



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI CATANIA
FACOLTÀ DI INGEGNERIA
Corso di Regime e Protezione dei Litorali

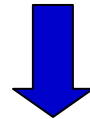
SHOALING E BREAKING

Prof. Ing. Enrico FOTI

PREMESSA (1/2)

La propagazione dal largo alla riva è un processo di trasformazione delle caratteristiche dell'onda estremamente complesso per i fenomeni che hanno luogo:

- frangimento parziale;
- interazione con correnti;
- riflessione in prossimità della costa;
- interazioni con irregolarità del fondo;
- shoaling;
- rifrazione.



Occorre adottare sensibili semplificazioni e studiare i vari fenomeni separatamente, mantenendo tuttavia gli effetti essenziali del processo di propagazione.

Nel seguito viene affrontato il problema della rifrazione, per cui si segue l'evoluzione dell'onda avvenga sul piano orizzontale, e di shoaling.

PREMESSA (2/2)

I processi di **rifrazione** e **shoaling** rappresentano i cambiamenti di direzione di propagazione, lunghezza e altezza dell'onda per effetto di lente variazioni topografiche dei fondali.

Un'onda che si propaga su un fondo leggermente acclive subisce delle variazioni di velocità che inducono una maggiore velocità di propagazione in acque profonde piuttosto che in acque basse.

Queste variazioni di celerità fanno sì che, quando un'onda si propaga con un certo angolo di inclinazione rispetto alle isobate, la parte dell'onda che si trova ad una profondità inferiore sia caratterizzata da una velocità di propagazione inferiore rispetto a quella che si trova in acque più profonde.

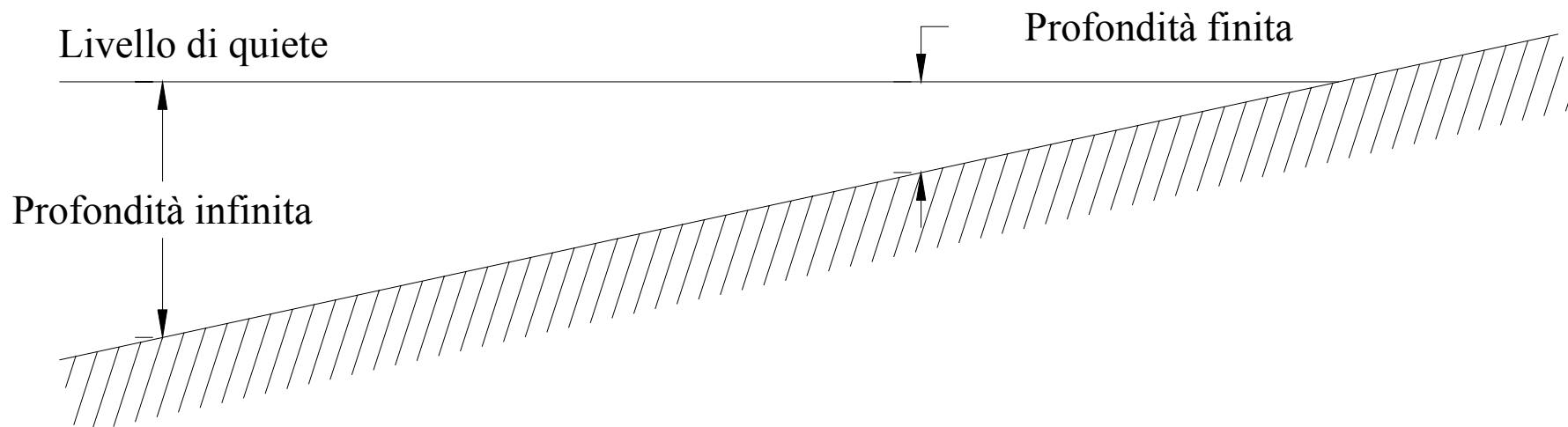
Tali differenze hanno come effetto quello di far “ruotare” la cresta dell'onda in maniera tale da allinearla alle isobate.

IL FENOMENO DI SHOALING (1/2)

Nella loro propagazione dal largo verso la riva le onde si mantengono bidimensionali quando:

- a) il fondale presenta batimetriche rettilinee e parallele;
- b) il moto ondoso su profondità infinita ha direzione ortogonale alla linea di costa (attacco frontale).

