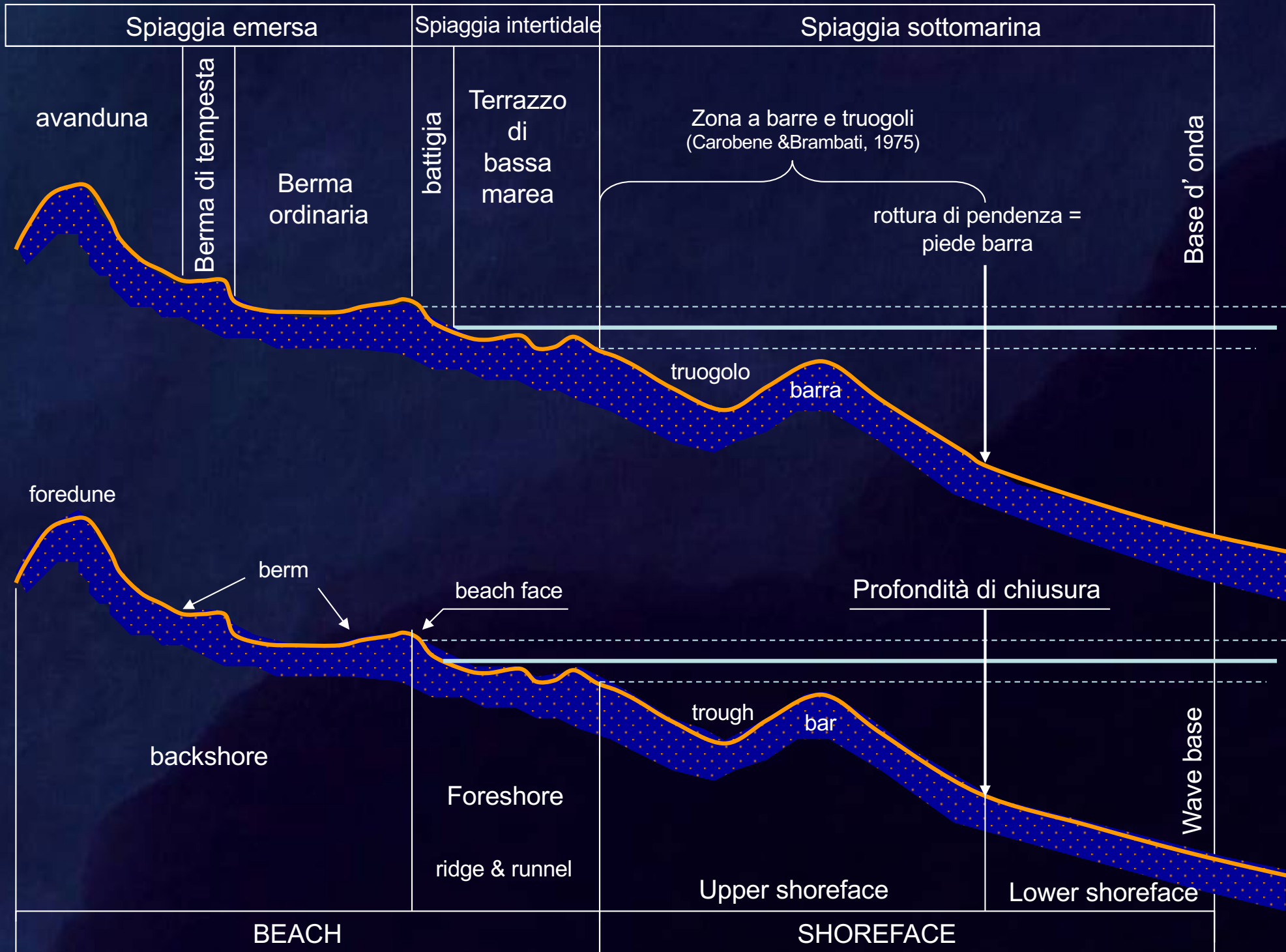


# LE SPIAGGE





## UPPER SHOREFACE (spiaggia sottomarina superiore)

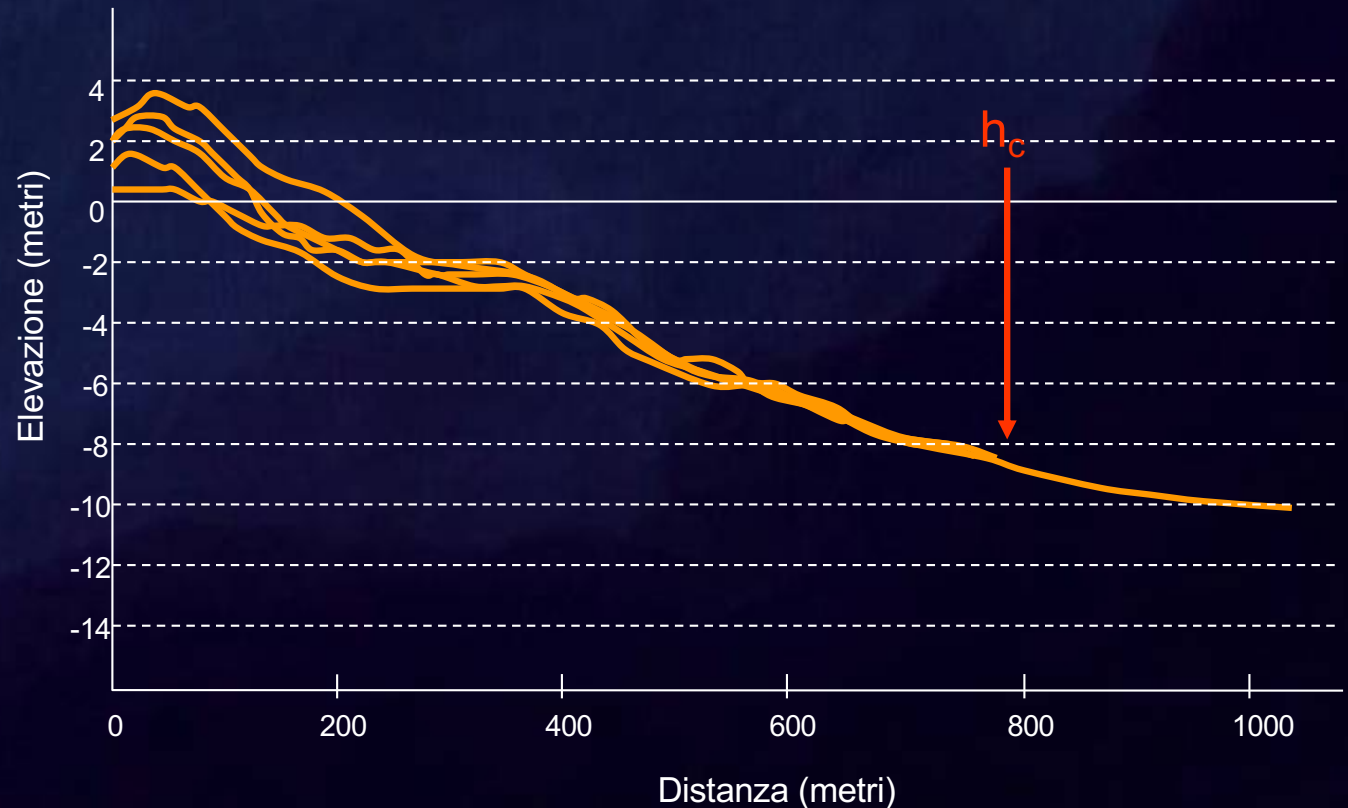
E' la regione entro la quale i processi erosivi e accrezionari producono significative (= misurabili) variazioni di elevazione del fondo marino alla scala temporale annuale.

