

Corso di
REGIME E PROTEZIONE DEI LITORALI

(A. A. 2014 – 2015)

ESERCITAZIONE N°6

Trasferimento delle onde estreme alla costa

Nella spiaggia di La Playa (Cagliari – Capoterra) si deve realizzare un'opera di difesa a mare il cui piede del paramento lato mare è previsto alla profondità di 3.5 m. Come onda estrema al largo si adotti l'altezza significativa H_T calcolata nell'esercitazione N°1 e si ammetta che essa produca la massima sollecitazione sull'opera. Calcolare l'altezza dell'onda di progetto. Si faccia l'ipotesi di fondale piano acclive.

DATI:

orientamento della spiaggia (direzione della normale uscente)
direzione del moto ondoso
pressione atmosferica durante la tempesta
velocità della perturbazione atmosferica
livello alta marea
livello della più alta alta marea
pendenza del fondale piano
distanza dell'opera dal limite della piattaforma continentale

$Dir_s = 110^\circ N$;
 $Dir_0 = 140^\circ N$;
 $p_A = 995 \text{ hPa}$;
 $C_A = 36 \text{ km/ora}$;
 $\eta_a = 0.300 \text{ m}$;
 $\eta_{aa} = 0.360 \text{ m}$;
 $m_f = 0.01$;
 $X_P = 5000 \text{ m}$.

Schema di soluzione

Il livello del mare rispetto al quale si svolge la tempesta è condizionato dal livello della marea astronomica al quale si somma il livello della tempesta (*storm surge*) più ancora il set down /set up dovuto al moto ondoso. Il livello della marea astronomica durante la tempesta è indipendente dalla tempesta stessa, mentre il livello della tempesta si verifica insieme al set down /set up. A favore della sicurezza il set down sarà posto uguale a zero.

Più lunga è la durata della tempesta, più è probabile che il livello di tempesta si verifichi in corrispondenza dell'alta marea. A vantaggio della sicurezza si stabilisce che, se la durata della tempesta supera le due ore, il livello massimo di tempesta coincida con il livello di alta marea.

1. Verifica della durata della tempesta. Utilizzando l'approccio di Boccotti allo stato di mare convenzionale di progetto, la durata dello stato di mare, pari a due volte la persistenza media al di sopra della soglia H_T , può essere calcolata come:

$$\tau_s(H_T) = 2 \frac{\bar{b}(H_T)}{1 + u \left(\frac{H_T}{w} \right)^u} \quad (1)$$

Ove u e w sono parametri della probabilità omnidirezionale di superamento rispettivamente pari a 1.200 e 0.874; $\bar{b}(H_T)$ è il valor medio delle durate delle mareggiate di assegnata altezza H_T calcolabile attraverso la relazione che interpola i dati ondometrici dei mari italiani:

$$\bar{b}(H_T) = t_{10} \left(1.11 - 0.11 \frac{H_T}{h_{10}} \right) \quad (2)$$

Ove h_{10} e t_{10} rappresentano rispettivamente il valor medio delle altezze d'onda e la durata delle 10 mareggiate più forti nel periodo di misura. Per la località in esame si consideri $h_{10} = 3.4$ m e $t_{10} = 69$ h.

Se $\tau_s(H_T) > 2$ ore si assumerà il livello della più alta alta marea $\eta_{aa} = 0.360$ m, altrimenti si assuma il livello di alta marea $\eta_a = 0.300$ m.

2. Livello di tempesta. Il livello di tempesta è dato dall'effetto combinato della velocità del vento responsabile del moto ondoso che, a causa della sua azione di trascinamento sulla superficie del mare produce l'accumulo di acqua verso la riva sottovento η_{wi} (wind set up) e per la bassa pressione atmosferica, che essendo sempre presente durante le tempeste determina l'innalzamento di livello η_{pa} . Utilizzando le formule riportate nelle dispense di Idraulica Marittima (Atzeni, 2011) si calcolano:

$$\eta_{wi} = \frac{K X_P U^2}{g(d_{200} - d_p - \eta_{wi})} \ln \left(\frac{d_{200}}{d_p + \eta_{wi}} \right); \quad (3)$$

$$\eta_{pa} = \frac{\Delta \eta_s}{\left(1 - \frac{C_A^2}{g\bar{d}} \right)}. \quad (4)$$

