



**Direzione Centrale Risorse, Organizzazione e Sistemi**  
**Centro per l'Alta Formazione**

Percorso di Formazione:

“ La difesa della strada dai pericoli naturali”

Roma Febbraio-Marzo-Aprile 2015

Difesa del corpo stradale: Valanghe, debris flow e **Marittima**

Eugenio Pugliese Carratelli-Fabio Dentale

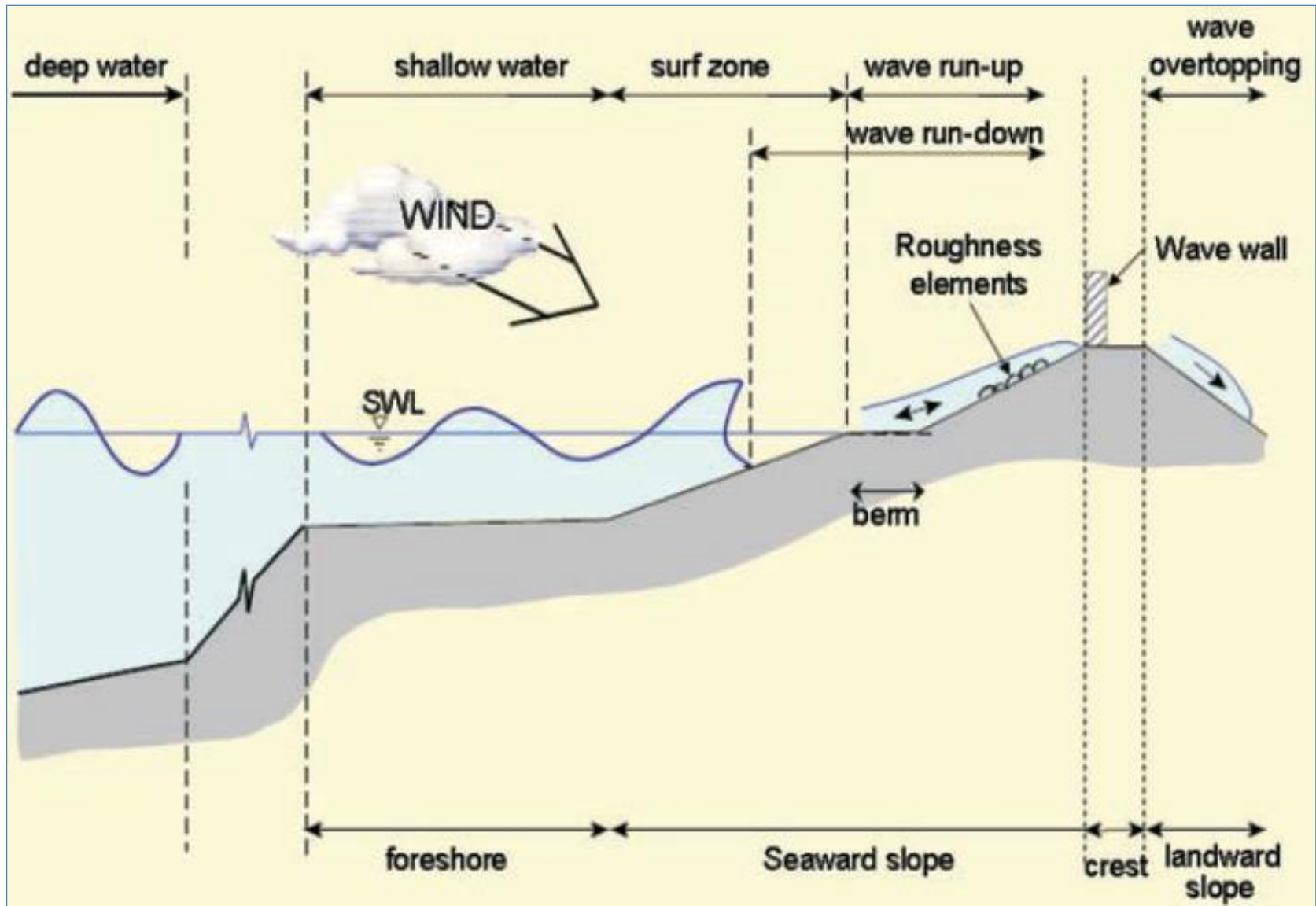
Elementi di idraulica marittima

*Parte seconda:*

*Criteria di valutazione delle azioni delle onde*







I fenomeni nella zona di bassi fondali sono complessi

# Azioni dirette delle onde:

Rischi per gli utenti-

Azione:

Limitazioni al traffico



# Frangimento

Le onde si rompono quando la formazione di turbolenza crea una forte distruzione di energia - fenomeno visibile perché ad esso so accompagna la formazione di schiuma

Esistono diversi meccanismi di frangimento, classificati solitamente con i termini “**spilling**”, “**plunging**”, “**surging**”

Il parametro che determina il tipo di rottura è:

**Parametro di Iribarren**  $\xi_0 = \frac{\tan(\beta)}{\sqrt{(H_0 / L_0)}}$

$H_0$  = Altezza in acque profonde

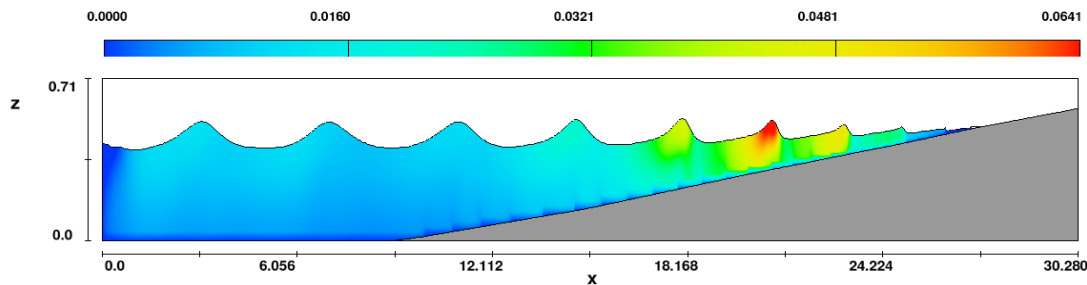
$L_0$  = Lunghezza d'onda in acque profonde =