Per tale ragione, secondo alcuni Autori, questa regione può essere definita "ZONA ATTIVA".

Morfologicamente, si può identificare grazie all'inviluppo delle modificazioni del profilo di spiaggia, che risultano progressivamente meno apprezzabili verso il largo. Secondo Hallermeier (1981) le modificazioni convergono alla **profondità di chiusura**,  $h_c$  corrispondente a:



$$h_c \cong 2.28 \cdot H_{sx} - 68.5 \cdot \left( \frac{H_{sx}^2}{gT_e^2} \right)$$

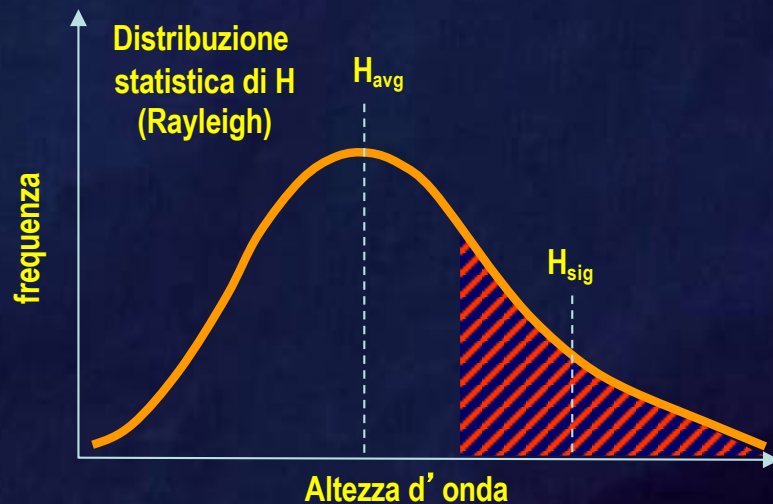


dove  $H_{sx}$  è l'altezza d'onda di tempesta con occorrenza di 12 ore all'anno,  $T_e$  è il periodo associato all'onda e  $g$  è l'accelerazione di gravità

La relazione di Hallermeier evidenzia la stretta dipendenza del comportamento del profilo di spiaggia dal clima meteomarinario.

In mancanza di una statistica precisa di moto ondoso, lo stesso autore propone una semplificazione basata sul valore di  $H_{sig}$ , cioè dell' altezza d' onda significativa, corrispondente alla media delle onde più elevate, pari a 1/3 di tutte quelle registrate, e della sua deviazione standard  $\sigma$ :

$$h_c \cong 2 \cdot H_{sig} + 11 \cdot \sigma$$



Alcuni esempi

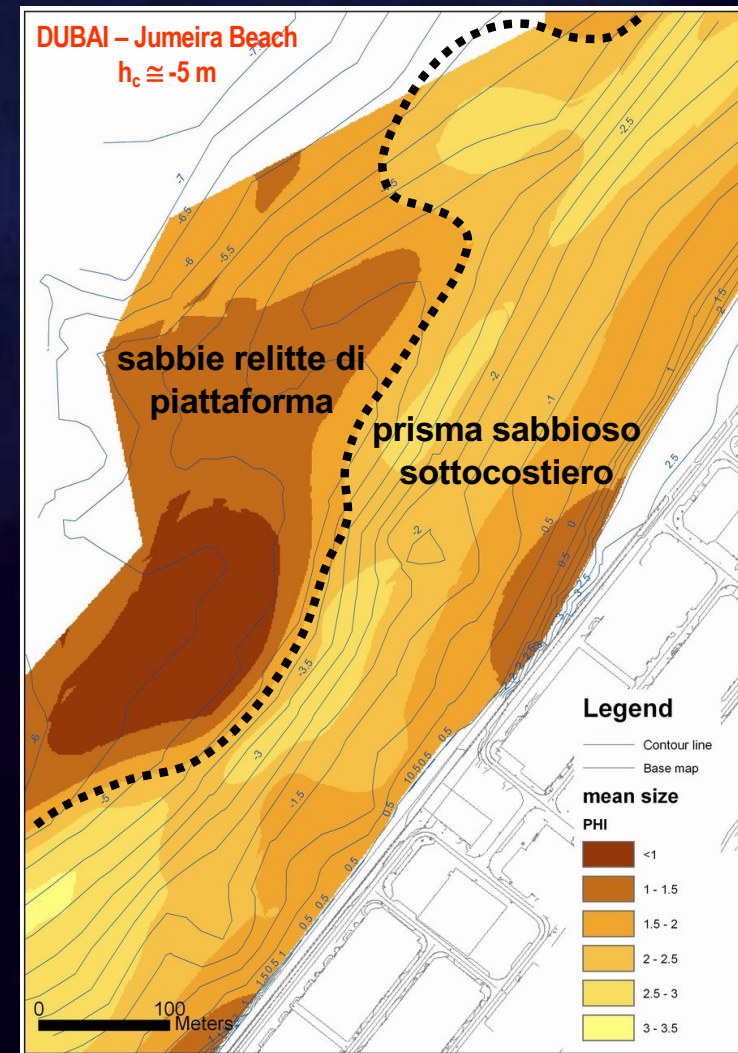
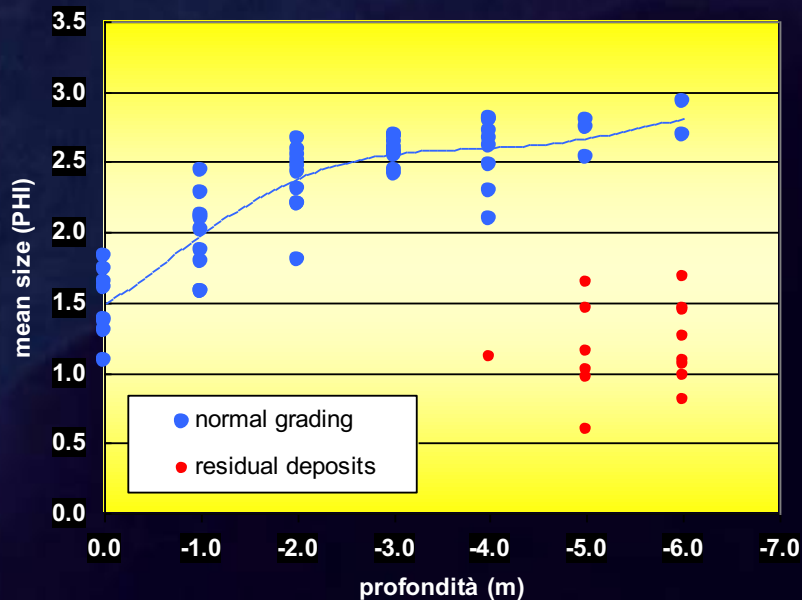