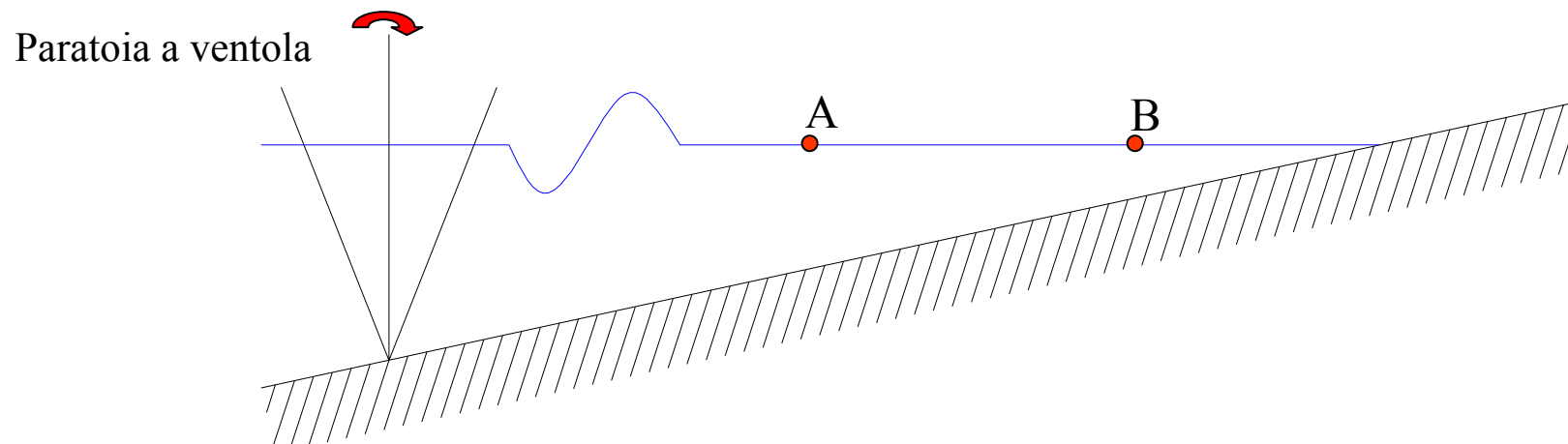
Nei casi suddetti, il processo di shoaling interpreta la conservazione del flusso medio di energia per unità di larghezza della cresta dalla profondità infinita alla generica profondità h .



IL FENOMENO DI SHOALING (2/2)

Con riferimento alla figura, si consideri un'oscillazione della paratoia di tipo periodico con conseguente generazione di onde regolari. Si noti che le onde sono dette regolari se, nel dominio del tempo, in qualsiasi punto del campo di moto, si mantengono uguali fra loro.

Si noti inoltre che nel passaggio dal punto A al punto B, sebbene vi sia una variazione di altezza d'onda, non vi è variazione di periodo (il periodo di ogni fenomeno nel canale è quello imposto dalla paratoia).



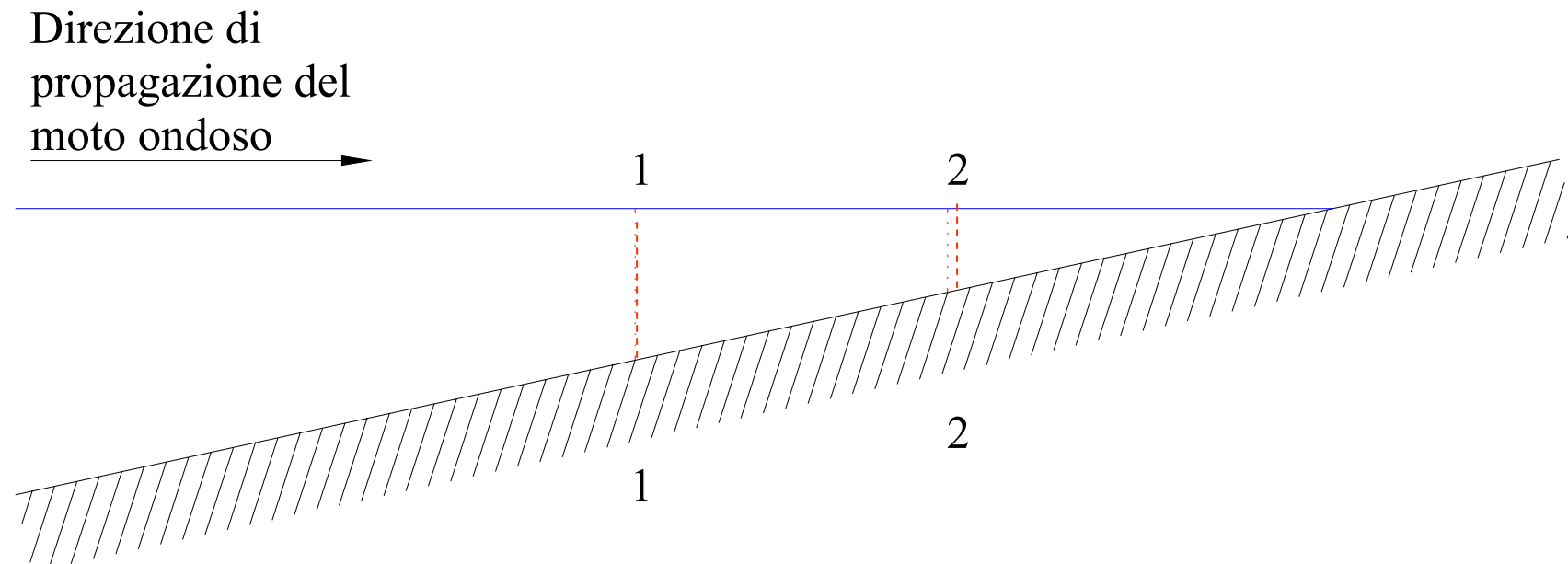
Ipotizziamo che il fondale sia acclive di pendenza modesta. Ipotizziamo il processo non dissipativo.

FORMULAZIONE DEL PROBLEMA (1/3)

Con riferimento alla figura, consideriamo un volume di controllo individuato da due piani verticali perpendicolari alla direzione di propagazione delle onde.

