

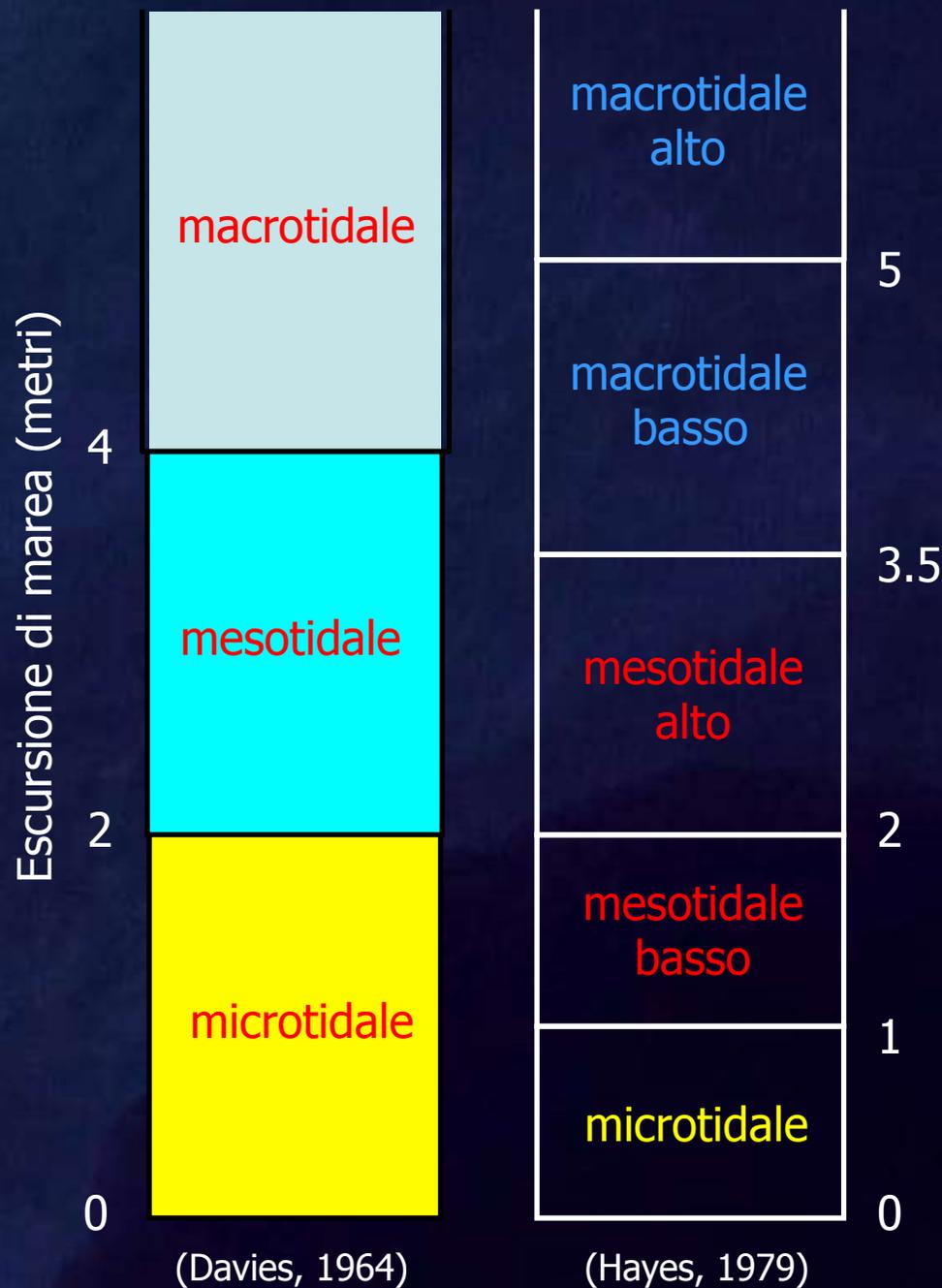
# **SPIAGGE A CONTROLLO TIDALE**



Sulla spiaggia, l'oscillazione periodica diurna o semidiurna del livello marino provocata dalle maree ha un effetto:

- 1) **DIRETTO**, poiché fa variare la posizione e l'incidenza dell'area di frangenza e genera correnti tidali nella zona sottocostiera;
- 2) **INDIRETTO**, poiché causa la fluttuazione del livello di falda

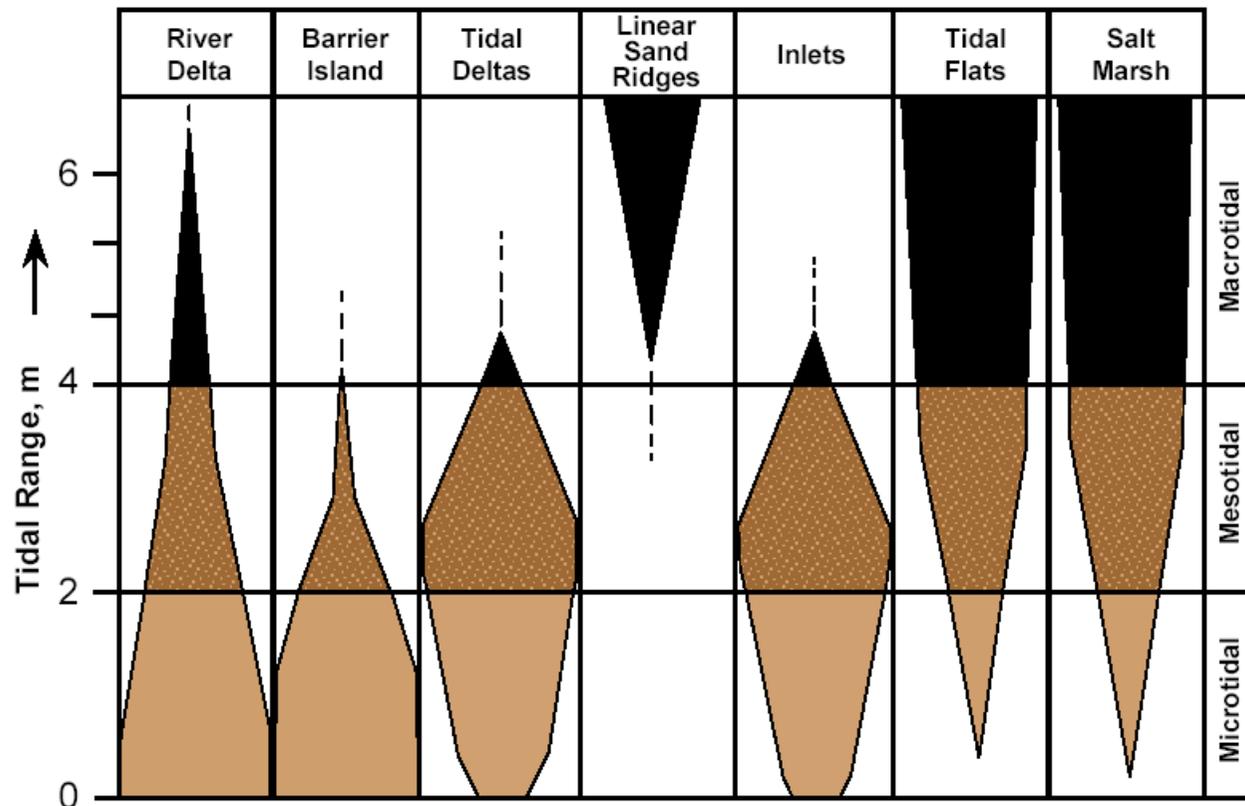
Entrambi gli effetti concorrono a modificare significativamente il comportamento morfodinamico di una spiaggia.