$\tan(\beta)$  = pendenza del fondo

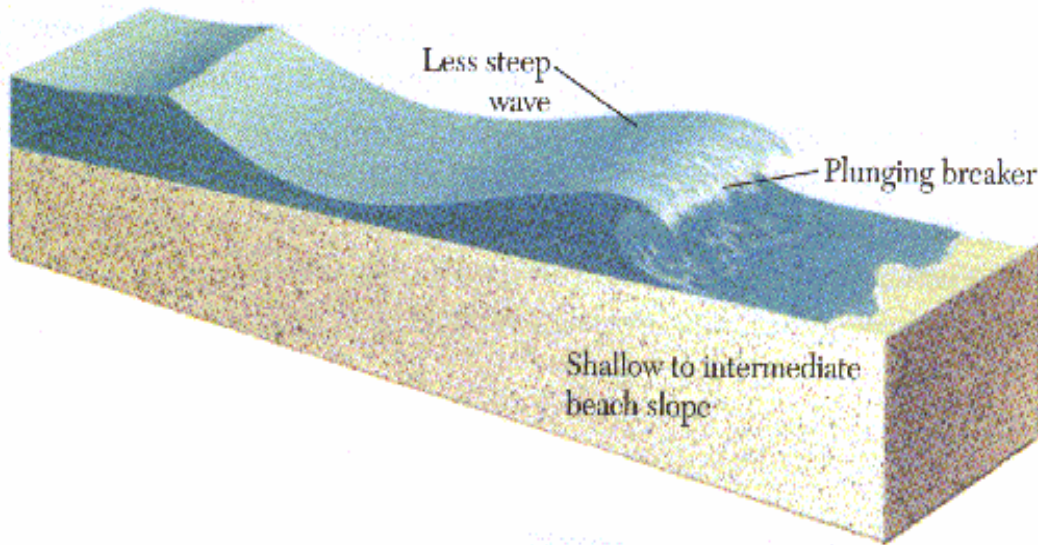
$\xi_0 < 0,4$  ; Comportamento "dissipativo" (Molta energia viene dissipata mentre l'onda procede, e quindi riflette una bassa percentuale dell' energia in arrivo)