La quantità media di energia nell'unità di tempo (potenza media) che attraversa il primo piano (1-1), deve essere uguale a quella che attraversa il secondo piano (2-2).

Ricordiamo che la potenza è data dal prodotto di una forza per una velocità, ovvero di (una pressione per un'area per una velocità).



FORMULAZIONE DEL PROBLEMA (2/3)

Esprimiamo la conservazione del flusso medio di energia tra la profondità infinita e la generica profondità h come:

$$Ec_g = E_o c_{g_o}$$

dove con il pedice “o” si sono indicate le quantità su profondità infinita, mentre E rappresenta la densità di energia e c_g la velocità di propagazione dell’energia. Il periodo dell’onda è considerato un invariante della propagazione.

Al primo e al secondo ordine di approssimazione si ha:

$$E = \rho g H_o^2 \quad c_g = \frac{c_o}{2} \quad c_o = \frac{gT}{2\pi} \quad (\text{I}^\circ \text{ ordine})$$

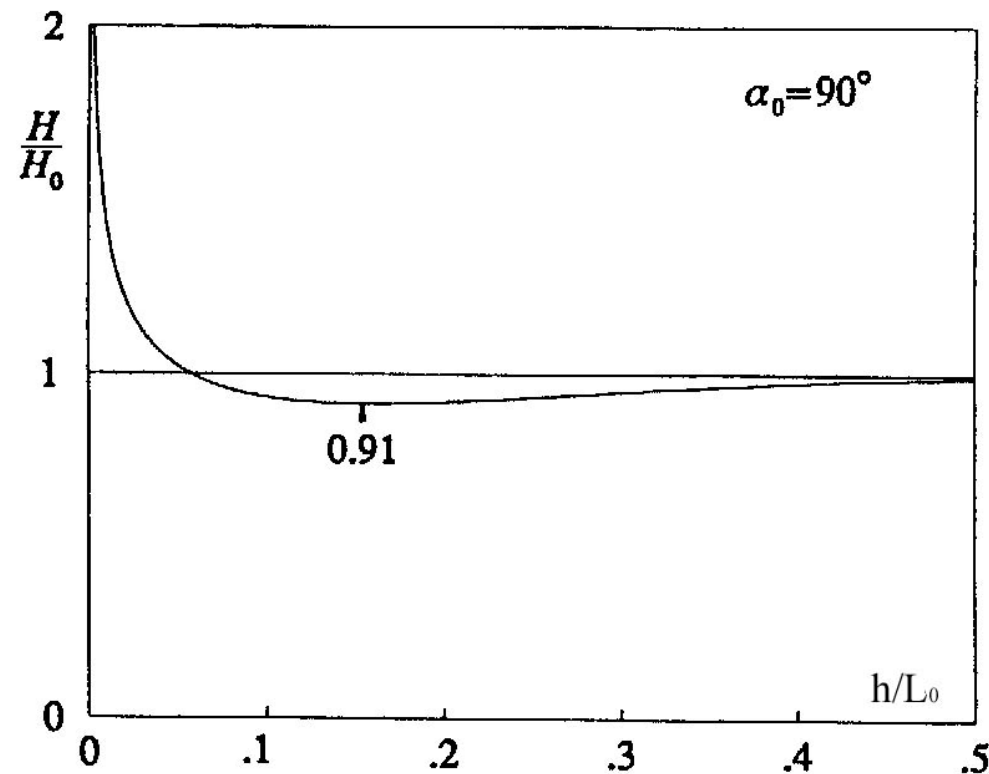
$$E = \rho g H^2 \quad c_g = \frac{c}{2} \left\{ 1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right\} \quad c = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kh) \quad (\text{II}^\circ \text{ ordine})$$

Introducendo queste relazioni nell’equazione precedente, si ottiene:

$$K_s = \frac{H}{H_o} = \sqrt{\frac{c_{g_o}}{c_g}} = \sqrt{\frac{2 \cosh^2(kh)}{2kh + \sinh(2kh)}}$$

FORMULAZIONE DEL PROBLEMA (3/3)

Il K_s così determinato è detto coefficiente di shoaling. Esso correla l'altezza d'onda locale H , corrispondente alla profondità h , all'altezza d'onda H_0 al largo (profondità infinita). Possiamo rappresentare il coefficiente di shoaling in un grafico H/H_0 in funzione del rapporto h/L_0 .



Come si vede, l'effetto di shoaling è comunque piccolo ($<10\%$). Inoltre, l'altezza d'onda non andrà mai all'infinito perché prima subentra il frangimento.

IL BREAKING (1/2)

Un'onda regolare di lunghezza L (o periodo T) che si propaga su di una profondità H del fondo è instabile e frange quando la sua altezza H raggiunge e supera un valore H_b (altezza limite di stabilità o altezza di frangimento) che dipende da h e da L (ovvero da T).

