goda (1974, 1999).

Le relazioni (2)-(5) sono di natura empirica, ed in esse i coefficienti α' , α'' e α''' sono definiti come segue

$$\alpha' = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{2kd_n}{\sinh(2kd_n)} \right]^2, \quad (6)$$

$$\alpha'' = \text{Min} \left[\left(\frac{d'_n - d'}{3d'_n} \right) \left(\frac{H}{d'} \right)^2, 2 \frac{d'}{H} \right], \quad (7)$$

$$\alpha''' = 1 - \frac{d}{d_n} \left[1 - \frac{1}{\cosh(kd_n)} \right]. \quad (8)$$

essendo le profondità d , d' e d_n chiaramente evidenziate nello schema di Figura 1 e d_n' definita come la profondità del fondo naturale ad una distanza di $5H_s$ dalla diga.

Le relazioni (2)-(5) sono definite quando sono verificate le seguenti condizioni:

$$\frac{d_n}{H_{s0}} \geq 2.4 \quad \text{e} \quad \frac{d_n}{L_0} \geq 0.12, \quad (9)$$

Qualora, invece, le relazioni (9) non fossero soddisfatte è necessario tenere conto di un termine aggiuntivo di pressione impulsiva. Di tale valore, mediante lo schema di Goda (1999), si tiene conto nel termine di pressione $p_{w1}^{(+)}$, che viene riscritto come segue

$$p_{w1}^{(+)} = \frac{1}{2} (1 + \cos \theta) (\alpha' + \alpha^* \cos^2 \theta) \gamma_a H, \quad (10)$$

in cui

$$\alpha^* = \text{Max} \{ \alpha'', \alpha_I \}, \quad (11)$$

essendo il coefficiente α''' definito dalla relazione (8) e il coefficiente α_I definito dalla relazione

$$\alpha_I = \alpha_{IH} \alpha_{IB}, \quad (12)$$

nella quale

$$\alpha_{IH} = \min \left\{ \frac{H}{d'}, 2.0 \right\}, \quad (13)$$

$$\alpha_{IB} = \begin{cases} \frac{\cos \delta_2}{\cosh \delta_1} & : \delta_2 \leq 0; \\ \frac{1}{\cosh \delta_1 \cosh^{1/2} \delta_2} & : \delta_2 > 0. \end{cases} \quad (14)$$

$$\delta_1 = \begin{cases} 20 \delta_{11} & : \delta_{11} \leq 0; \\ 15 \delta_{11} & : \delta_{11} > 0. \end{cases} \quad (15)$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 4.9\delta_{22} & : \delta_{22} \leq 0; \\ 3.0\delta_{22} & : \delta_{22} > 0. \end{cases} \quad (16)$$

$$\delta_{11} = 0.93\left(\frac{B_M}{L} - 0.12\right) + 0.36\left(0.4 - \frac{d'}{d_n}\right), \quad (17)$$

$$\delta_{22} = -0.36\left(\frac{B_M}{L} - 0.12\right) + 0.93\left(0.4 - \frac{d'}{d_n}\right), \quad (18)$$

B_M è la lunghezza tra il piede della diga e la testata della berma di fondazione ed L la lunghezza dell'onda di progetto.

Le grandezze H , T e θ nelle sopradette relazioni (2)-(5) e (10), rappresentano i valori rispettivamente dell'altezza, del periodo e della direzione di propagazione dell'onda di progetto, che secondo quanto previsto dal metodo di Goda sono calcolate come segue:

- θ è la direzione di propagazione forma con la perpendicolare alla diga; lo schema prevede di assumere $\theta=0$ se il modulo dell'angolo vero è minore o uguale a 15° , altrimenti tale che $|\theta| = |\text{angolo vero}| - 15^\circ$;
- T è prescritto pari a $T_{1/3}$, che è definito come il periodo medio della terza parte di onde più alte dello stato di mare; tale periodo può assumersi, commettendo un errore ammissibile (Boccotti 2000 – Sezione 15.1), pari al periodo delle onde più alte (Boccotti 2000 – Sezione 5.7.2), T_h , che per pure onde di vento con spettro di frequenza di tipo JONSWAP medio (Hasselmann et al. 1973) può essere definito come

$$T_h = 0.92T_p, \quad (19)$$

essendo T_p il periodo di picco di progetto;

- per quanto concerne H è l'onda di progetto, che nel caso dello schema di Goda (Goda, 1974), è pari a:

$$H = 1.8H_s, \quad (20)$$

essendo H_s l'altezza significativa di progetto alla profondità di imbasamento della struttura.

3 *Calcolo delle Azioni Stabilizzanti*

3.1 *Pesi Propri della Struttura e relativi Momenti*

I pesi della struttura e i momenti da essi prodotti sono le azioni stabilizzanti che devono garantire gli opportuni coefficienti di sicurezza imposti dalla normativa.