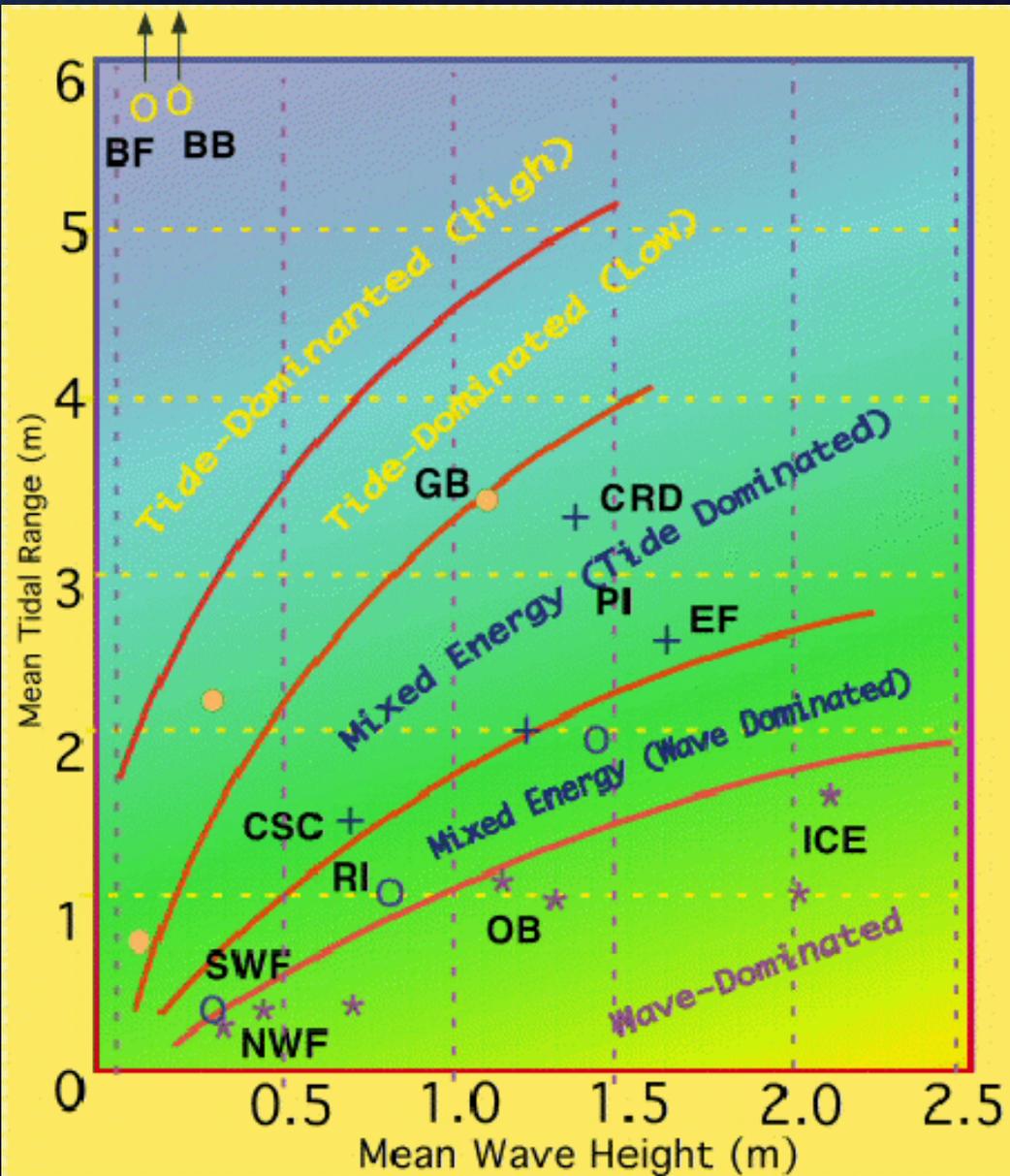
**L'effetto della marea sui processi di spiaggia è normalmente associato alla sua escursione.**

Questa nozione di base viene impiegata per una classificazione geografica degli ambienti costieri, basata appunto sul **valore assoluto** dell'escursione di marea.