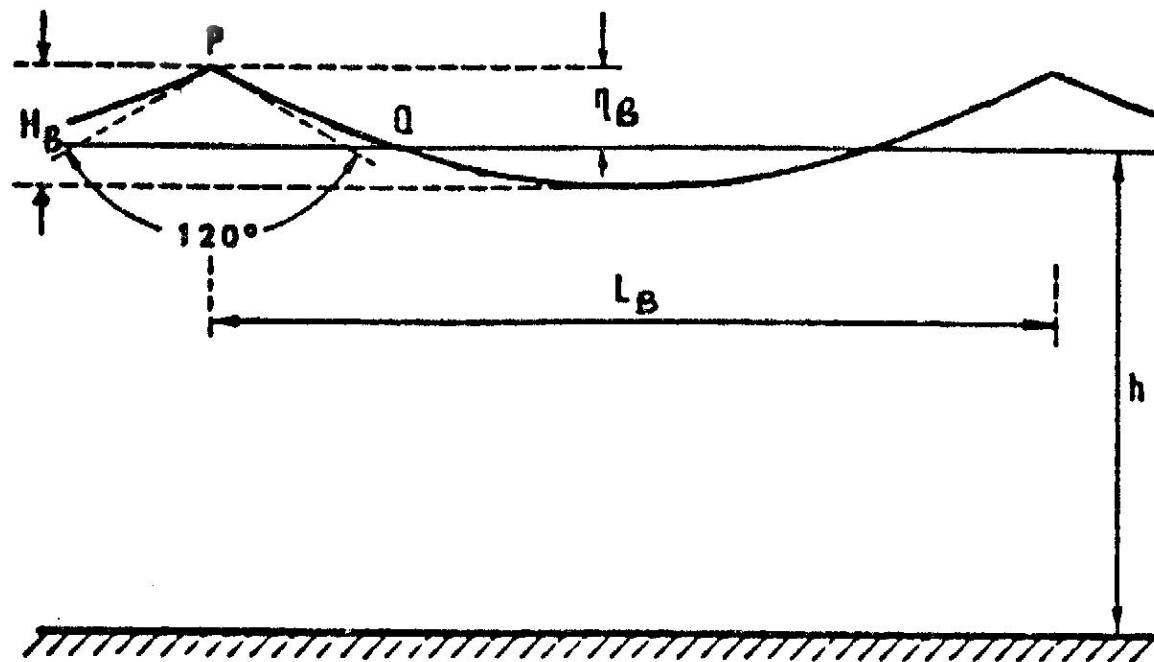
Il criterio di frangimento più utilizzato è quello di Stokes (1880) in base al quale le onde frangono quando la velocità euleriana orizzontale V_x in corrispondenza della cresta uguaglia la velocità di fase c , cioè quando:

$$(V_x)_b = c_b \quad \text{per } \eta = \eta_c$$

avendo indicato con il pedice b le grandezze corrispondenti alla situazione di frangimento.

IL BREAKING (2/2)

In tali condizioni il profilo d'onda presenta un angolo di 120° in corrispondenza a $\eta = \eta_c$, come mostra la figura sotto riportata, la quale evidenzia inoltre che la cresta si mantiene simmetrica rispetto ad un asse verticale (frangimento tipo spilling).



Profilo d'onda limite secondo il criterio di Stokes.

IL BREAKING SU PROFONDITÀ INFINITA: IL CRITERIO DI STOKES (1/2)

Applicando il criterio di Stokes nella condizione di profondità infinita, Mitchell (1893) ha proposto per la ripidità limite la relazione:

$$H_b / L_b = 0.142$$

dedotta a partire da un modello di rappresentazione del moto ondoso di tipo lineare. In tale relazione la lunghezza d'onda al frangimento L_b è correlata alla lunghezza d'onda al primo ordine di approssimazione:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi}$$

attraverso la

$$L_b = 1.2L = 1.2 \frac{gT^2}{2\pi}$$

la quale conduce alla velocità di fase al frangimento

$$c_b = 1.2c = \frac{1.2gT}{2\pi}$$

IL BREAKING SU PROFONDITÀ INFINITA: IL CRITERIO DI STOKES (2/2)

Applicando il criterio di Stokes nella condizione di profondità finita, Miche (1944) ha proposto per la ripidità limite la relazione:

$$H_b / L_b = 0.14 \tanh\left(\frac{2\pi h}{L_b}\right)$$

riferita al campo di profondità relative:

$$\frac{h}{L_b} \geq 0.11$$

Si noti come usualmente la relazione di Miche imponendo $L_b=L$, ovvero:

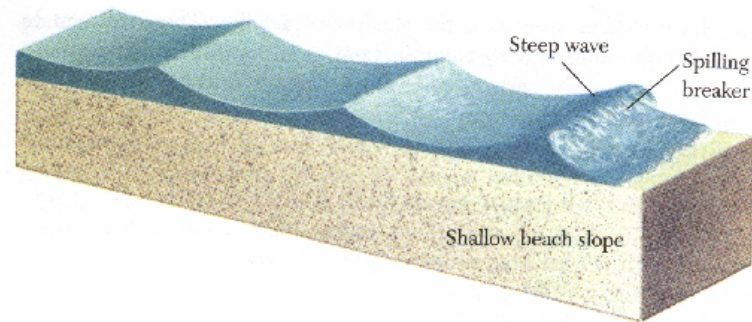
$$L_b = L = \left(\frac{gT^2}{2\pi}\right) \tanh(kh)$$

Tuttavia, con l'assunzione espressa da quest'ultima relazione, non viene verificata per la condizione di profondità infinita la relazione prima vista.