LOCALITA'		$H_{sig}$	$\sigma$	$h_c$
US Atlantico	Virginia beach	0.7	0.4	6.2
	Nags Head	1.0	0.5	7.9
US Pacifico	Huntington beach	0.9	0.3	5.3
	La Jolla	1.2	0.5	7.7
	Point Mugu	0.9	0.3	5.0
SE Australia		1.5	1.2	12.1
Olanda		1.2	0.8	10.7

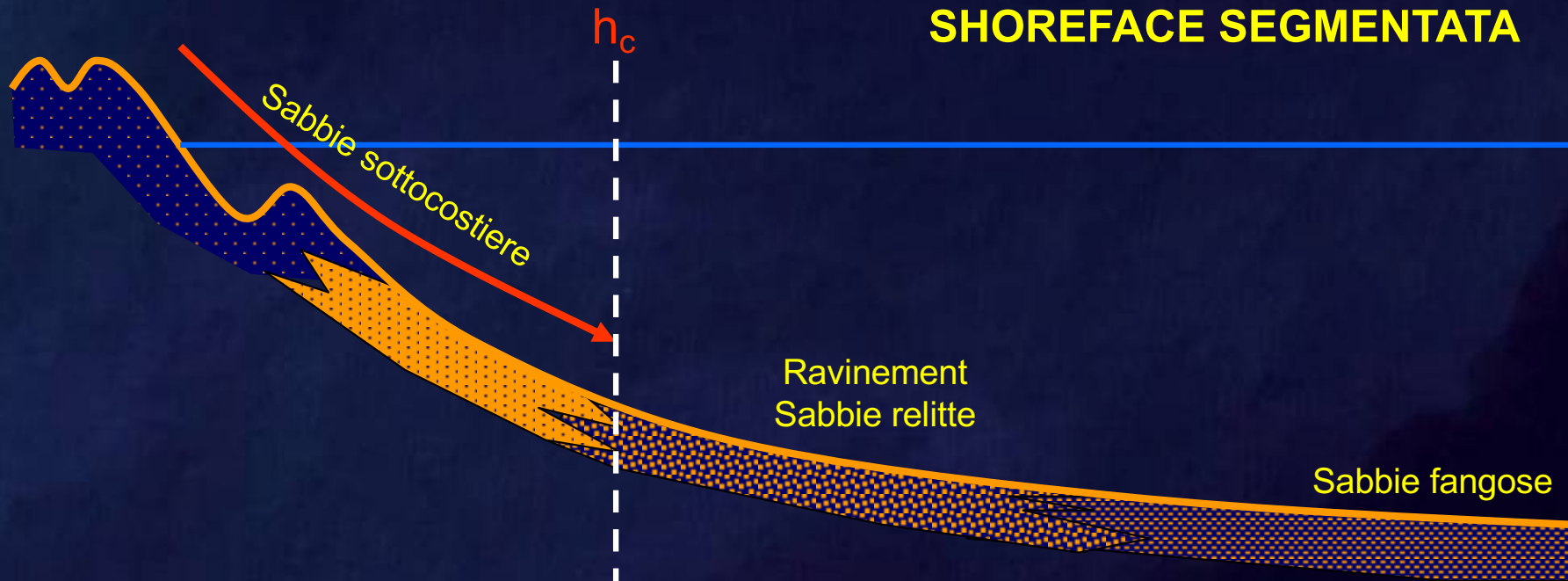
Il limite della profondità di chiusura non è sempre indentificabile da cambiamenti morfologici, poiché una spiaggia sottomarina non presenta sempre una barra a mare o rotture di pendenza.

I valori teorici di  $h_c$  hanno spesso (ma non sempre) una corrispondenza con una distintiva variazione nelle caratteristiche sedimentologiche dei fondali.

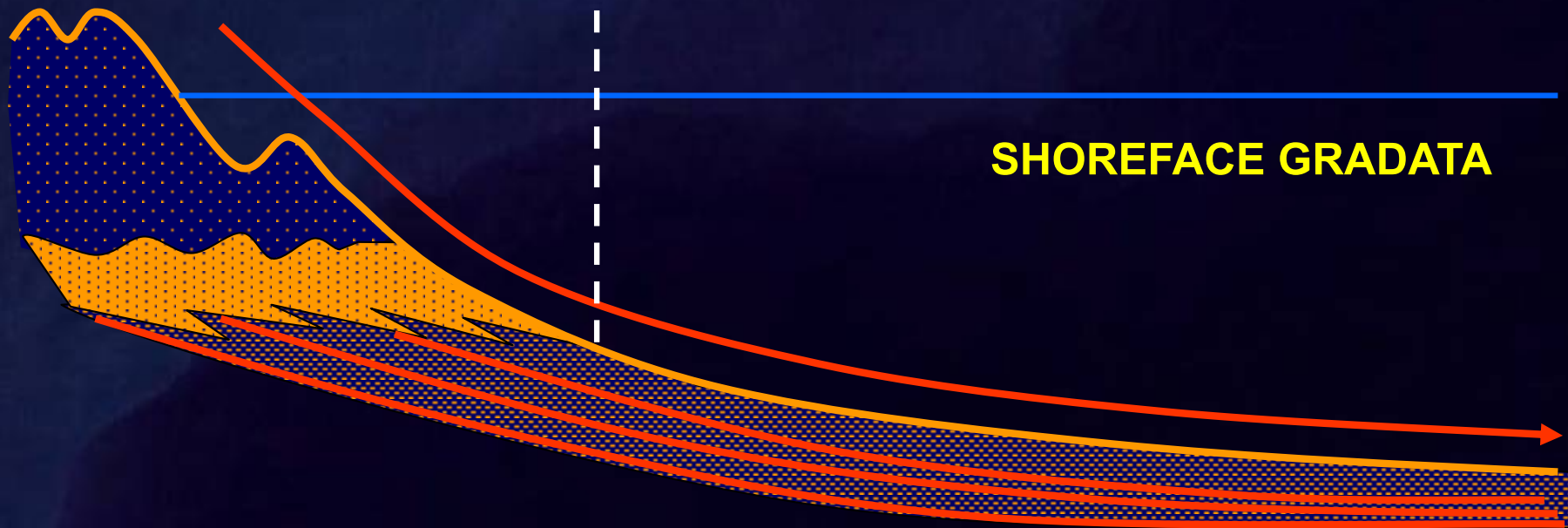
Il prisma sabbioso sottocostiero, contraddistinto da sabbie ben classate, tende infatti a presentare una progressiva diminuzione granulometrica verso il largo, con una transizione piuttosto brusca ad una certa profondità  $d$ , comparabile con  $h_c$ . Oltre tale profondità si osserva il dominio dei materiali fangosi o il passaggio alle **sabbie relitte di piattaforma**.