L'assunzione comune è che le coste microtidali sono per definizione a dominio del moto ondoso e caratterizzate dalle spiagge e dalle isola-barriera. Al contrario i classici ambienti a dominio mareale sono quelli a regime macrotidale, la cui morfologia tipica è la **piana di marea** (*tidal flat*).



*Traditional descriptive classifications based on qualitative observations and tidal range*



(Hayes, 1979)

L'approccio basato sul **valore assoluto** dell'escursione di marea è tuttavia poco pratico nel caso delle spiagge, la cui morfodinamica è legata anche all'azione del moto ondoso.

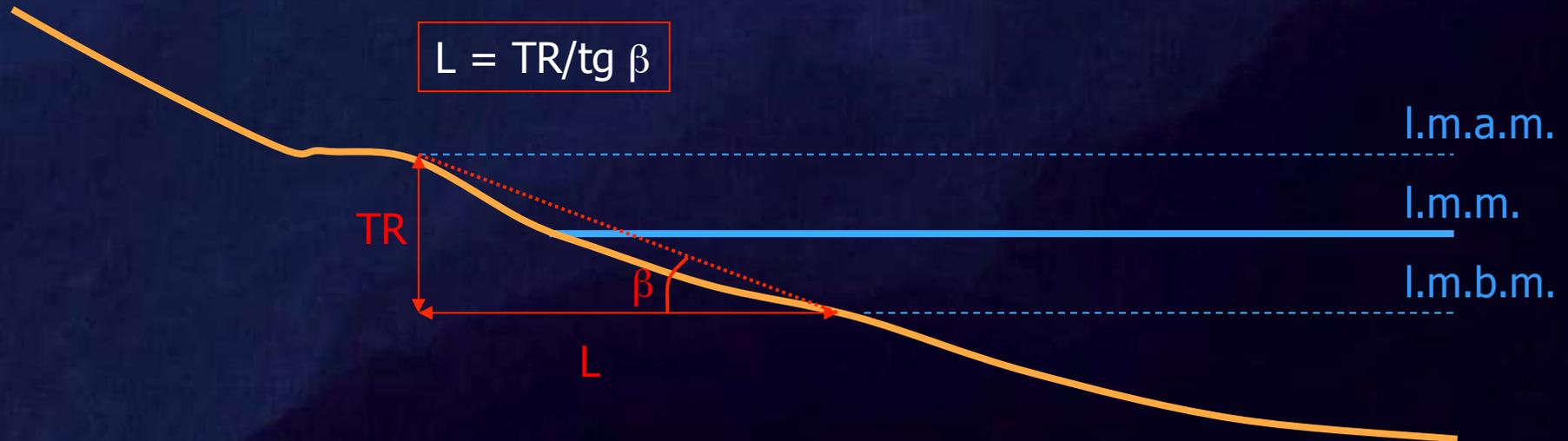
Risulterà quindi più opportuno riferirsi alle spiagge mediante il concetto di escursione relativa di marea

# 1. Migrazione dei processi idrodinamici indotti dalla marea

## 1.1 Tasso di traslazione tidale

La fluttuazione del livello del mare indotta dalla marea fa cambiare la posizione della linea di riva entro la porzione intertidale del profilo di spiaggia.

L'estensione laterale entro cui la linea di riva migra è semplicemente funzione dell'escursione di marea TR (tidal range) e della pendenza della spiaggia ( $\text{tg } \beta$ ):



L'estensione massima dell'area intertidale si ritrova in spiagge a bassa pendenza con grandi escursioni di marea. Per regimi macrotidali può superare frequentemente anche 500 m.

Il tasso con cui avviene la migrazione della linea di riva entro la zona intertidale viene detto **tasso di traslazione tidale** (*tidal translation rate, TTR*)

Esprime quindi la velocità di avanzamento/arretramento delle linea di riva in funzione della marea, che dipende dal tempo.