Nella (3) K è un coefficiente adimensionale ($K = 3 \cdot 10^{-6}$), U è la velocità del vento che può ottenersi dalla formula, valida per fetch molto estesi:

$$\tilde{H}_{m0} = \frac{H_T g}{U_A^2} = 0.25, \quad (5)$$

Essendo U_A il coefficiente di trascinamento, legato ad U dalla relazione:

$$U = \left(\frac{U_A}{0.71} \right)^{1/1.23} \quad (6)$$

Nella (4) $\Delta\eta_s = -0.995\Delta P_A$ è la variazione idrostatica di livello dovuta alla variazione Δp_A della pressione atmosferica ($\Delta p_A = p_A - 1013$). ($\Delta\eta_s$) = cm; (Δp_A) = hPa.

Sommando le tre componenti responsabili dell'innalzamento di livello si ottiene il livello al largo rispetto al quale evolve il moto ondoso.

3. Calcolo del coefficiente di rifrazione. Il calcolo più approssimato del coefficiente di rifrazione delle onde irregolari può farsi servendosi del grafico della Fig. 1 corrispondente allo stato di mare vivo ($S_{max} = 10$).

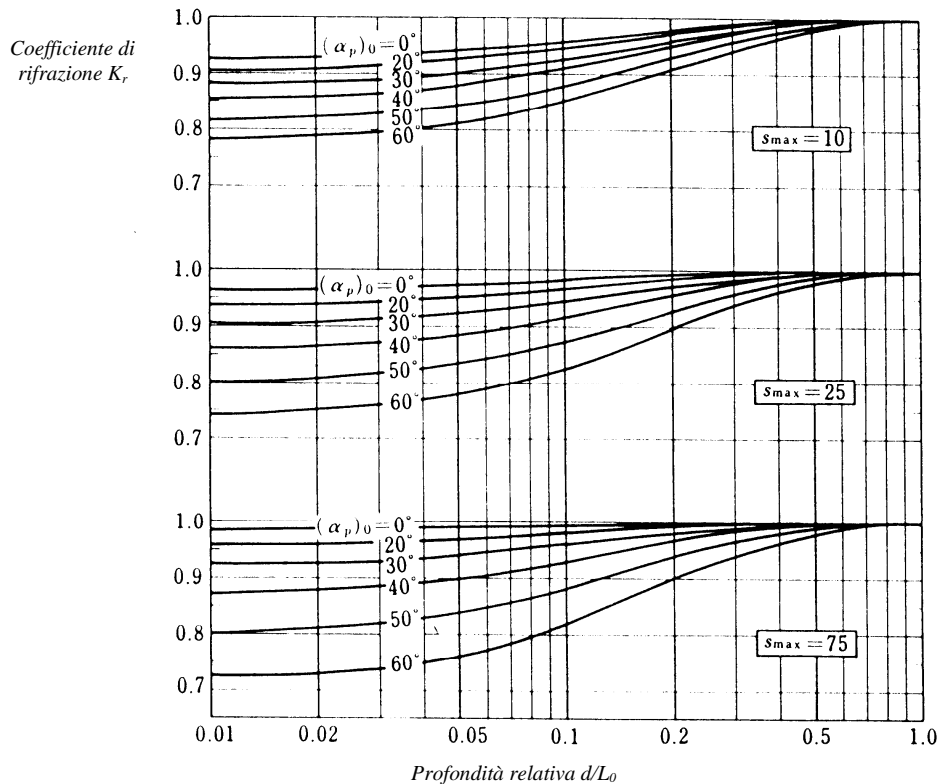


Fig 1. Coefficiente di rifrazione del moto ondoso irregolare su un fondale piano acclive in funzione della profondità relativa (Fonte: Goda).

Si adotti la teoria dell'onda di Airy. L'onda estrema calcolata nella precedente esercitazione è un'onda di mare vivo a pieno sviluppo il cui spettro è del tipo JONSWAP medio per cui tra l'altezza significativa al largo H_T e il corrispondente periodo T_s esiste la relazione:

$$T_s = \sqrt{\frac{H_T}{0.049}} \quad (7)$$

La lunghezza dell'onda significativa al largo risulta:

$$L_0 = \frac{gT_s^2}{2\pi} \quad (8)$$

Il valore minimo della profondità per la quale l'onda non sente il fondo è:

$$d_0 = \frac{L_0}{2}, \quad (9)$$

Ove con d_0 si deve intendere la profondità di riduzione degli scandagli maggiorata dell'innalzamento dovuto alla tempesta e all'alta marea.