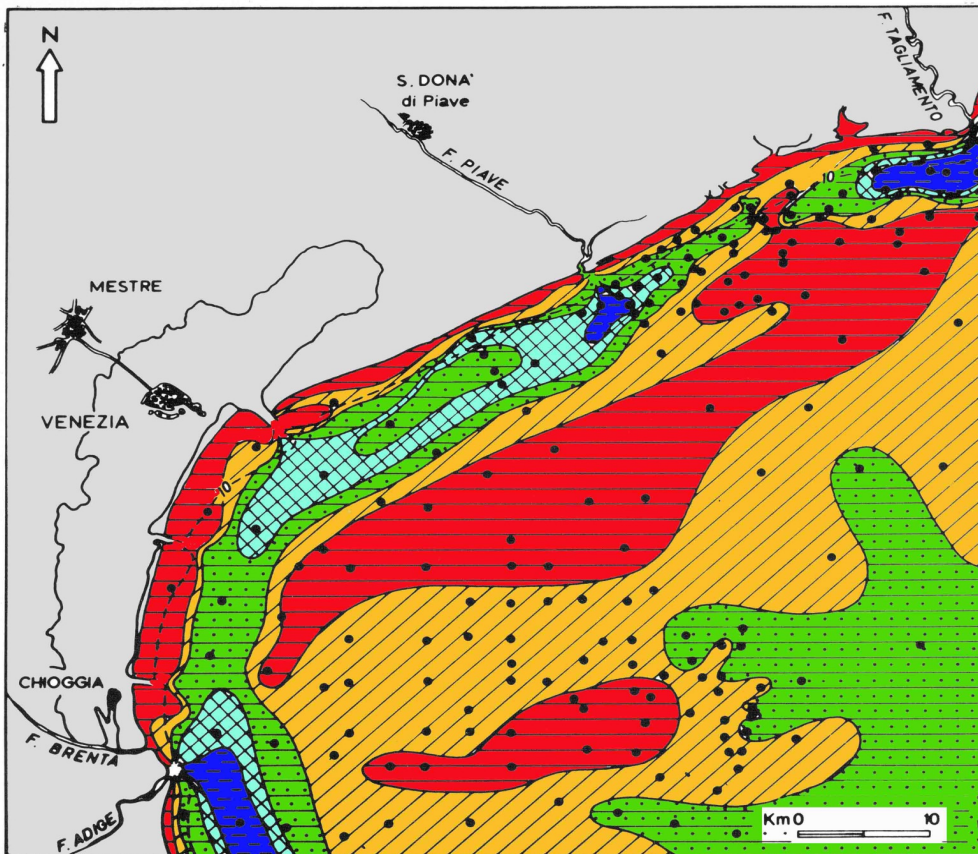


## SHOREFACE SEGMENTATA



## SHOREFACE GRADATA

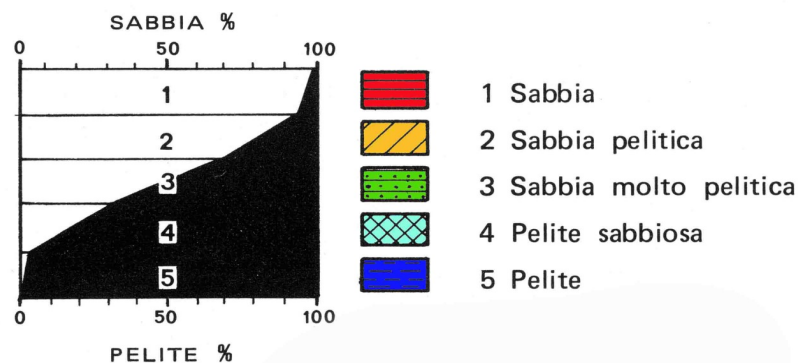




## SHOREFACE GRADATA (ma PIATTAFORMA SEGMENTATA)

Un esempio tipico di shoreface gradata si ritrova lungo le coste nord-adriatiche, ricche di sorgenti sedimentarie.

Al largo del prisma sabbioso sottocostiero, oltre la shoreface, si ritrovano sedimenti antichi e coperture fossili di sabbie costiere che attestano l' antica posizione della linea di riva all' inizio dell' Olocene (ca. 10.000 anni fa), quando il livello del mare era circa 20 m più basso dell' attuale.



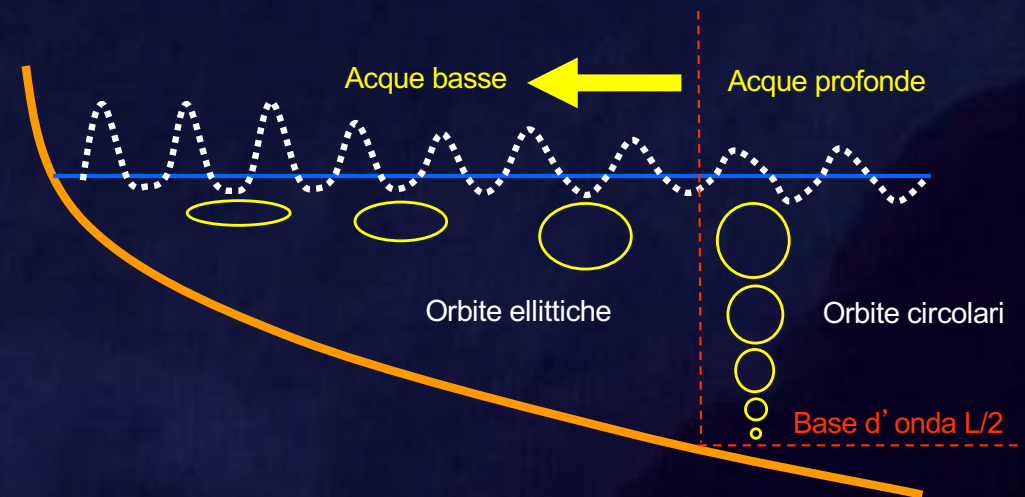
# LOWER SHOREFACE (spiaggia sottomarina inferiore)

E' la regione che si estende dal limite inferiore della upper shoreface (profondità di chiusura) alla **base d' onda**.

Convenzionalmente, la base d' onda viene considerata pari alla profondità alla quale inizia l' interferenza dell' onda sul fondale, ovvero  $L/2$ .

In acque profonde il valore di  $L$  può essere espresso in funzione del solo periodo:

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2\pi} = 1.56 \cdot T^2$$



Sulla base di studi in campo e di ridefinizioni teoriche, Hallermeir (1981) propone quale profondità limite del trasporto on-offshore delle sabbie il valore espresso da:

$$h_i = (\bar{H}_{sig} - 0.3\sigma) \bar{T}_{sig} (g/2000 \cdot D)^{1/2}$$

dove ad  $H$  e  $T$  dell' onda significativa si aggiunge un parametro dimensionale  $D$ , pari al diametro medio o alla mediana del sedimento posto alla profondità  $d \sim 1.5 h_c$



Dati sperimentali dimostrano che l'approccio deterministico di Hellermeir ha notevole riscontro sulla tipologia dei materiali di fondo e che il valore di  $h_i$  rappresenta una ottima approssimazione del valore della base d'onda.

Alcuni problemi possono derivare dal valore del diametro medio misurato alla profondità di  $1.5 h_c$ , ove possono essere rinvenuti sedimenti relitti di piattaforma.

Già Komar (1976) aveva osservato che il valore convenzionale di  $L/2$  è eccessivo e propose di dimezzare la base d'onda al valore  $L/4$ .