**Spilling breaker**



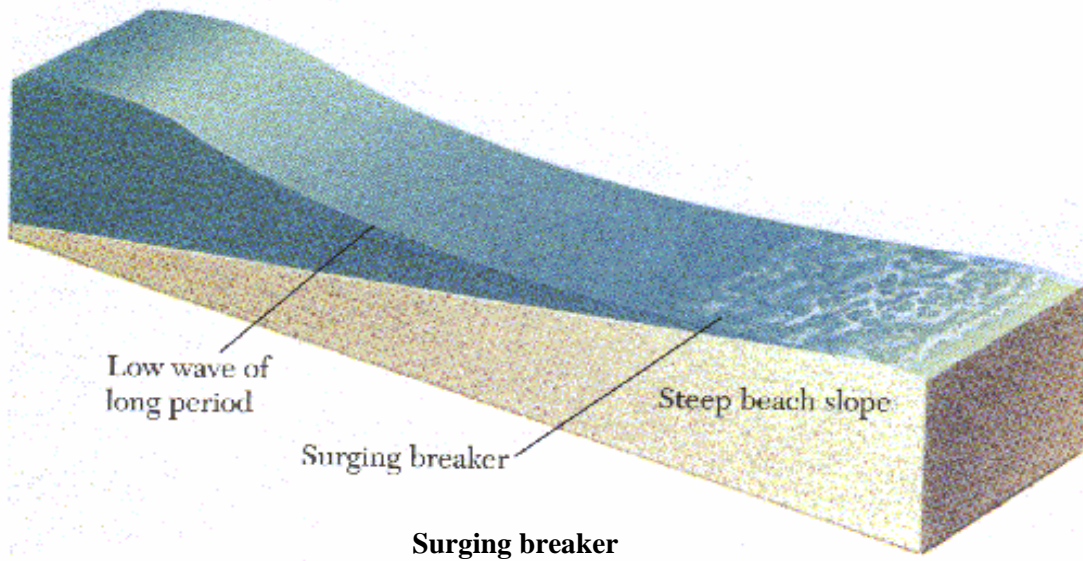
$$0,4 < \xi_0 < 2$$



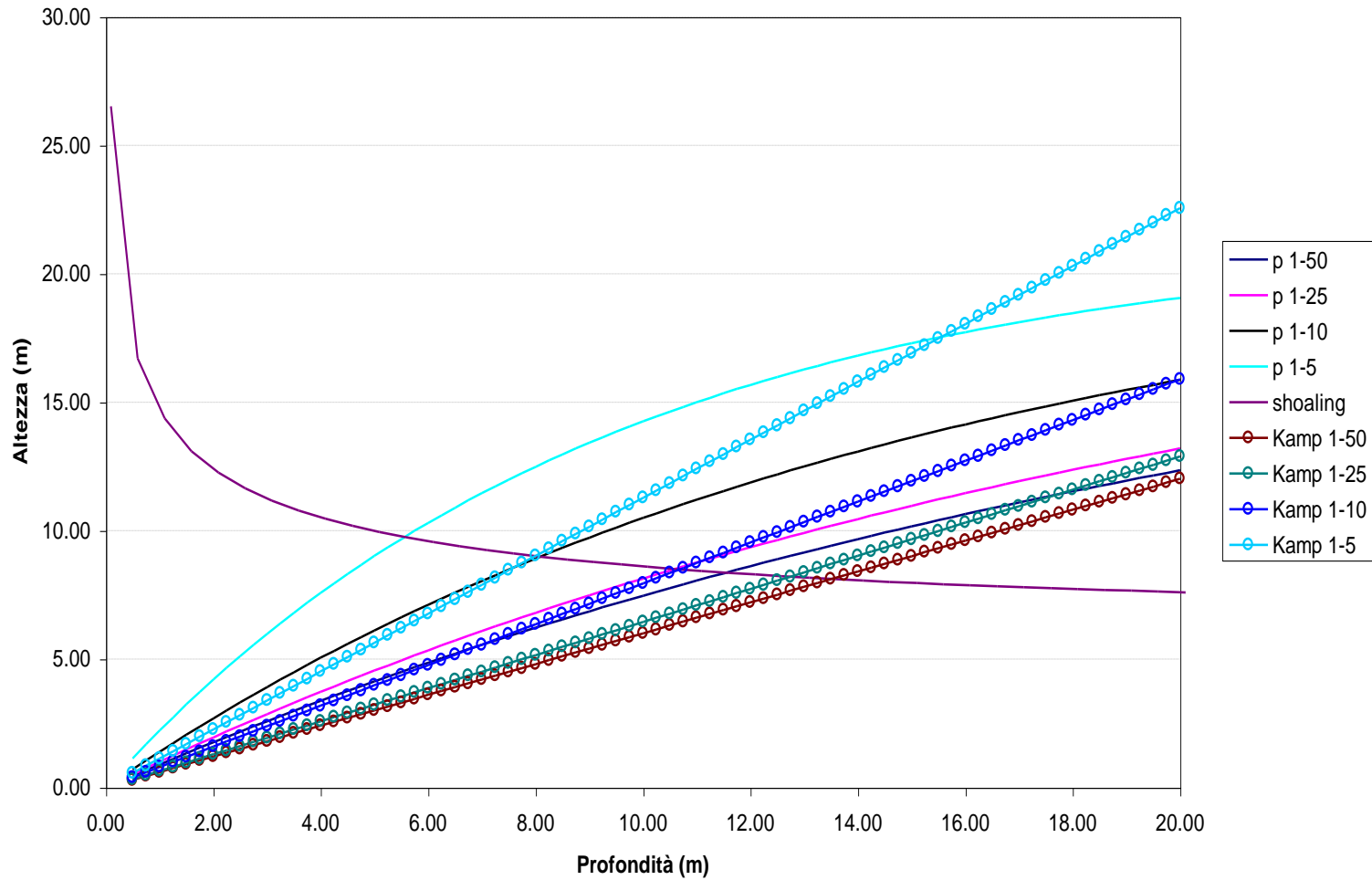
**Plunging breaker**



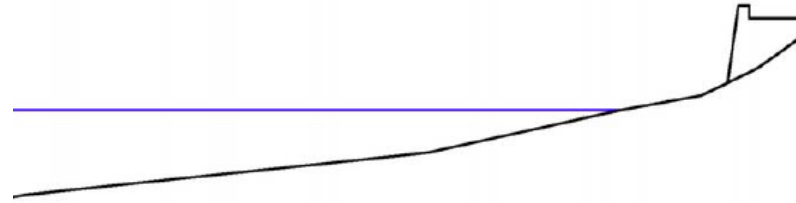
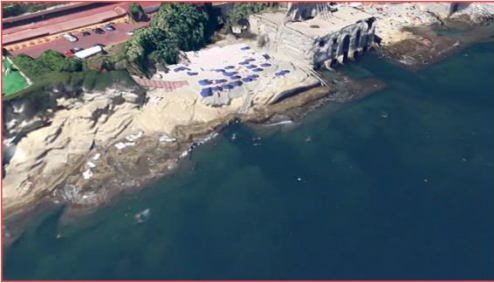
$$2 < \xi_0$$



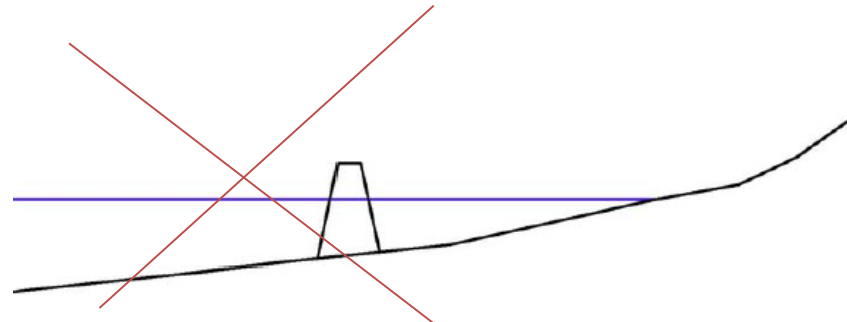
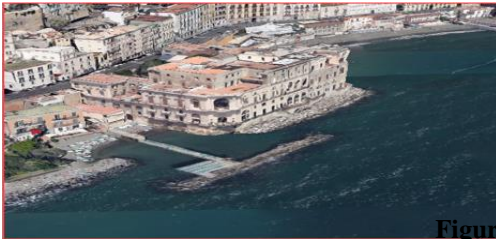
VARIAZIONE ONDA FRANGENTE (Goda- Kamphuis) - SHOALING  
periodo T = 8.75s - Hs = 7.00m