La lunghezza dell'onda nelle acque di trasformazione si calcola:

$$L_d = L_0 \operatorname{th} \frac{2\pi d}{L_d} \quad (10)$$

La rifrazione prodotta da un fondale piano acclive è retta dalla relazione di Snellius:

$$\operatorname{sen}(Dir_d - Dir_s) = \frac{L_d}{L_0} \operatorname{sen}(Dir_0 - Dir_s) \quad (11)$$

Assegnata la profondità d del fondale e calcolata con la (10) la lunghezza d'onda alla profondità d , indicate (in gradi Nord) con Dir_0 la direzione dell'onda e con Dir_s la direzione della normale uscente dalla spiaggia la (11) permette di determinare la direzione dell'onda in funzione della profondità. Il coefficiente di rifrazione risulta:

$$K_r = \sqrt{\frac{\cos(Dir_0 - Dir_s)}{\cos(Dir_d - Dir_s)}} \quad (12)$$

L'altezza dell'onda non rifratta vale $H_0' = K_r H_0$.

4. Calcolo dell'onda massima frangente. Nel caso delle onde irregolari di mare vivo la massima altezza d'onda frangente in acque di trasformazione $(H_{1/3})_{picco}$ e la corrispondente profondità $(d_{1/3})_{picco}$ si determinano entrando nei due diagrammi delle Fig. 2 e 3 che seguono con il parametro H_0'/L_0 . Fino alla profondità $(d_{1/3})_{picco}$ si assuma pari a zero l'innalzamento di livello dovuto alle onde (wave set up).

5. Coefficiente di profondità (shoaling). Si calcola mediante l'uso del grafico della Fig. 4. Fino a quando la profondità è superiore all'8% della lunghezza d'onda al largo il calcolo del coefficiente di profondità può eseguirsi mediante la relazione valida per la teoria di Airy:

$$K_s = \sqrt{\frac{1}{\operatorname{th} kd \left(1 + \frac{2kd}{\operatorname{sh} 2kd} \right)}}, \quad (13)$$

essendo $k = \frac{2\pi}{L}$ il numero d'onda.

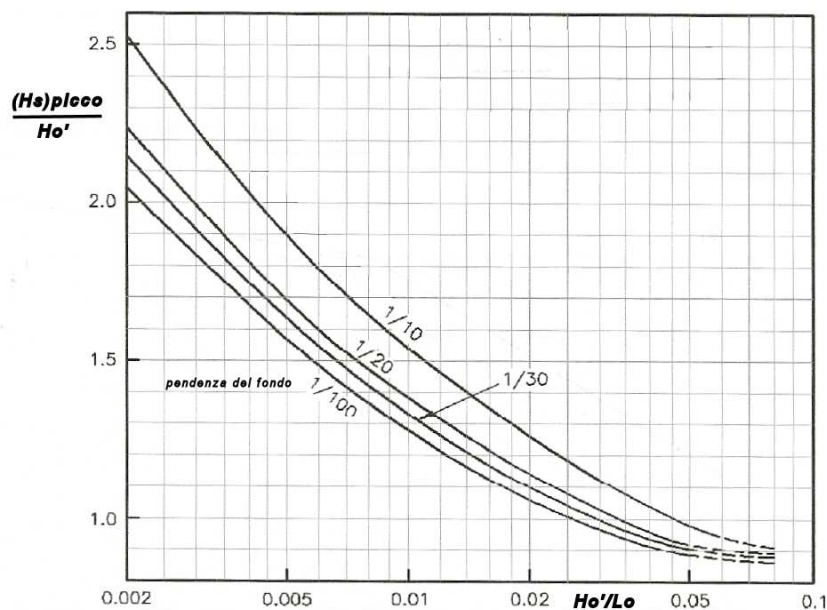


Fig. 2. Altezza dell'onda significativa massima nell'area di mareggiata (fonte Goda 1985)