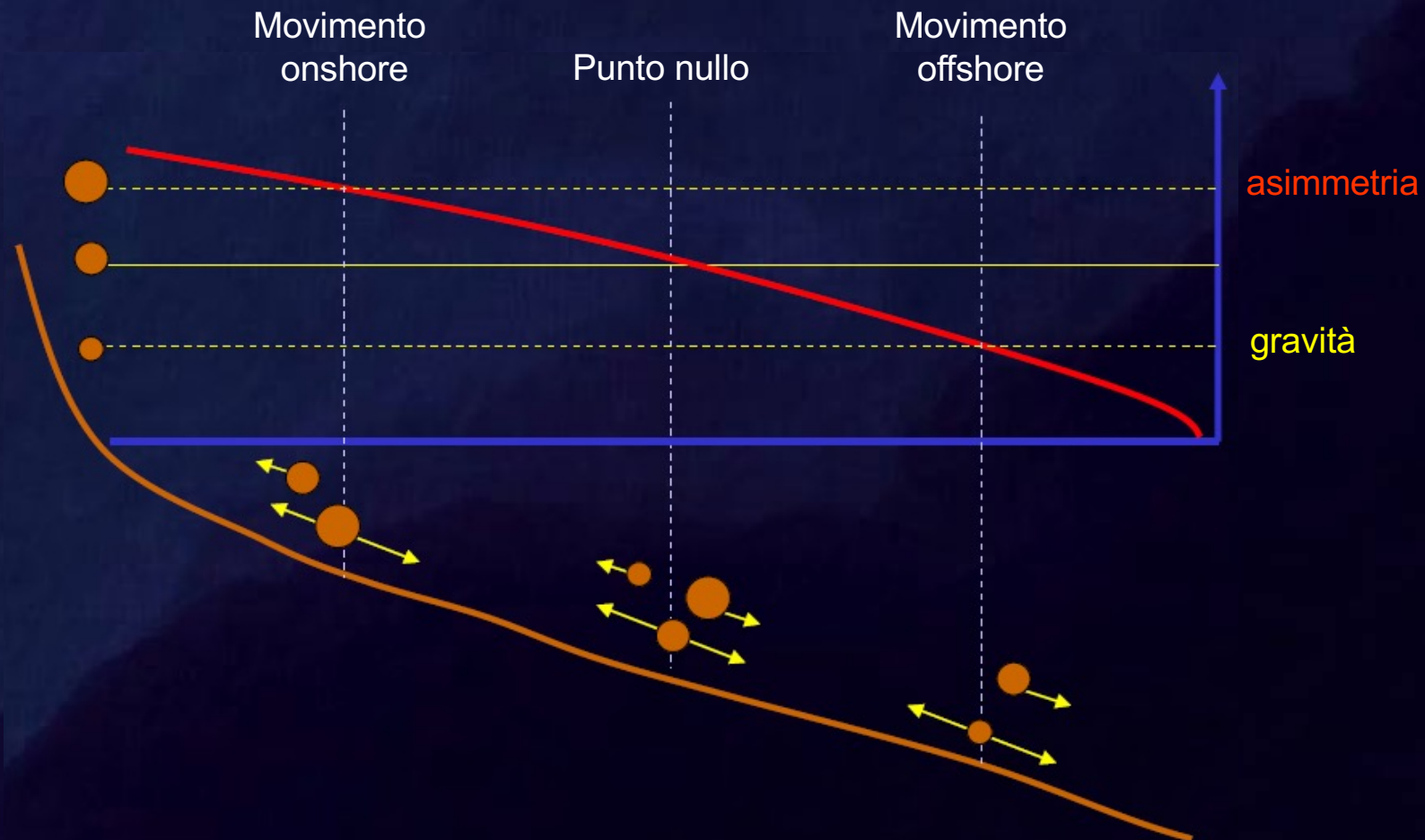
Confrontando le diverse proposte, è evidente la miglior corrispondenza tra  $h_i$  e il valore di  $L/4$  indicato da Komar.

LOCALITA'		$H_{si}$ g	$\sigma$	$T_{sig}$	$H_i$	$H =$ L/2	$H =$ L/4
US Atlantico	Virginia beach	0.7	0.4	8.3	21.1	53.7	26.9
	Nags Head	1.0	0.5	9.8	31.1	74.9	37.4
US Pacifico	Huntington beach	0.9	0.3	13.2	43.9	135.9	67.9
	La Jolla	1.2	0.5	12.0	52.6	112.3	56.1
	Point Mugu	0.9	0.3	14.4	52.5	168.5	84.3
SE Australia	Byron Bay	1.6	1.2	9.6	46.2	71.9	35.9
	Sydney	1.6	1.2	9.5	36.3	70.4	35.2
	Moruya	1.5	1.2	9.5	36.0	70.4	35.2
Olanda		1.2	0.8	5.0	13.4	19.5	9.7

# IL BILANCIO SEDIMENTARIO

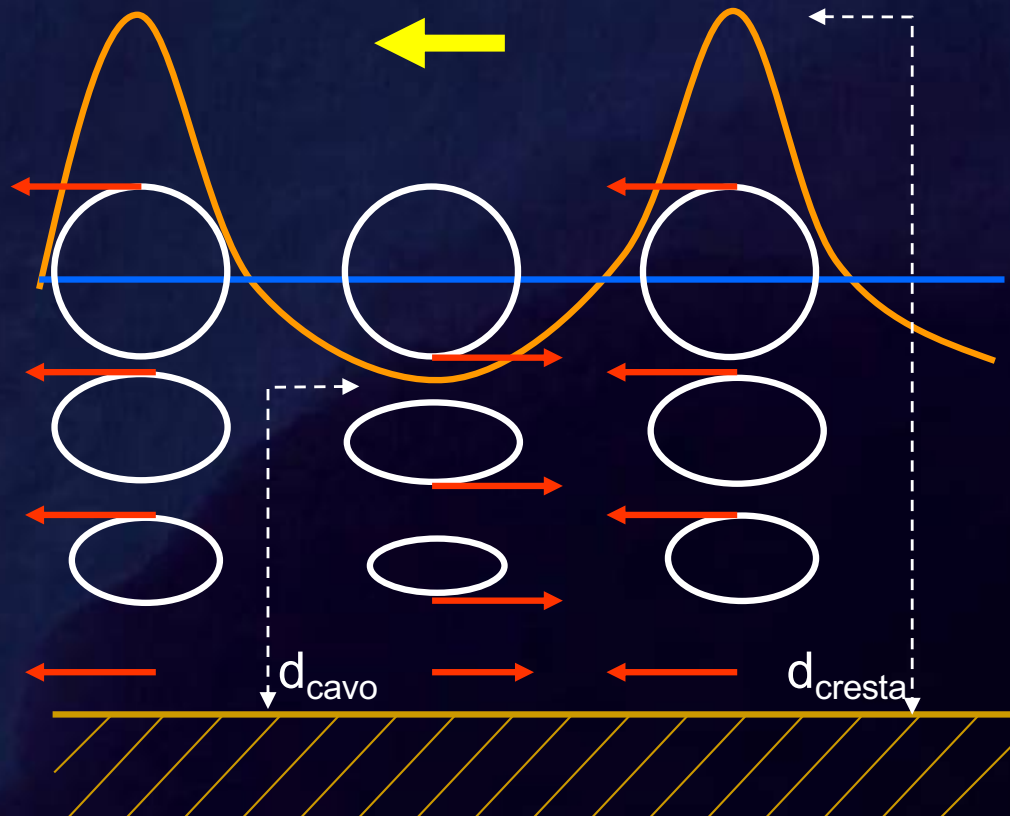
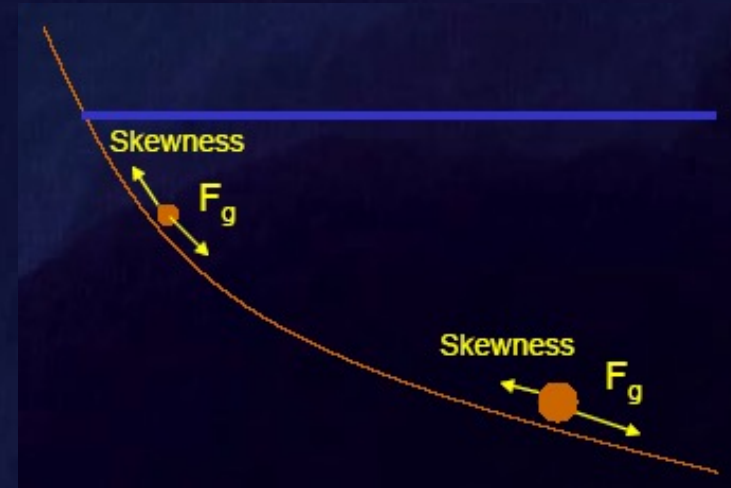
Cornaglia (1889) fu il primo a suggerire che deve esistere un bilancio tra le onde che trascinano il sedimento verso riva e la forza di gravità che tende a muoverlo verso il largo.