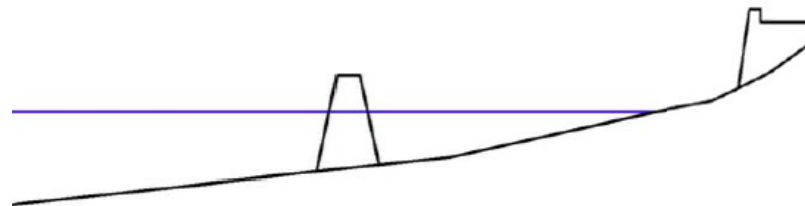
## Scenari tipici di overtopping



**Figura 5 – Scenario 2: barriera di protezione aderente o parete verticale**

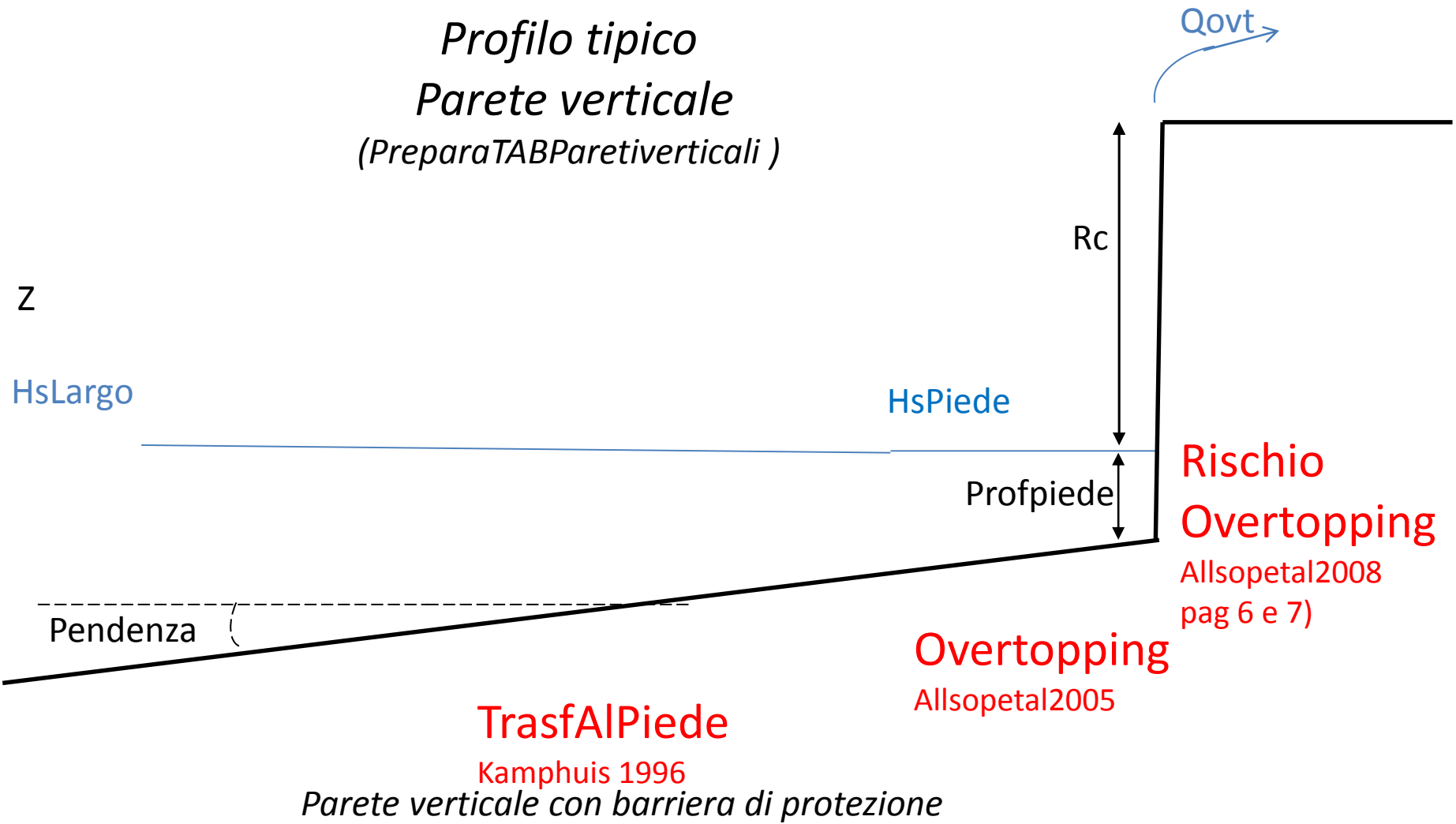


**Figura 6 - Scenario 3: spiaggia con barriera di protezione distaccata**



**Scenario 4 - parete verticale con barriera di protezione distaccata**

*Profilo tipico  
Parete verticale  
(PreparaTABParetiverticali)*

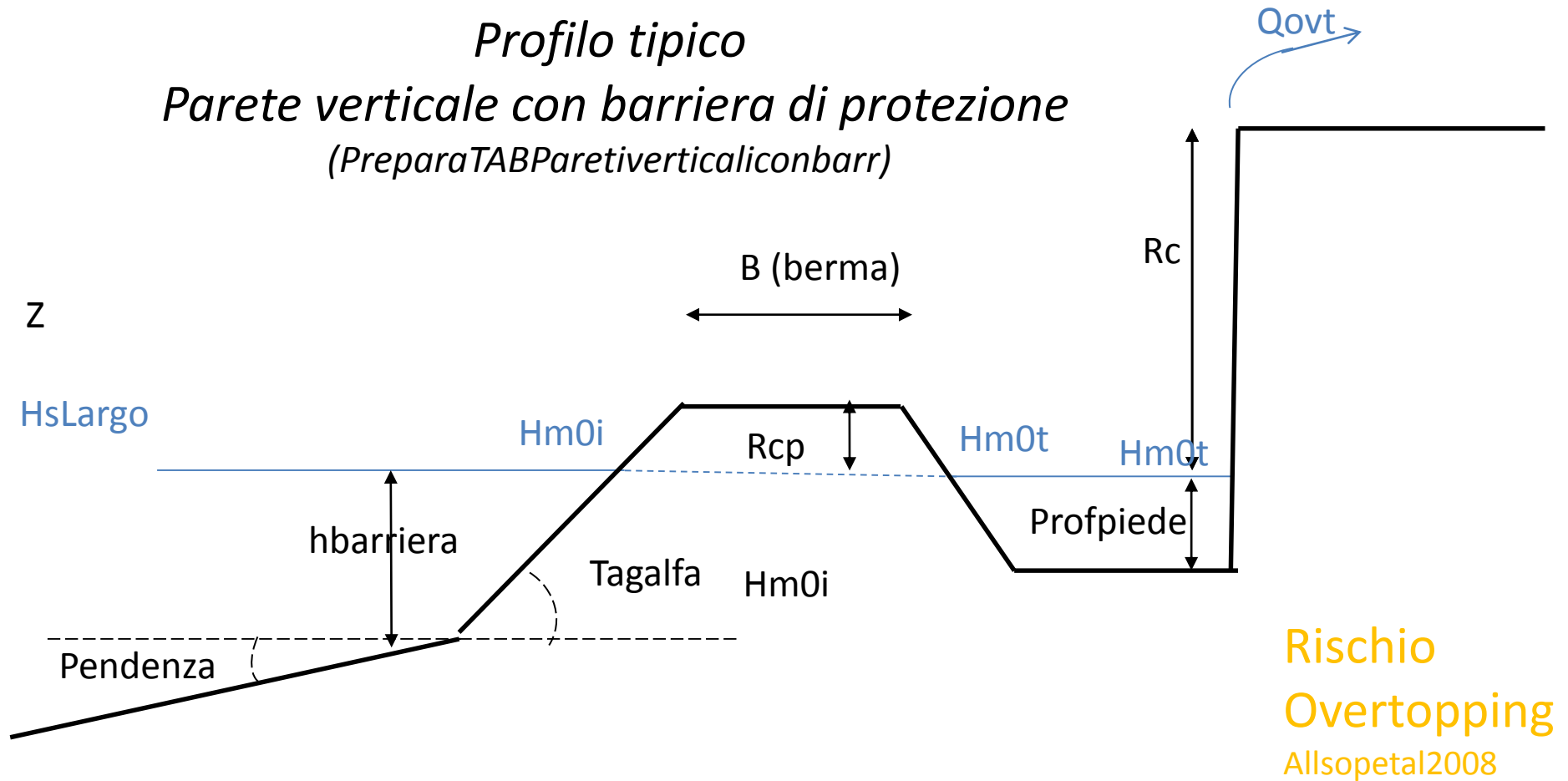


Nota: Si distacca dalla procedura seguita dalle Linee Guida AMRA (Calabrese, Epc et al, 2005) perché queste calcolano il run-up con formule che richiedono l'altezza d'onda al largo

# Profilo tipico

## Parete verticale con barriera di protezione

(PreparaTABParetiverticaliconbarr)



TrasfAlPiede

Kamphuis 1996

KtBarriera

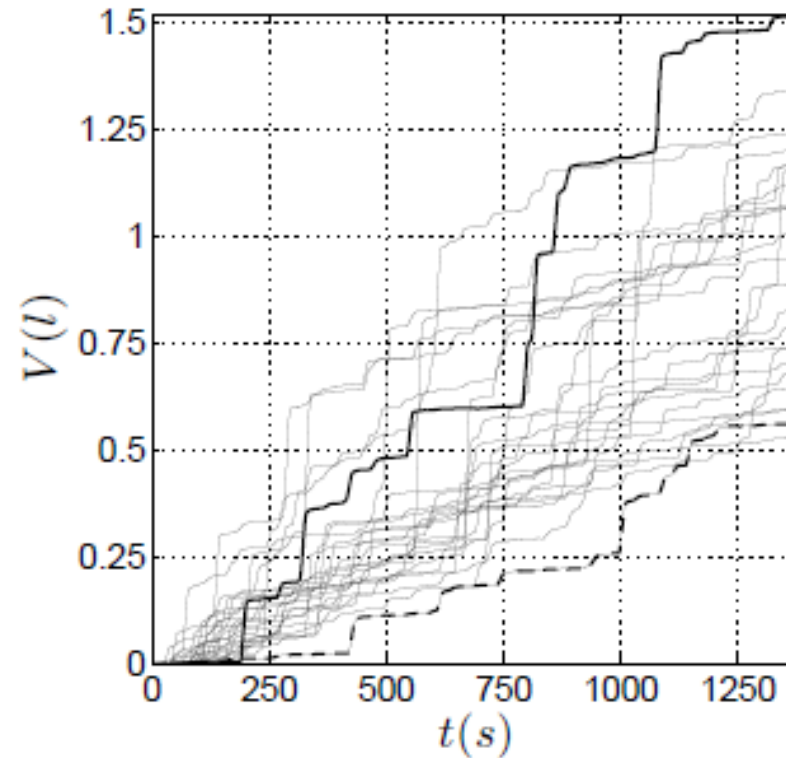
D'Angremont da  
Cappietti et al 2006

Overtopping

Allsopetal2005

Nota: Si distacca dalla procedura seguita dalle Linee Guida AMRA (Calabrese, Epc et al, 2005) perché queste calcolano il run-up con formule che richiedono l'altezza d'onda al largo

La variabilità dei valori dei parametri di overtopping è grande.



**Figure 3: Overtopping volume time series obtained for 25 repetitions of the same sea state ( $H_{m0} = 0.081 m$ ,  $T_p = 1.42 s$ ) with varying the seeding number. Thick black and dashed black lines represent the maximum and the minimum final overtopping volume respectively.**

# Anche le variazioni dei parametri di rischio sono grandi

Guidance on overtopping discharges that can cause damage to seawalls, buildings or infrastructure, or danger to pedestrians and vehicles have been related to mean overtopping discharges or (less often) to peak overtopping volumes

William Allsop, Tom Bruce , Tim Pullen & Jentsje Van Der Meer 2008  
 “Direct Hazards from Wave Overtopping – The Forgotten Aspect of Coastal Flood Risk Assessment?”