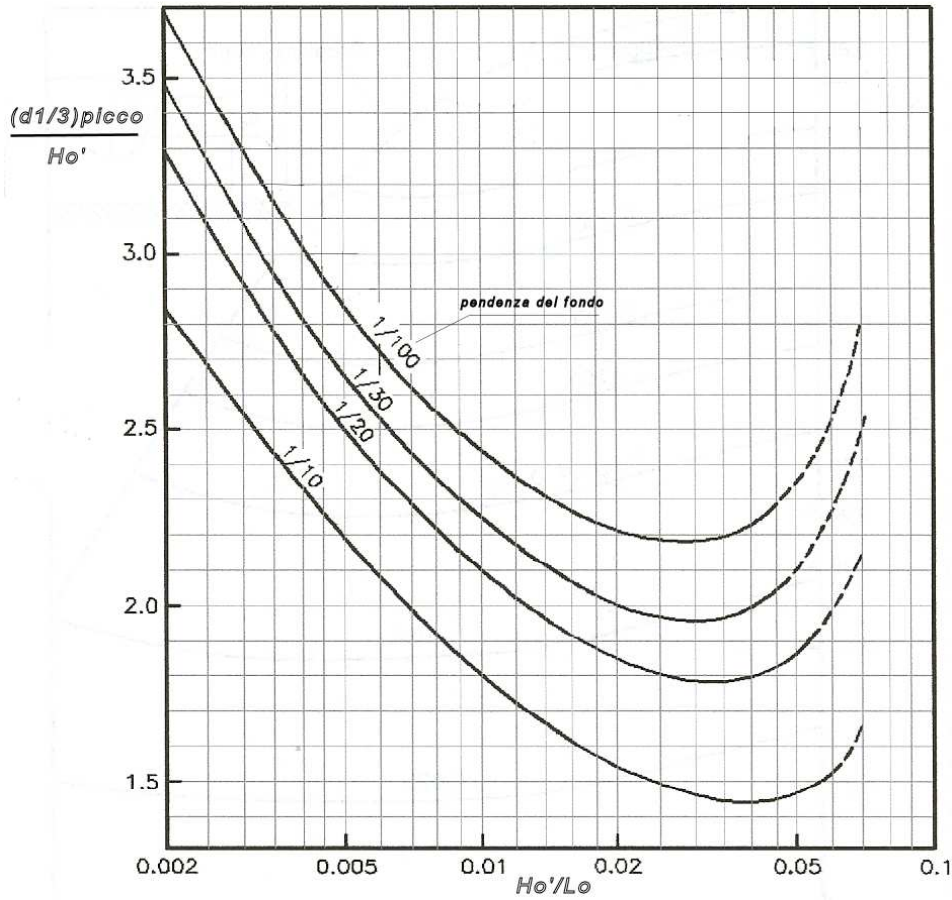


Fig. 3. Profondità della zona di mareggiata corrispondente all'altezza massima possibile in tale zona (fonte Goda 1985).