Il merito di Cornaglia è quello di aver riconosciuto che man mano che diminuisce la profondità aumenta l'asimmetria tra la forza di trascinamento diretta verso riva e quella diretta verso il largo associata all'onda, con il risultato di una componente netta di trasporto rivolta onshore.



Il modello del **punto nullo** prevede che la componente tangenziale di  $g$  sia costante per qualsiasi granulometria in un dato punto del profilo, mentre aumenta verso terra la componente di trasporto netta onshore. In questo modo dovremmo attenderci un aumento del materiale fine verso riva e di quello grossolano verso il largo.

In realtà il processo è opposto, in quanto studi effettuati con traccianti evidenziano una selezione di granulometrie maggiori onshore e di quelle inferiori offshore.



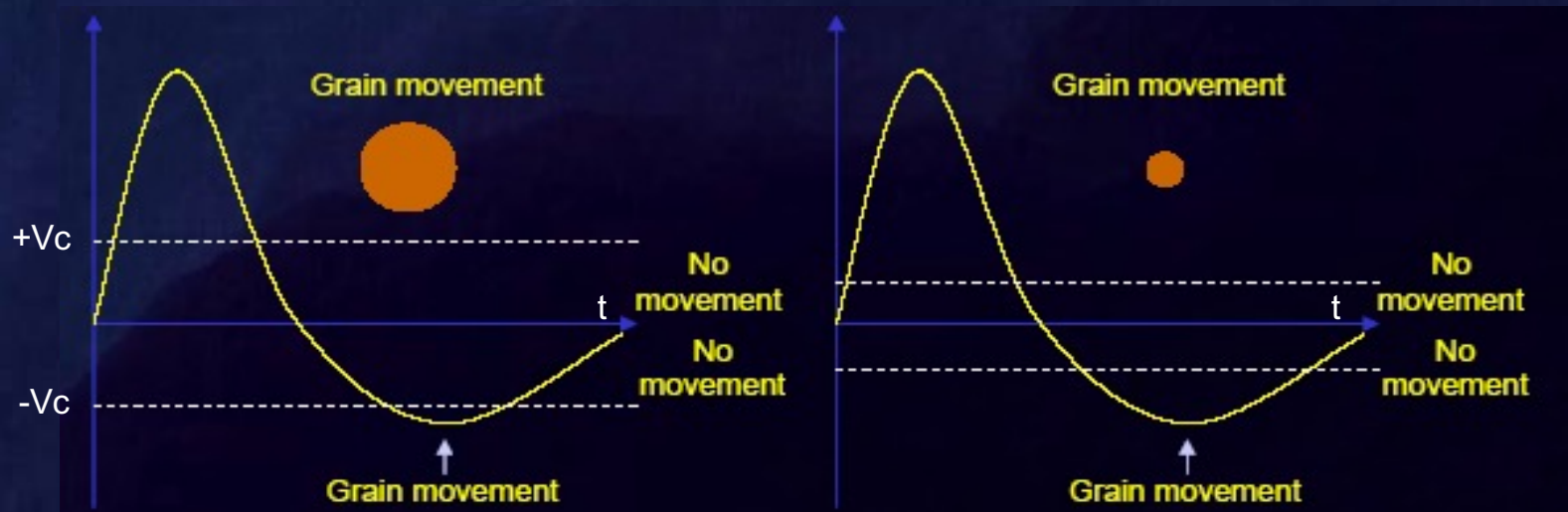
In effetti, la forma d'onda sottomarina, simile a quella asimmetrica di Stokes prevede:

- velocità **onshore** (associate alla cresta d'onda) di breve durata ma di alta magnitudine
- velocità **offshore** (associate al cavo) di maggior durata a causa del rallentamento causato dall'attrito sul fondo, ma di minor intensità per il minor fondale

$$V = (g d)^{1/2}$$

Il risultato è un movimento verso riva più efficace nel trasportare il materiale grossolano:

- il materiale a granulometria maggiore non riesce ad essere preso in carico dalla corrente offshore
- il materiale fine si muoverà sia sotto la cresta che sotto il cavo d'onda, con deriva netta verso il largo



**CASO A:** Granulometria grossolana

- La velocità critica di erosione è superata sotto il passaggio della cresta e molto poco sotto il cavo
- componente netta di deriva: ONSHORE

**CASO B:** Granulometria fine

- La velocità critica di erosione è superata sia sotto il passaggio della cresta che sotto il cavo
- maggior durata della velocità al cavo
- componente netta di deriva: OFFSHORE

# IL PROFILO DI SPIAGGIA

Le spiagge presentano generalmente una pendenza più elevata in prossimità della linea di riva, che gradualmente si riduce andando verso il largo.

L' espressione generale del profilo di spiaggia è data da:

$$h = A \cdot x^{2/3}$$

Dove **h** è la profondità misurata alla distanza **x** dalla linea di riva, ed **A** è un coefficiente di forma dimensionale.