I pesi specifici di riferimento, adottati per il predimensionamento, sono i seguenti: calcestruzzo $2.4 t/m^3$; calcestruzzo armato $2.5 t/m^3$; materiale di riempimento singola cella del cassone $2 t/m^3$. Il peso specifico dell'acqua di mare è $1.03 t/m^3$.

3.2 *Risultante delle Forze Idrodinamiche all'interno delle Parti Attive dell'impianto REWEC3*

Rispetto alle verifiche di stabilità per una classica diga portuale a parete verticale, l'impianto U-OWC impone di considerare anche tutte le forze verticali che si instaurano all'interno del tubo ad U [≡condotto verticale+camera di assorbimento], generate per effetto della complessa idrodinamica che si instaura all'interno dell'impianto. Mediante la teoria di Quasi-Determinismo (Boccotti 1981, 1989, 1997, 2000) è, infatti, possibile determinare l'azione sull'impianto dei gruppi di onde di mare più alti, corrispondenti alla formazione di una cresta d'onda o di un'altezza d'onda eccezionalmente alta sulla struttura. Si è assunto che la massima altezza d'onda dei gruppi di onde sia uguale a $1.8H_s$, in cui H_s è l'altezza significativa di progetto alla profondità di imbasamento della struttura.

L'idrodinamica che si innesca all'interno del tubo ad U dell'impianto determina una variazione ΔR_v della reazione R_v del terreno, il cui modulo e verso, a differenza delle normali dighe a parete verticale, può cambiare al variare del tempo poiché l'acqua entra ed esce dall'impianto. Tale variazione della reazione verticale del terreno è prodotta dalle seguenti forze idrodinamiche che si generano all'interno dell'impianto: la portata di quantità di moto attraverso l'imboccatura superiore del condotto verticale, la pressione dinamica agente su tale imbocco, l'inerzia della massa d'acqua all'interno del tubo ad U [definito dal condotto verticale e dalla camera di assorbimento] e la variazione di peso di tale massa.

Il valore massimo della variazione della reazione verticale, ΔR_v , si realizza all'incirca in corrispondenza dell'istante in cui avviene l'impatto con la diga della cresta dell'onda più alta del gruppo di onde alte nello stato di mare di progetto. In particolare, a tale istante, che corrisponde alla formazione di una cresta d'onda, la massima ΔR_v è positiva e determina perciò un aumento della risultante delle azioni verticali, ΔR_v , prodotta da un accumulo di

acqua all'interno del tubo ad U e, quindi, da un aumento di peso del cassone. Tale forza, perciò, contribuisce ad aumentare la stabilità globale della struttura.

Nel caso esaminato, per la configurazione progettuale preliminare si è computata, in prima approssimazione, la variazione della reazione verticale, ΔR_V pari a 650t per cassone.

4 Verifica di Stabilità della Struttura

E', quindi, possibile effettuare le verifiche di stabilità della struttura, che sono eseguite in ipotesi statiche, ovvero si considera che le forze agenti sulla struttura siano di natura statica. A partire da tale presupposto si procede all'analisi delle classiche verifiche di stabilità globale (*Istruzioni Tecniche per la Progettazione delle Dighe Marittime* emanate dal Consiglio Superiore LL.PP., 1995) in cui si tiene conto, per il cassone REWEC3 rispetto ad un tradizionale cassone in c.a, dell'addizionale forza stabilizzante ΔR_V (si ribadisce che tale forza è stata trascurata, in fase di predimensionamento).

Le verifiche di stabilità della struttura risultano, perciò, essere:

- Verifica a Scorrimento, secondo cui si deve verificare che il coefficiente di sicurezza a scorrimento della struttura progettata

$$C_S = \frac{\mu (R_V + \Delta R_V)}{|R_0|} = \frac{\mu (Peso + \Delta R_V - S_w^{(+)})}{|F_w^{(+)}|} \quad (30)$$

sia maggiore di un valore minimo fissato dalla normativa italiana pari a :

$$C_{S,\min} = 1.4 \quad (31)$$

Nella relazione (30), μ è il coefficiente di attrito cassone-imbasamento, assunto uguale a 0.6 come prescritto dalle Istruzioni Tecniche (1995), R_V è la risultante delle forze verticali, uguale alla differenza tra il peso totale della struttura e la sottospinta instabilizzante prodotta dall'onda, ed R_0 è la risultante delle forze orizzontali, uguale alla risultante della forza di pressione prodotta dall'onda.