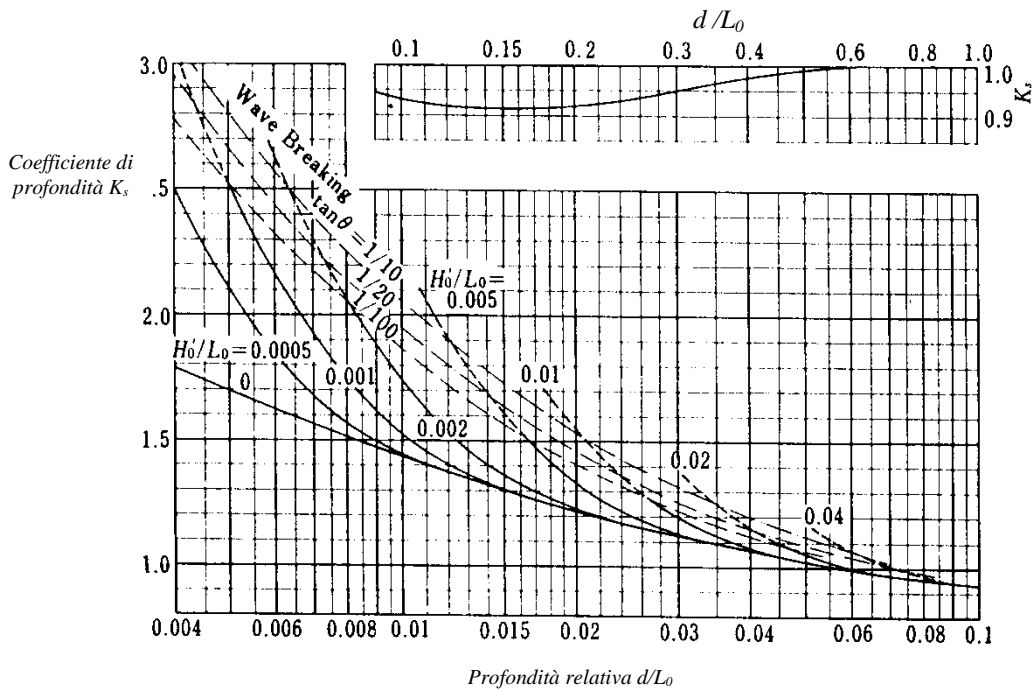


Fig. 4. Diagramma del coefficiente di profondità delle onde irregolari di altezza finita (Fonte: Goda).

7. Calcolo del wave set up. Nella zona di mareggiata si verifica il wave set up che occorre calcolare con l'ausilio del diagramma della Fig. 5.

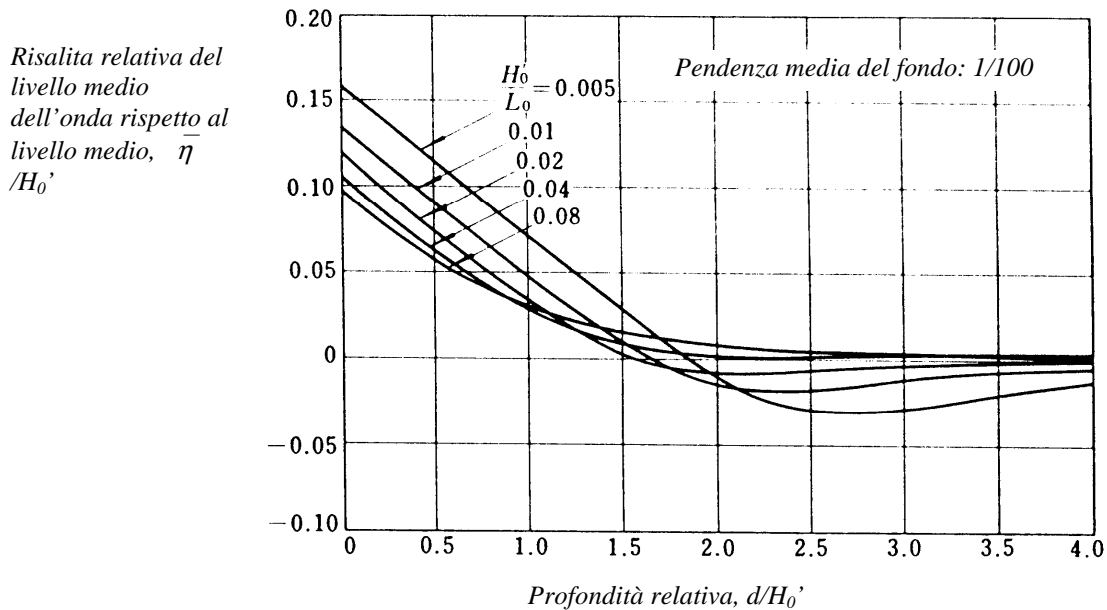


Fig. 5. Set-down / set-up del moto ondoso irregolare dovuto alla profondità e al frangimento delle onde (Fonte: Goda).

Per conoscere come cambia il wave set up dal punto di frangimento più esterno fino all'opera si considerino le profondità comprese tra questi estremi assumendo per esse i valori contenenti gli innalzamenti di livello dovuti alla marea e alla tempesta. Entrando nel diagramma della Fig. 5 con i valori di d/H_0' , in corrispondenza del valore di H_0'/L_0 si determina $\bar{\eta}/H_0'$ e quindi $\bar{\eta}$. Se $\bar{\eta}$ è grande occorre ripetere il calcolo ponendo al posto di d il valore $d' = d + \bar{\eta}$.