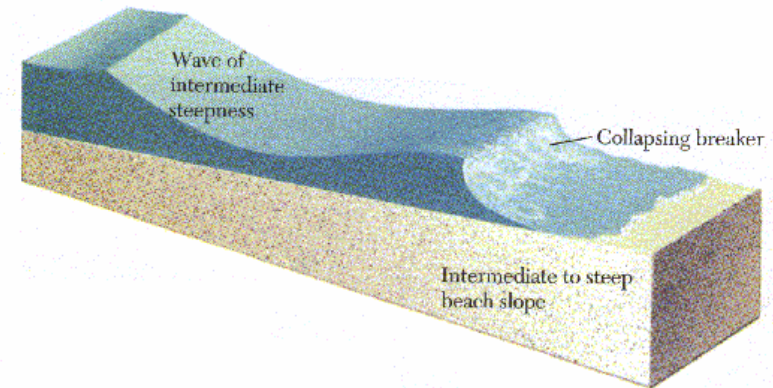
Proprio per questi motivi si usa su profondità finite un altro criterio di frangimento che lega la condizione limite alla profondità locale. Si ha frangimento quando:

$$\frac{H}{h} > 0.8$$

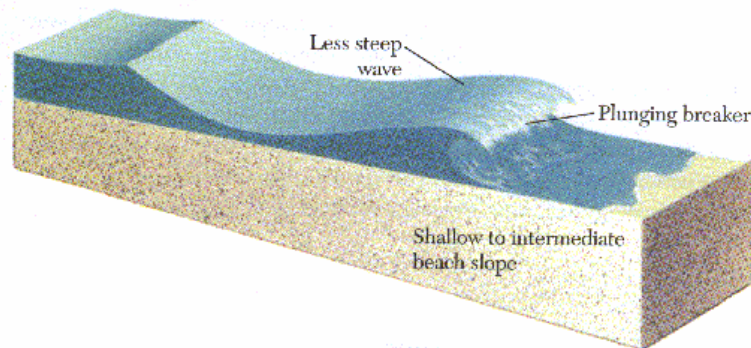
LE PRINCIPALI FIGURE DI BREAKING (1/6)



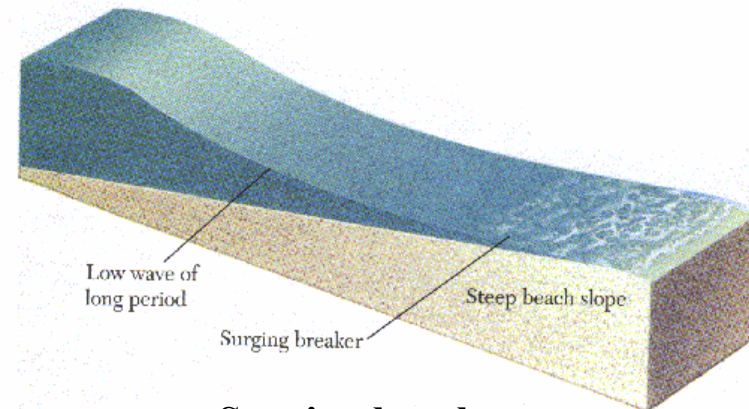
Spilling breaker



Collapsing breaker

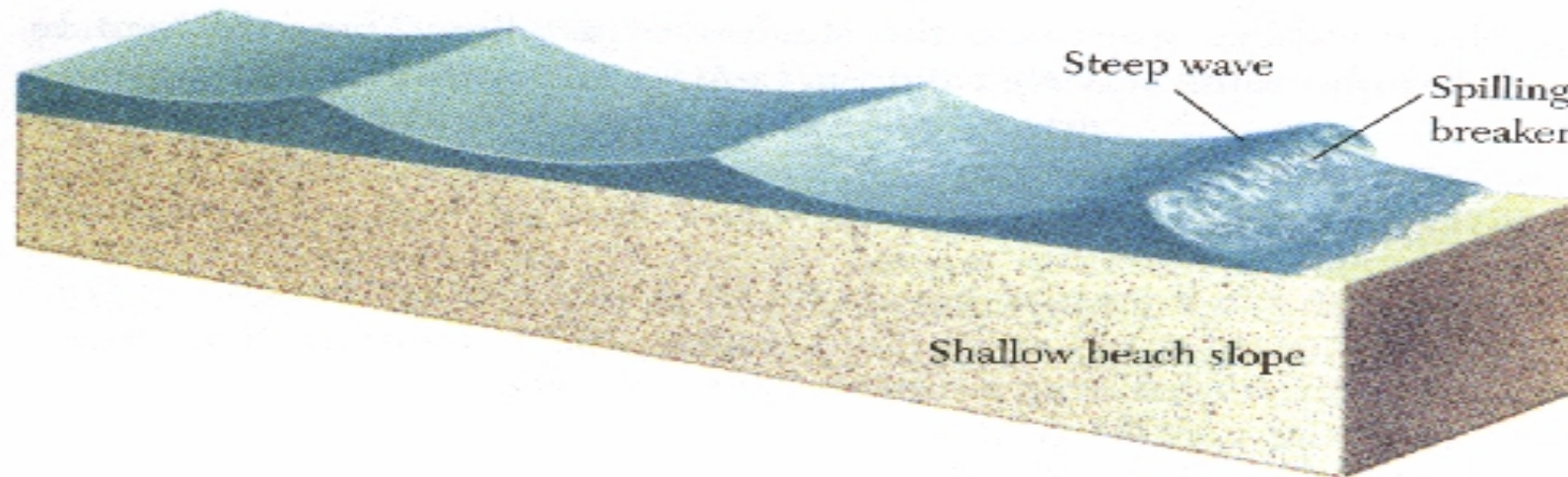


Plunging breaker



Surging breaker

LE PRINCIPALI FIGURE DI BREAKING (2/6)