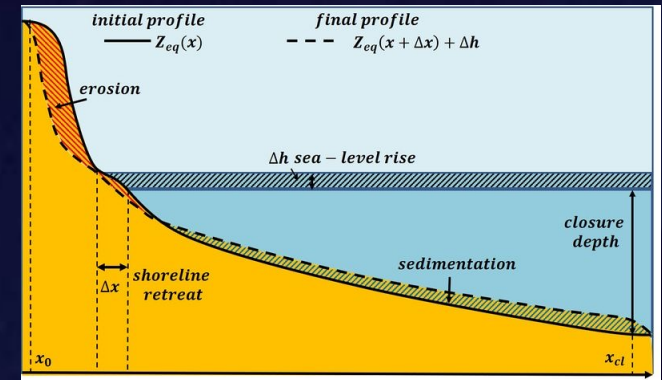
L' esponente (2/3) definisce il grado di concavità della spiaggia

- Varia da 0.2 a 1.2
- 2/3 è il valore medio osservato

Questo modello è la base per la definizione della **REGOLA di BRUUN**, cioè la risposta del profilo di spiaggia (che tende ad una forma di equilibrio) alle variazioni del livello del mare

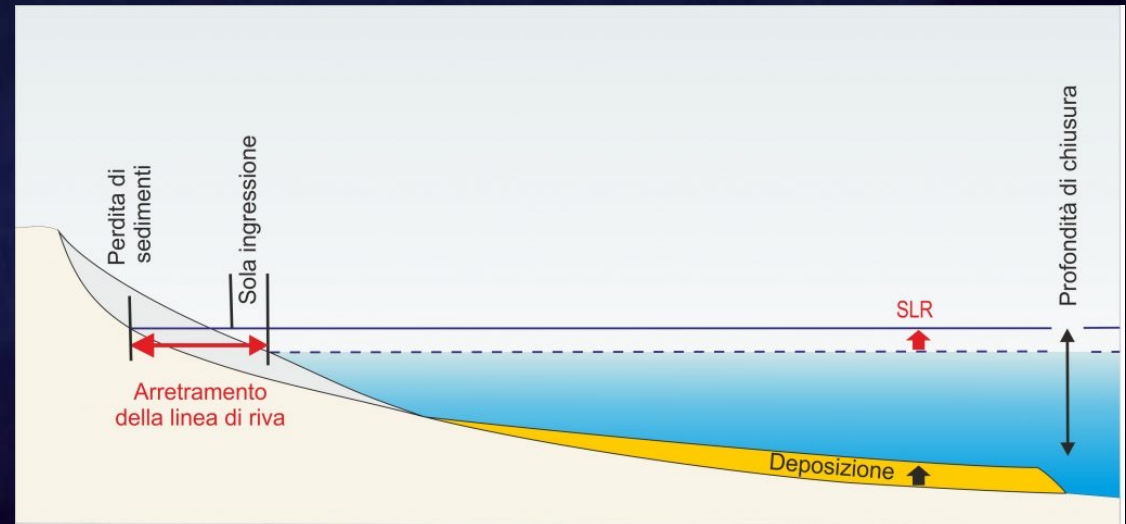
# La REGOLA di BRUUN (the Bruun Rule)

Parte dal principio che il nuovo profilo di equilibrio  $Z_{eq}^{new}$  sarà identico a quello iniziale, traslato orizzontalmente di  $\Delta x$  e verticalmente di  $\Delta h$ .



$$Z_{eq}^{new}(x) = Z_{eq}(x + \Delta x) + \Delta h.$$

$\Delta x$  può essere calcolato, considerando che il volume totale di sabbia nella zona attiva (tra  $x_0$  e  $x_{cl}$ ) sia sempre lo stesso:



$$\int_{x_0}^{x_{cl}} [Z_{eq}(x + \Delta x) + \Delta h] dx = \int_{x_0}^{x_{cl}} Z_{eq}(x) dx.$$

Se assumiamo che  $\Delta x$  è piccolo:

$$Z_{eq}(x + \Delta x) \approx Z_{eq}(x) + \Delta x \frac{dZ_{eq}(x)}{dx}.$$

Se  
Sostituendo:

$$\Delta x \approx \Delta h \frac{x_{cl} - x_0}{Z_{eq}(x_0) - Z_{eq}(x_{cl})}.$$

Per approfondire:  
[http://www.coastalwiki.org/wiki/Bruun\\_rule\\_for\\_shoreface\\_adaptation\\_to\\_sea-level\\_rise](http://www.coastalwiki.org/wiki/Bruun_rule_for_shoreface_adaptation_to_sea-level_rise)

# Beach Profiles

- Coefficient  $A$  is related to the mean grain diameter of the beach sediment and the corresponding grain-settling velocity
  - $A$  increases with the grain size
  - Larger beach slope with coarser sediment
- Coefficient will also depend on the wave energy-ability of the waves to move the sand
- More energetic sites have a more dissipative profile



# Beach Profiles

- **Shortcomings of the equilibrium beach profiles:**
  - predicts an infinite slope at the shore
  - underlying geology plays an important role
  - shoreface sediment is moved only by waves
  - no significant movement of sediment beyond depth of closure
  - do not account for the presence of bars and troughs that are typical on most natural beaches
- **Slope of the beach face at the shore**
  - governed by the asymmetry in the intensity of wave-swash uprush versus the return backwash
  - creates asymmetries in the cross-shore sediment transport
  - **also defined by grain size and sorting**



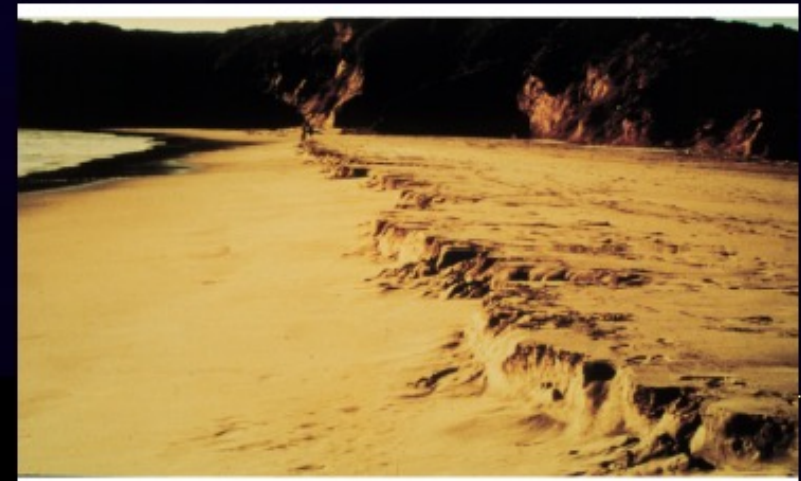
- Deceleration versus acceleration
- Inherited sediment in water
- Infragravity energy enhances offshore transport
- Infiltration and exfiltration
- Interaction with a localized elevations or depressions



# Berm Formation

- **Berm:** nearly horizontal portion of the exposed beach
  - formed by sediment brought ashore during low wave conditions
  - better developed on medium- to coarse-sand beaches
  - height to which sand can be carried up the beach by swash
- Berm height relates to the grain size and wave height:

$$B_H = bH$$



# FORMAZIONE DELLA BERMA

$$B_H = b H \left\{ \begin{array}{ll} 1.68 & \text{per } D = 7 \text{ mm} \\ 1.78 & \text{per } D = 3 \text{ mm} \\ 1.80 & \text{per } D = 0.5 \text{ mm} \end{array} \right. \quad (\text{Bagnold, 1940})$$

Una relazione più approfondita, fornita da Takeda & Sunamura (1982) riporta l'elevazione della berma solamente in funzione di  $H_b$  e  $T$  associato, senza sostanziali differenze in funzione della granulometria per casi variabili da  $0.2 < D < 1.3$  mm:

$$B_H = 0.125 \cdot H_b^{5/8} \cdot (gT^2)^{3/8}$$

# Berm Formation

- **General model:**
  - after a wave breaks the water rushes up the beach face carrying sand with
  - the water loses velocity as due to infiltration, friction and gravity
  - sediment is deposited
  - beach builds seaward leaving a nearly horizontal berm
- Rapidly growing berm can exhibit tidal variations in berm height
- Berms may grow in height at high tide creating a back lagoon