8. Calcolo dell'altezza dell'onda al piede dell'opera. L'altezza dell'onda frangente al piede dell'opera si calcola mediante il grafico della Fig. 6 entrando in ascisse con il parametro d/H_0' con d affetto delle maggiorazioni di livello dovute alla marea, alla tempesta e al wave set up.

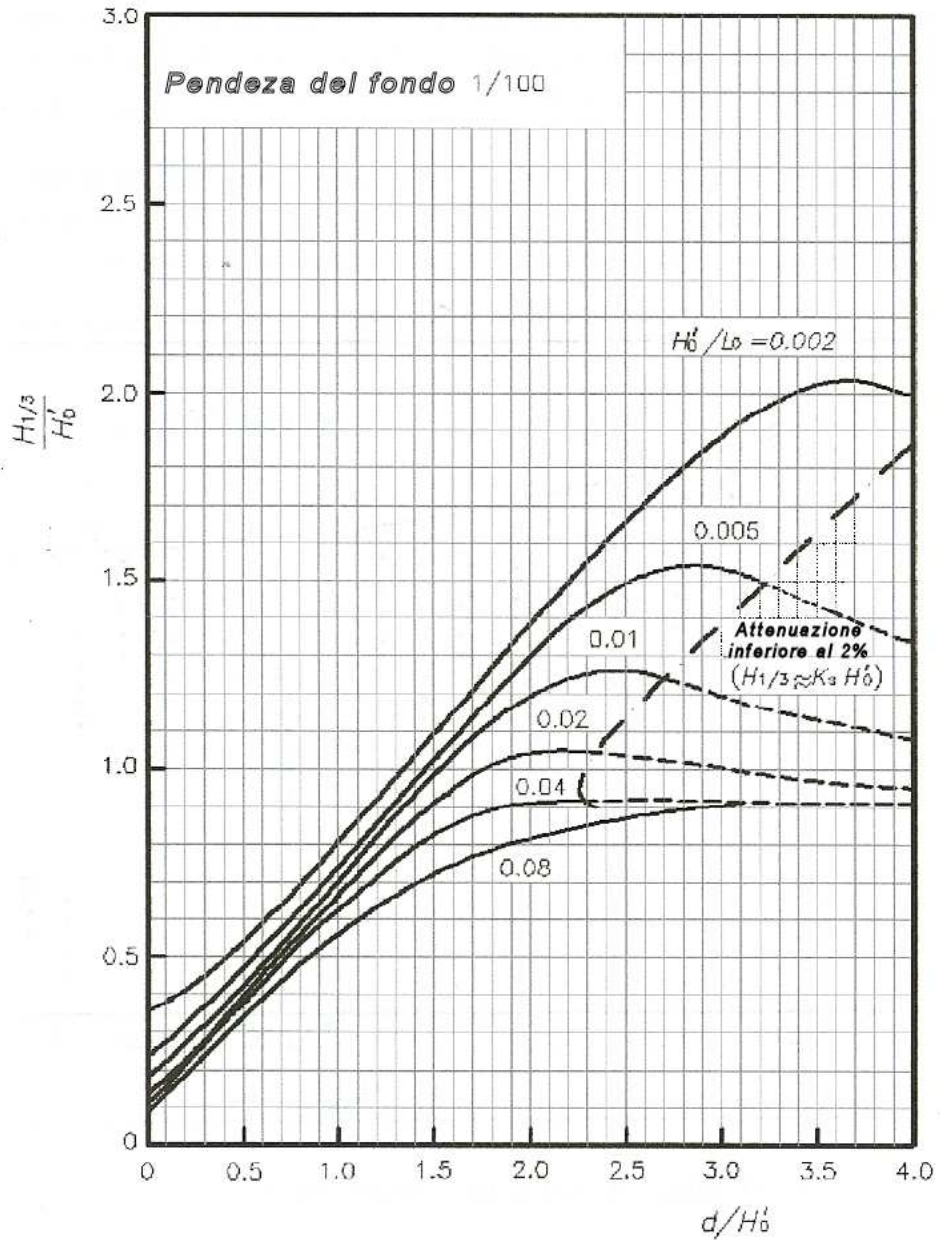


Fig. 6. Stima dell'altezza dell'onda al piede dell'opera.