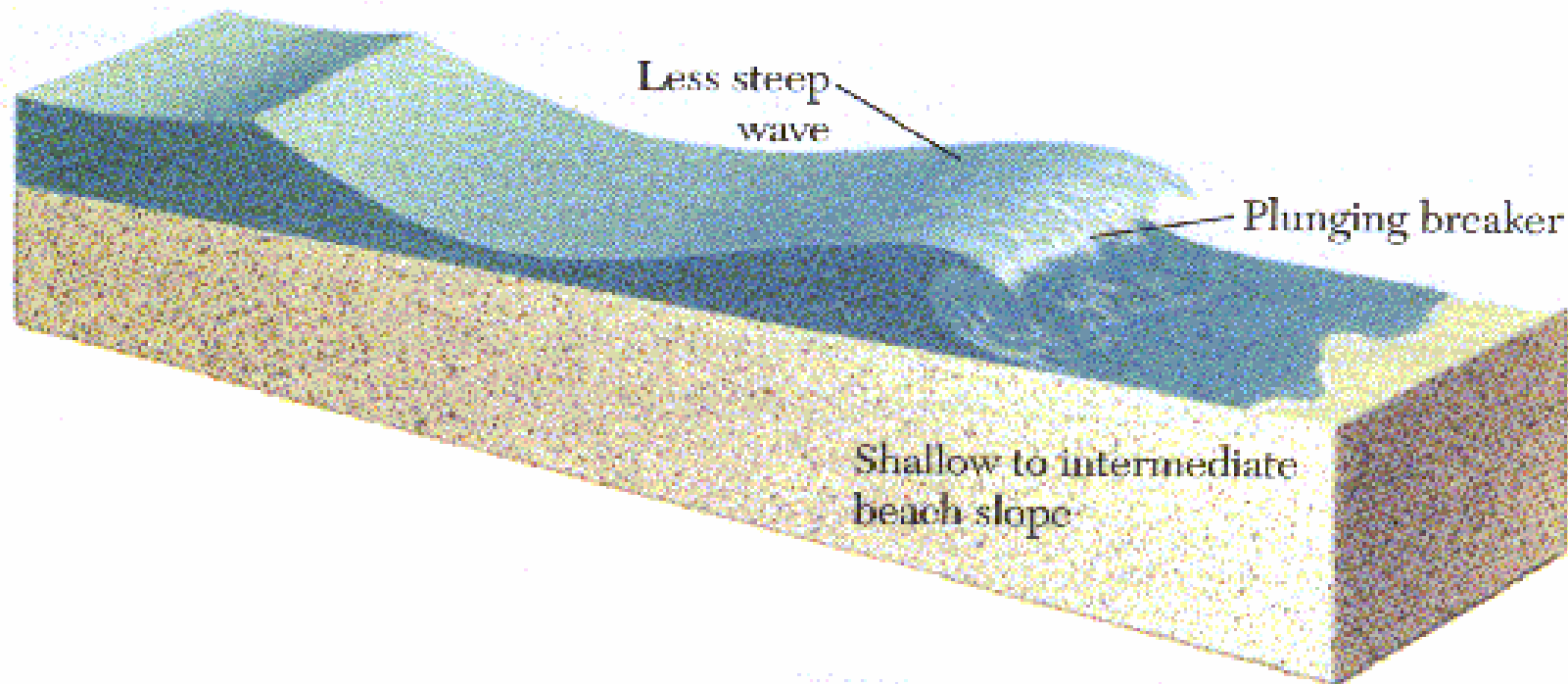


Spilling breaker

Il frangimento di tipo spilling è caratterizzato da cresta simmetrica rispetto all'asse verticale che passa per il punto più alto della cresta stessa. Presenta schiuma sul lato della cresta dalla parte del verso di propagazione del moto ondoso.

Esso risulta associato a fondali orizzontali o a modesta pendenza e ad onde con elevata ripidità H_0/L_0 al largo, essendo H_0 l'altezza d'onda al largo che corrisponde all'altezza locale H prima del frangimento attraverso il processo di shoaling.