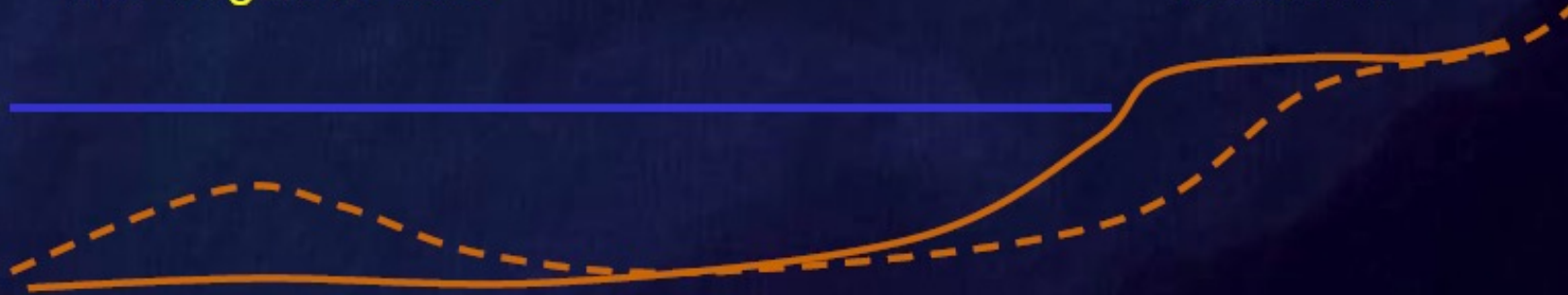
Berm height growth at high tide leaves a lagoon formed by water surging over the low tide berm

# Bars and Berms

- High storm waves erode the berm and tend to destroy it

Storm (winter) profile  
with longshore bars

Calm (summer) profile  
with berm



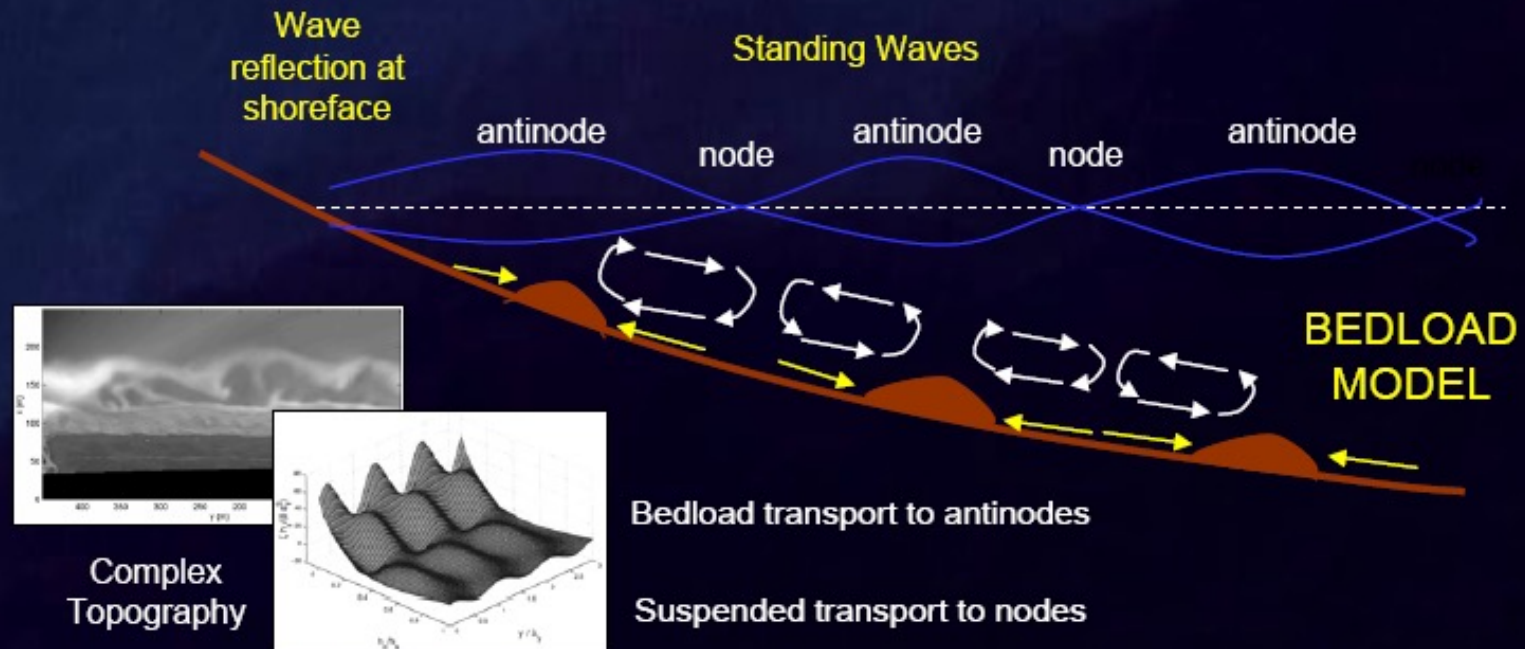
Larger waves in winter moves  
sediment offshore



Low waves in summer  
brings sediment onshore

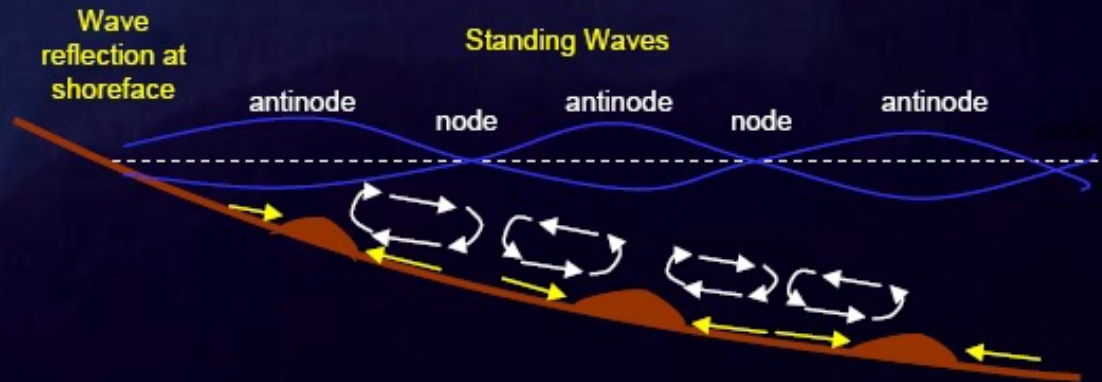
# Subtidal Bars

- **Infragravity waves**
  - bars formed by drift velocities associated with edge waves
  - bedload accumulation at the antinode
  - suspended load accumulation at the nodes



# Subtidal Bars

- Bragg reflection
  - bars result from reflected gravity waves
  - can develop with less than 20% of wave energy is reflected
  - formation of one or two bars increases wave reflection that results in the formation of additional bars seaward of the original bars
  - sediment accumulates beneath the nodes of the standing wave envelope toward positions beneath the antinodes



- due to depth dependent wavelengths the spacing between nodes increases offshore

# Subtidal Bars

- **Undertow and Oscillatory skewness**
  - bars will form where onshore transport by oscillatory skewness and undertow current are balanced