**Table 1. Limits for overtopping for pedestrians**

Hazard type and reason	Mean discharge q (l/s/m)	Max volume <sup>(1)</sup> V <sub>max</sub> (l/m)
Trained staff, well shod and protected, expecting to get wet, overtopping flows at lower levels only, no falling jet, low danger of fall from walkway	1 – 10	500 at low level
Aware pedestrian, clear view of the sea, not easily upset or frightened, able to tolerate getting wet, wider walkway <sup>(2)</sup> .	0.1	20 – 50 at high level or velocity

<sup>(1)</sup> Note: These limits relate to overtopping velocities well below  $v_c \leq 10$  m/s. Lower volumes may be required if the overtopping process is violent and/or overtopping velocities are higher.

<sup>(2)</sup> Note: Not all of these conditions are required, nor should failure of one condition on its own require the use of a more severe limit.

Table 2. Limits for overtopping for vehicles

Hazard type and reason	Mean discharge $q$ (l/s/m)	Max volume <sup>(1)</sup> $V_{max}$ (l/m)
Driving at low speed, overtopping by pulsating flows at low flow depths, no falling jets, vehicle not immersed	10 – 50 <sup>(1)</sup>	100 – 1,000
Driving at moderate or high speed, impulsive overtopping giving falling or high velocity jets	0.01 – 0.05 <sup>(2)</sup>	5 – 50 <sup>(2)</sup> at high level or velocity

<sup>(1)</sup> Note: These limits probably relate to overtopping defined at highway.

<sup>(2)</sup> Note: These limits relate to overtopping defined at the defence, but assumes the highway to be immediately behind the defence.

Esistono altre tabelle per la valutazione del rischio (Leopoldo Franco)



**Rischio indiretto:  
erosione delle spiagge o delle scogliere e conseguente  
rischio di crollo dell'opera**

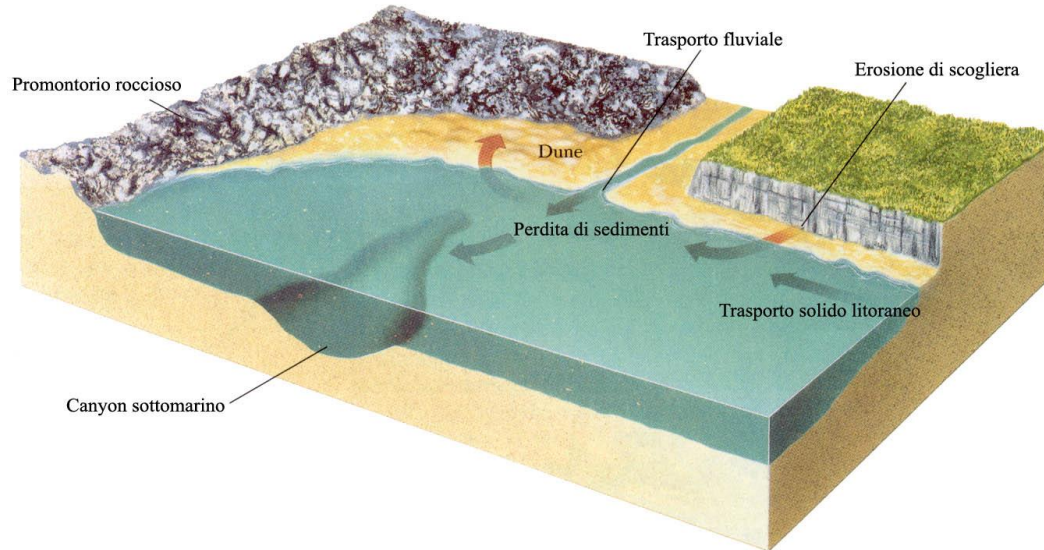
**Azione:**

**Individuazione dei tratti di strada a rischio, segnalazione del pericolo**



Sia coste rocciose, sia spiagge

L'evoluzione della costa è strettamente legata al movimento dei sedimenti nella spiaggia, sia sommersa che emersa: Essa dipende però anche dall'apporto di sedimenti che deriva in gran parte dal trasporto solido fluviale.



Quest'ultimo aspetto non può essere studiato in questa sede; è necessario tuttavia richiamare almeno le idee più comuni in merito al movimento dei sedimenti:

Trasporto **cross-shore, (trasversale)** che avviene in direzione perpendicolare alla linea di costa,

Trasporto **long-shore, (longitudinale, lungo costa)** diretto parallelamente alla linea di costa.

Le variazioni di breve termine nella configurazione del profilo di una spiaggia sono solitamente dovute al trasporto di sedimenti in direzione normale alla costa (trasporto **cross-shore**): se si effettuano successive misurazioni di un profilo di spiaggia prima e dopo di una mareggiata intensa si riscontrano facilmente delle forti variazioni.

E' un fatto abbastanza evidente quindi che le forti mareggiate causano forti perdite di sedimenti (erosione); meno evidente, ma ben osservabile in pratica, è il fatto che gli stati di mare meno intensi e con onde più lunghe favoriscono la ricostruzione del profilo.