LE PRINCIPALI FIGURE DI BREAKING (4/6)

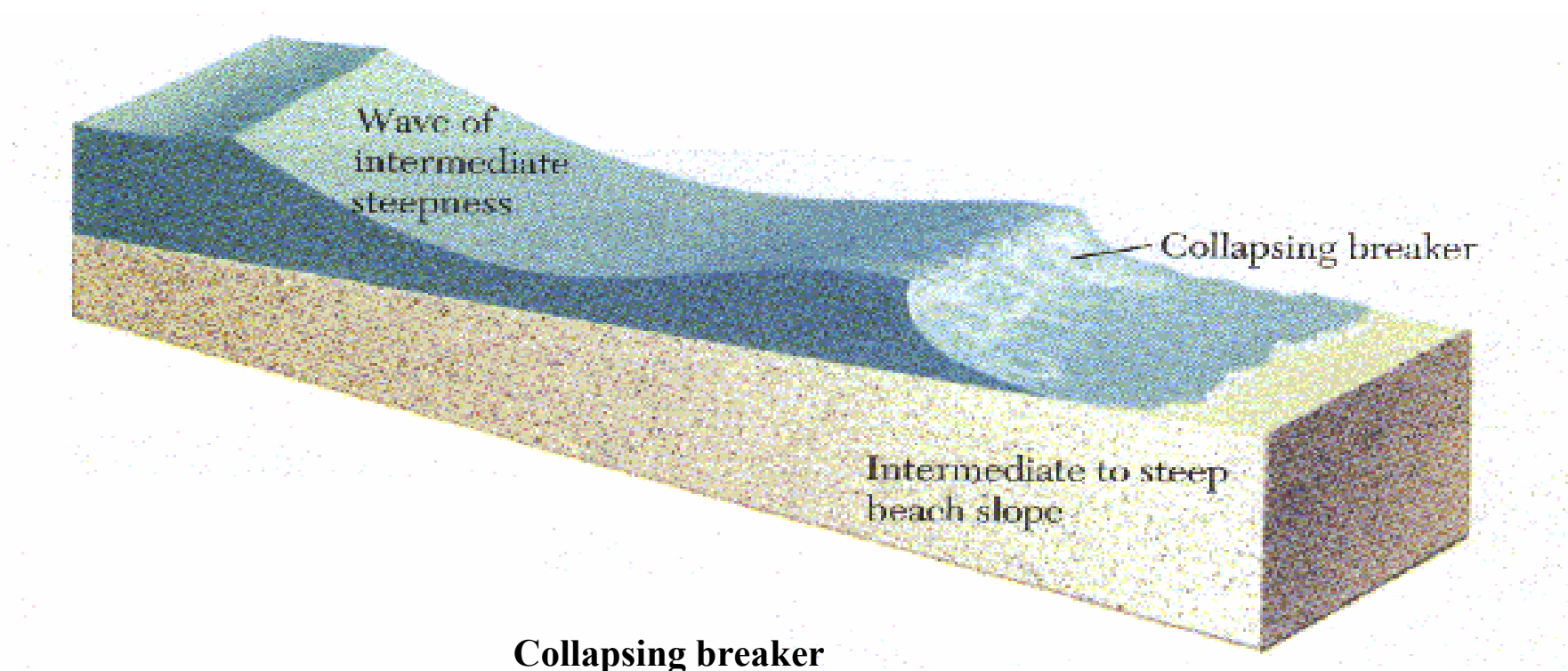


Plunging breaker

Il frangimento di tipo plunging è caratterizzato da una cresta non simmetrica rispetto alla verticale che passa per il punto più alto della cresta stessa, con la presenza di un “getto” e di una successiva “caduta” dalla parte del verso della propagazione del moto ondoso.

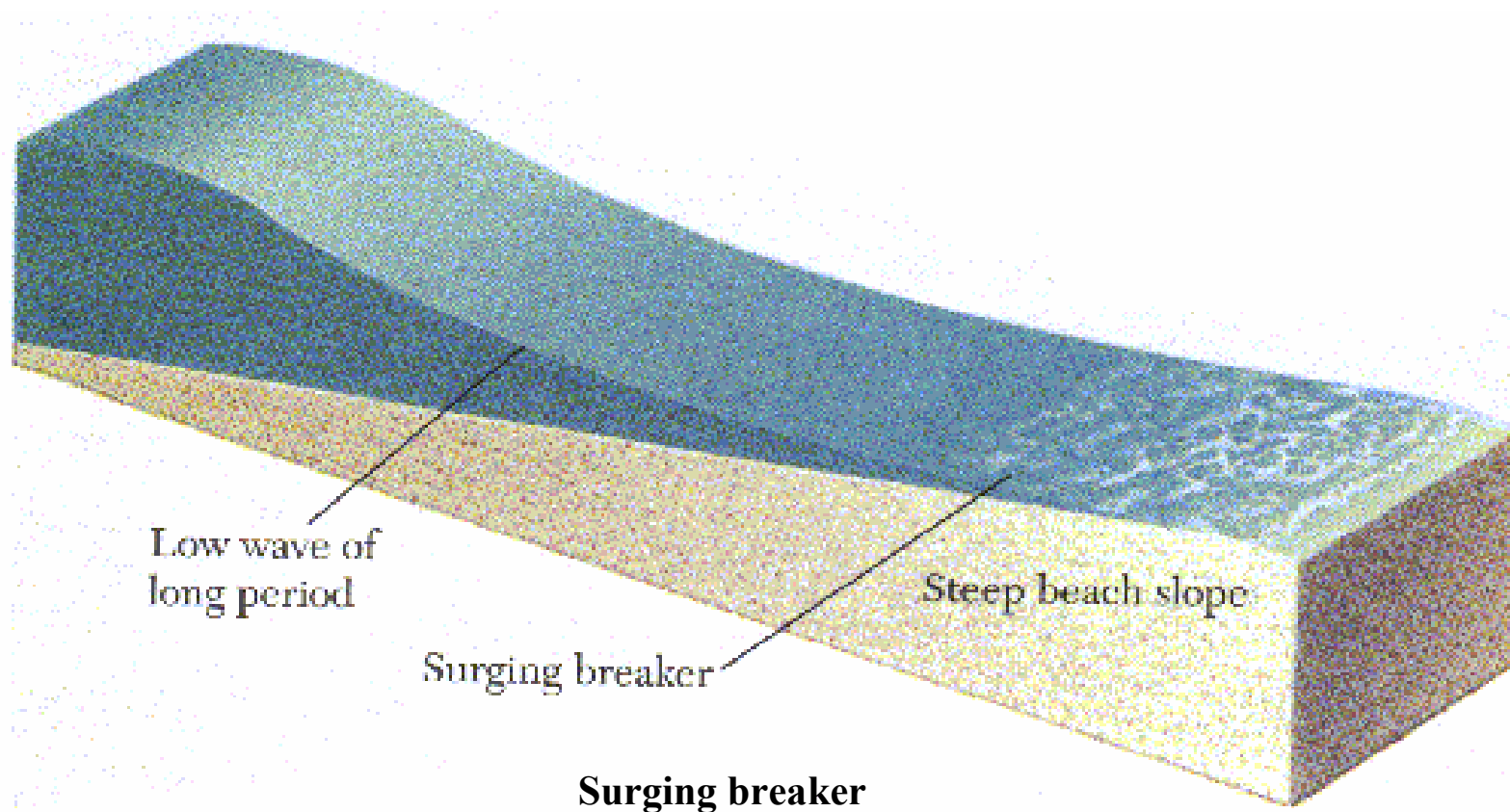
Esso è associato a fondali a media pendenza e ad onde con media ripidità H_0/L_0 al largo.