- Verifica a Ribaltamento, secondo cui si deve verificare che il coefficiente di sicurezza a ribaltamento della struttura progettata

$$C_R = \frac{M_{STAB}}{M_{RIB}} = \frac{M_{Peso} + M_{\Delta R_V}}{(M_{F_w^{(+)}} + M_{S_w^{(+)}})} \quad (32)$$

sia maggiore di un valore minimo fissato dalla normativa italiana pari a :

$$C_{R,\min} = 1.5 \quad (33)$$

Nella relazione (32), M_{STAB} è il momento stabilizzante totale che agisce sulla struttura, prodotto dalla forza peso e dalla variazione ΔR_V dovuta alle forze idrodinamiche che si instaurano all'interno dell'impianto REWEC3; M_{RIB} è il momento ribaltante totale, prodotto dalle forze instabilizzanti dovute all'onda.

- Verifica a Schiacciamento, consiste nella verifica che la pressione massima sull'imbasamento, q_{max} , sia inferiore al carico di sicurezza, q_{amm} , fissato dalla normativa italiana pari a

$$q_{amm} = 50t/m^2. \quad (34)$$

Per calcolare la pressione massima sull'imbasamento, si deve calcolare l'eccentricità, e , della risultante delle forze verticali, ovvero la distanza tra il punto d'applicazione della risultante delle forze verticali sulla base e il polo di rotazione, e determinare se questa è esterna o interna al nocciolo centrale d'inerzia della sezione di base.

Essendo l'eccentricità, e , della risultante delle forze verticali definita come:

$$e = \frac{M_{STAB} - M_{RIB}}{(R_V + \Delta R_V)} = \frac{[M_{Peso} + M_{\Delta R_V}] - [M_{F_w^{(+)}} + M_{S_w^{(+)}}]}{(R_V + \Delta R_V)}, \quad (35)$$

si ha che, qualora la risultante delle forze verticali cade fuori dal terzo medio della base ($e < B/3$) la sezione è parzializzata e

$$q_{max} = \frac{2(R_V + \Delta R_V)}{3e B_x}. \quad (36)$$

in cui B_x è la lunghezza longitudinale della base della struttura.

Il singolo cassone cellulare di progetto, di tipo REWEC3, risulta soddisfare le tre condizioni di verifica. In dettaglio, il coefficiente di sicurezza a scorrimento risulta pari a $C_{S,min}$, il coefficiente di sicurezza a ribaltamento risulta pari a 2.8 (valore ben maggiore di $C_{R,min}$) e la pressione massima è minore di $30t/m^2$ (valore ben minore di q_{amm}).

Le verifiche di stabilità dovranno essere eseguite nelle fasi di progettazione esecutiva. Il presente elaborato costituisce un pre-dimensionamento dell'opera, al fine di elaborare il progetto definitivo dei cassoni REWEC.

IMPIANTI TECNOLOGICI

Il progetto prevede tutti gli impianti tecnologici necessari alla fruizione in perfetta sicurezza della nuova infrastruttura. In particolare è prevista l'installazione di nuovi segnalamenti e la realizzazione del relativo impianto di alimentazione nonché la predisposizione per l'alimentazione delle turbine che saranno installate in una fase successiva.

CANDELABRO TIPO RESINEX C/RES FP 6500 INOX AISI 316L

Candelabro C/RES da segnalamento marittimo, colorazione rossa dotato di riservetta, guardiauomo e torretta con piano di calpestio. Dimensioni: - altezza del piano focale: 6500 mm; - diametro riservetta: 1400 mm; - diametro torretta calpestabile: 1500 mm. .
Materiali: il materiale costituente la struttura permanente è in acciaio AISI 316, sabbiato e verniciato secondo normative IALA. Il materiale costituente i meccanismi meccanici (maniglia e serrature) e bulloneria debbono essere anch'essi essere in acciaio inox. Trattamenti e colorazioni. La parte metallica del candelabro è in acciaio AISI 316, sabbiato e trattato con protezione epossidica e con successiva verniciatura in smalto al cloro caucciù (spessore minimo 80 micron), prodotti idonei al clima marino e atti a prevenire fenomeni corrosivi. Nel prezzo è compresa la realizzazione del basamento di protezione al faro posizionato sul molo di sottoflutto.

TORRE FARO INOX TIPO RESINEX FP 500 L1 304 CON BALLATOIO D 2700 MM

Il faro è costituito da una struttura portante in acciaio inossidabile AISI 304 O 2700 mm, con altezza totale di 5 mt approx. All'estremità superiore è posizionata la strumentazione per la segnalazione:- n.1 fanale marino autoalimentato tipo Sealite Apollo 155, Portata 12 Mn. Il faro è inoltre dotato di porta d'ingresso, di prese d'aria, scala interna, botola interna, ballatoio, riservetta superiore, 6 lastre di vetro antisfondamento, interfaccia di connessione con porta lanterna L1. Nella parte inferiore il palo è dotato di una piastra di fissaggio. Tutte le parti metalliche sono in acciaio inossidabile AISI 304 e verniciate. Piano focale: 5000 mm. Colore: verde. Nel prezzo è compresa la realizzazione del basamento di protezione ai fari posizionati sul molo di sopraflutto.