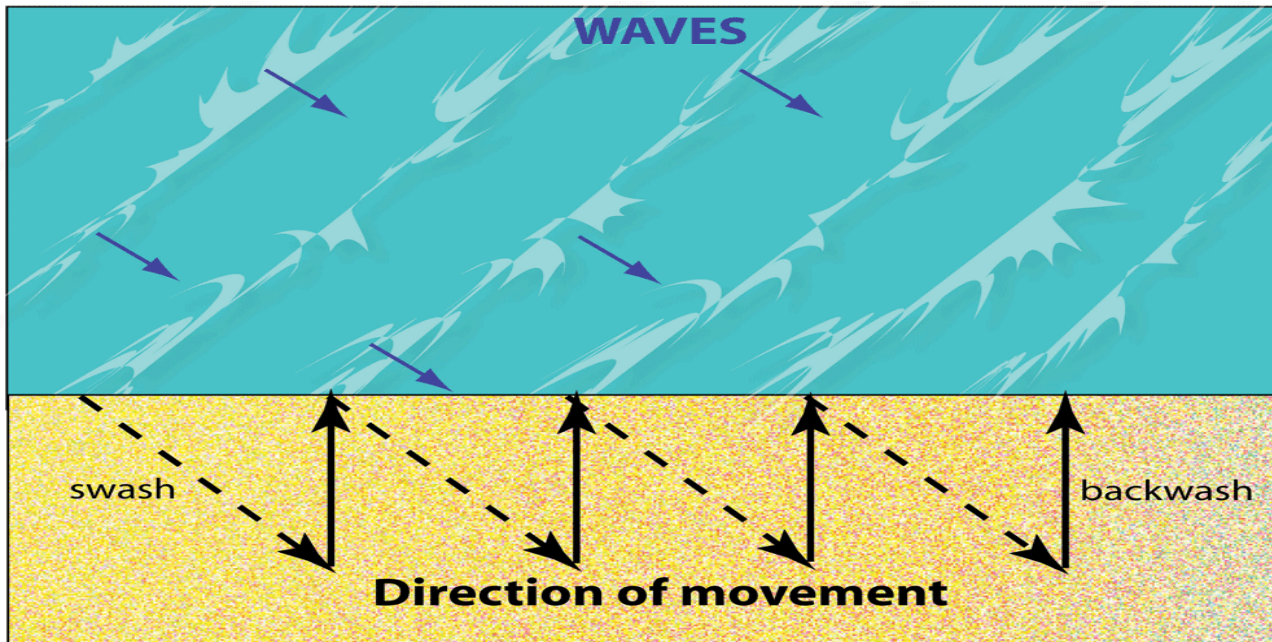
Per tempi intermedi (=un anno, alcuni anni) però, si suppone che i processi erosivi trasversali bilancino quelli ricostruttivi, cosicché le variazioni della linea di spiaggia derivino unicamente dal trasporto **longshore** e tale effetto nel bilancio totale dei sedimenti viene addirittura trascurato. Considerando i processi per tempi ancora più lunghi, questa affermazione non è più vera

Il rischio per un manufatto sulla costa (=una strada) può derivare dal lento processo erosivo accumulato negli anni; ma anche da una mareggiata particolarmente intensa.

E' conveniente dare prima uno sguardo al trasporto trasversale, poi a quello longitudinale.q

## Trasporto long-shore (lungo costa, longitudinale)

Il trasporto long-shore puo' essere visto come il risultato di due processi: e cioe' del frangimento dell'onda, che porta in sospensione i sedimenti ed il trasporto vero e proprio dovuto alle correnti litoranee . Esso interessa una fascia ristretta della costa e la sua intensita' e direzione dipendono principalmente dall'altezza, dal periodo e dalla direzione delle onde.



La portata solida  $Q_l$  in direzione longshore di materiale solido lungo la costa dipende dal flusso di energia litoranea e dall'angolo di impatto  $\alpha_b$  dell'onda con la spiaggia: esistono molte formule per la sua valutazione, tutte con una struttura molto simile alla seguente, che è nota come "CERC"

$$Q_l = 3,6 * 10^6 * H_{sb}^{(5/2)} * \text{sen}(2 \alpha_b) \quad (\text{in m}^3/\text{anno})$$

## Trasporto cross-shore (trasversale)

esistono vari modelli, anche complessi, implementati in software disponibile liberamente. Ad es:

SBEACH, dell'usace -<http://chl.erdc.usace.army.mil/cem>) ,  
Xbeach della Delft technical University)

essi però sono sistematicamente carenti nella valutazione della ricostruzione dovuta alle mareggiate con onde basse e lunghe.

In linea di massima, l'azione si può ritenere dipendente dal flusso di energia;  
Tuttavia, alcune onde provocano erosione, altre invece ricostruiscono

CRITERI PER VALUTARE SE L'AZIONE E'  
EROSIVA O RICOSTITUTIVA  
(da manuale USACE)

$$H_0/L_0 \leq 0.00070 (H_0/wT)^3, \quad \text{erosion} \quad (2)$$

$$H_0/L_0 > 0.00070 (H_0/wT)^3, \quad \text{accretion}$$

$$H_0/L_0 < 4.8 \cdot 10^8 (H_0/d_{50})^{-3.05}, \quad \text{accretion} \quad (3)$$