LE PRINCIPALI FIGURE DI BREAKING (3/6)



Il frangimento di tipo collapsing è intermedio tra il frangimento di tipo plunging e il frangimento di tipo surging (spiegato nel seguito).

LE PRINCIPALI FIGURE DI BREAKING (5/6)



Il frangimento di tipo surging è caratterizzato da una cresta non simmetrica rispetto alla verticale che passa per il punto più alto della cresta stessa, senza la presenza di un “getto” ma con schiuma dalla parte del verso di propagazione del moto ondoso. Esso è associato a fondali a forte pendenza e ad onde con modesta ripidità H_0/L_0 al largo.

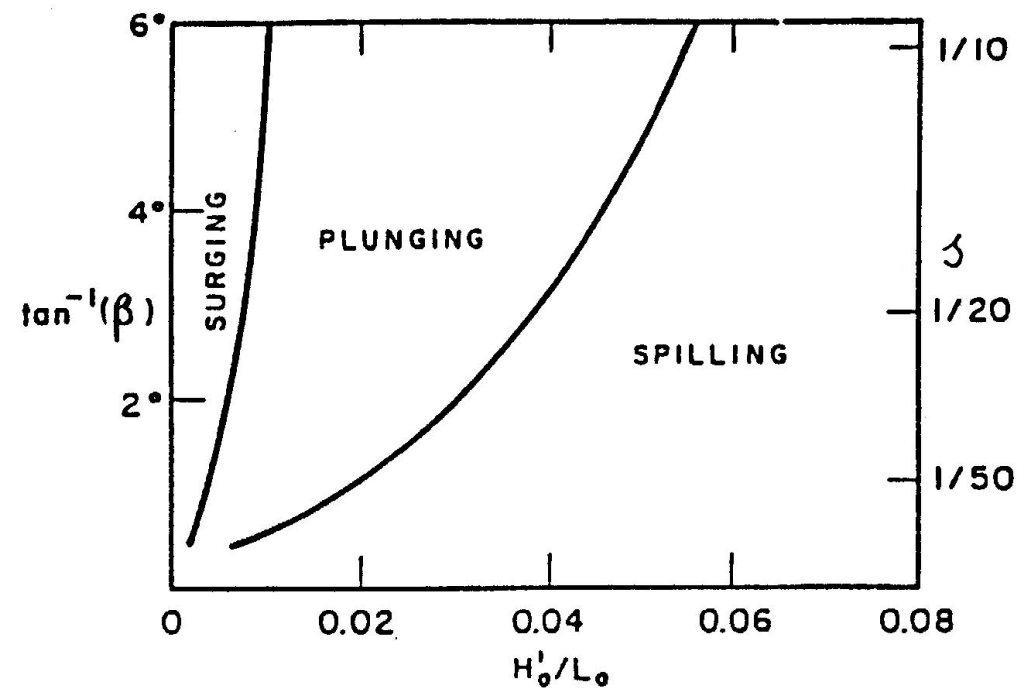
LE PRINCIPALI FIGURE DI BREAKING (6/6)

Sono stati introdotti diversi indici empirici per individuare il tipo di frangimento, tra i quali ricordiamo quello di Battjes (1974):

$$\beta = \frac{s}{\sqrt{H_b/L_o}}$$

con s pendenza del fondo. Si ricava:

Tipo di frangimento	β
spilling	<0.4
plunging	$0.4-2.0$
surging	>2.0



Regioni tipiche delle diverse figure di frangimento