$$H_0/L_0 \geq 4.8 \cdot 10^8 (H_0/d_{50})^{-3.05}, \quad \text{erosion}$$

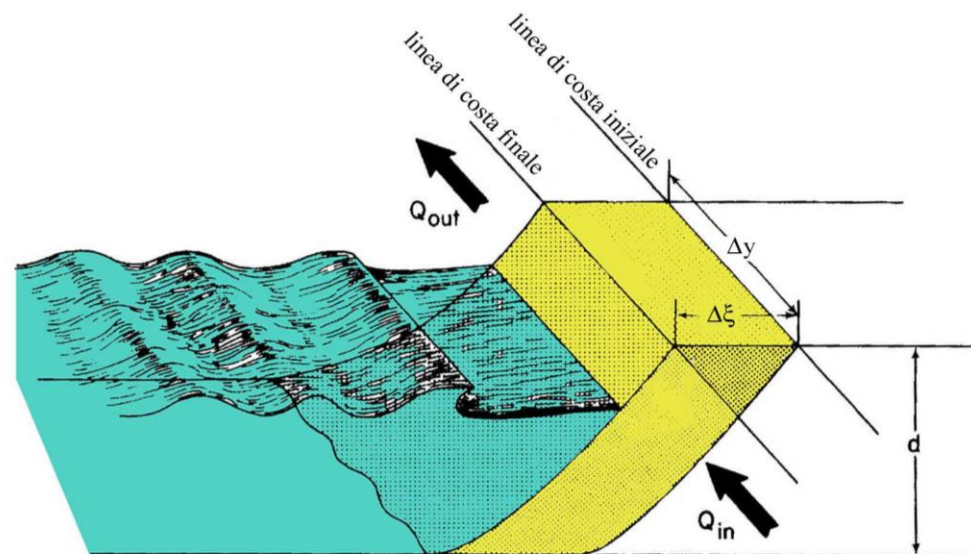
$$H_0/L_0 < 115 (\pi w/gT)^{1.5}, \quad \text{accretion}$$

$$H_0/L_0 \geq 115 (\pi w/gT)^{1.5}, \quad \text{erosion}$$

## Modelli ad una linea

Per valutare l'evoluzione nel tempo di un litorale è pratica comune implementare un modello numerico del tipo "ad una linea".

Tale modello si basa sull'equazione di continuità dei sedimenti in direzione parallela alla costa, accoppiata alla formula di trasporto solido sopra riportata.





Considerando una sezione della linea di costa avente larghezza  $\Delta y$ , ed indicando con  $\Delta \xi$  la variazione dalla posizione iniziale in direzione offshore - inshore della linea di costa in un intervallo di tempo  $\Delta t$ , si può scrivere che:

$$\Delta V = (Q_{\text{lin}} - Q_{\text{lout}}) \Delta t$$

con  $Q_{\text{lin}}$  si indica la portata di sedimenti entranti in direzione long-shore, con  $Q_{\text{lout}}$  la portata uscente, con  $\Delta V$  l'accumulo netto  $\Delta V$

L'arretramento o l'erosione  $\Delta \xi$  nel tempo  $\Delta t$  è dato dalla seguente espressione

$$\Delta V = d \cdot \Delta \xi \cdot \Delta y$$

in cui  $d$  è la profondità della sezione interessata al movimento dei sedimenti che può essere data dalla “**profondità di chiusura**  $h_c$ ”

Materiale utile per approfondire

[www.eugeniopc.it/ANAS2015/ANAS2015.htm](http://www.eugeniopc.it/ANAS2015/ANAS2015.htm)

Oppure \_ Google

EPCDIDATTICA

AMRA “Gli scenari di rischio di erosione delle coste e relativi modelli» P.O.R. Campania 2000-2006 Misura 1.6 attività a.6 intervento” <http://www.amra.unina.it/docs.php?op=convenzioni>

APAT (2007) – Atlante delle opere di sistemazione costiera. Manuale APAT, Agenzia per la protezione dell’Ambiente e per i servizi tecnici

Giorgio Budillon (coordinatore); Fabio Dentale - Diana Di Luccio Raffaele Montella Eugenio Pugliese Carratelli - Marina Monaco - Giuseppe Spulsi

«Metodologie per la gestione di emergenze meteo-marine in aree costiere: progettazione e implementazione di una struttura previsionale di allerta inondazione delle spiagge del Comune di Napoli» Lavoro svolto per conto del Comune di Napoli

Da: Dipartimento di Scienze e Tecnologie – CCMMMA Università Parthenope in collaborazione con CUGRI (Consorzio Interuniversitario Ggrandi Rischi)

Da: Dipartimento di Scienze e Tecnologie – CCMMMA Università Parthenope in collaborazione con CUGRI (Consorzio Interuniversitario Ggrandi Rischi)

<http://www.overtopping-manual.com/>

Boccotti P., E. Foti, E. Pugliese Caratelli. Arena, G. Barbaro, L. Cavallaro, M.R. Della Rocca, V. Fiamma, P.Filianoti, C.C. Giarrusso, G. Spulsi 2001. «Previsione e prevenzione dei danni causati dal moto ondoso sulle coste.» Dissesto Idrogeologico: Inventario e Prospettive, XIX Giornata dell’ambiente, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

Allsop, W. and Bruce, T. and Pullen, T.A. and Van der Meer, J. Direct hazards from wave overtopping – the forgotten aspect of coastal flood risk assessment. In: 43rd Defra Flood and Coastal Management Conference, 1-3 July 2008, Manchester University. (2008)

Calabrese M., Vicinanza D., Buccino M. 2002. Trasmissione ondosa a tergo di scogliere a cresta bassa – Studi Costieri, n. 5, 83-96.

Vicinanza D., I.Cáceres, M. Buccino, X. Gironella, M. Calabrese, Wave disturbance behind low-crested structures: Diffraction and overtopping effects, Coastal Engineering, Volume 56, Issues 11–12, November December 2009.

Giarrusso C.C., Pugliese Carratelli E. and Spulsi G. 1999. Assessment Methods for Sea-Related Hazards in Coastal Areas. Journal of Natural Hazard, Kluwer Academic Publishers, pp. 295-309.

EurOtop-Manual. 2007, W. Die Küste – EurOtop – Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual

APAT (2007) – Atlante delle opere di sistemazione costiera. Manuale APAT, Agenzia per la protezione dell’Ambiente e per i servizi tecnici

U.S. Army Corps of Engineers 2003. Coastal Engineering Manual Cap. 4, parte II.

Tom Bruce, Jentsje van der Meer, Tim Pullen, and William Allsop (2009) Wave Overtopping at Vertical and Steep Structures. Handbook of Coastal and Ocean Engineering: pp. 411-439.