L'oscillazione periodica del livello del mare  $\eta_t$  è legato alla funzione sinusoidale della marea, definita dalla sua ampiezza  $A$  (semi-escursione) e periodo  $T$  dalla funzione:

$$\eta_t = A \cdot \text{sen}\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$

Dove  $t$  rappresenta il tempo

Il massimo tasso di traslazione avviene in corrispondenza dei punti di mezzo della fase crescente e calante ove è massimo il gradiente di  $\eta_t$

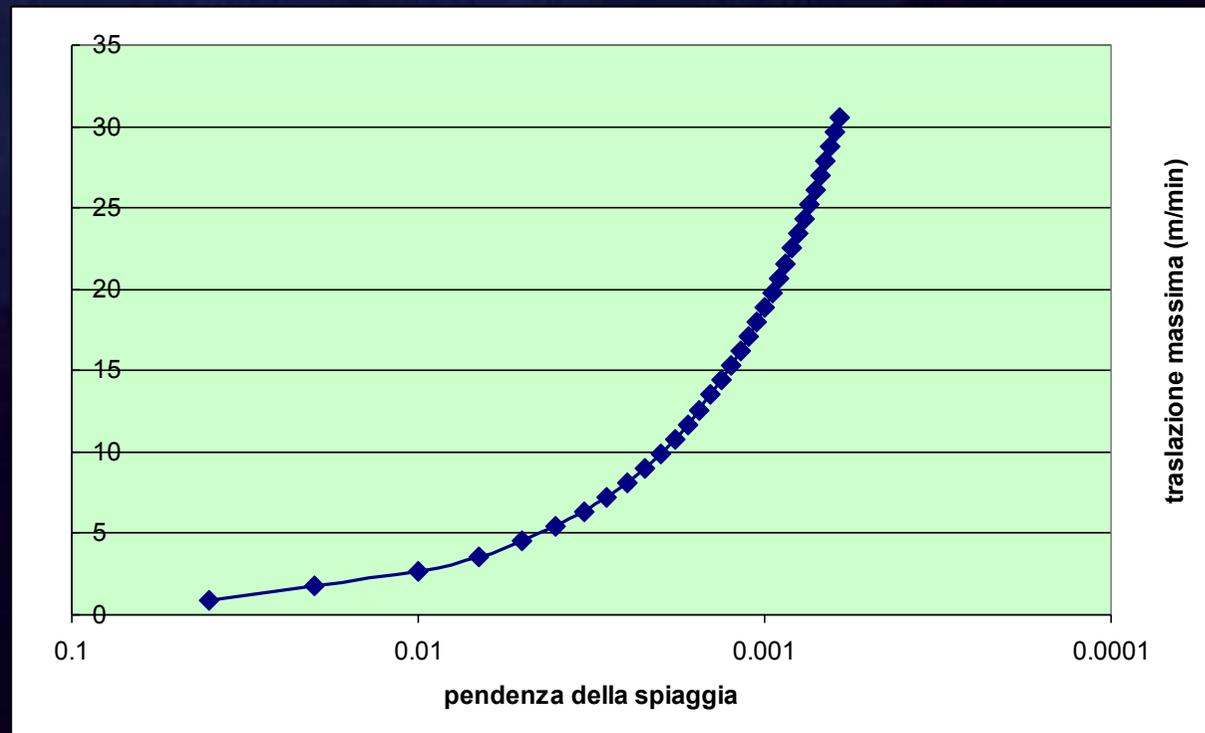


**Esempio:** una spiaggia con

- Pendenza  $\text{tg } \beta = 0.02$
- Escursione di marea  $TR = 8 \text{ m}$
- Periodo tidale = 12 ore (marea semidiurna)

Presenterà un tasso di traslazione, in corrispondenza delle fasi centrali del flusso montante e calante pari a **9 m ogni 5 minuti**.

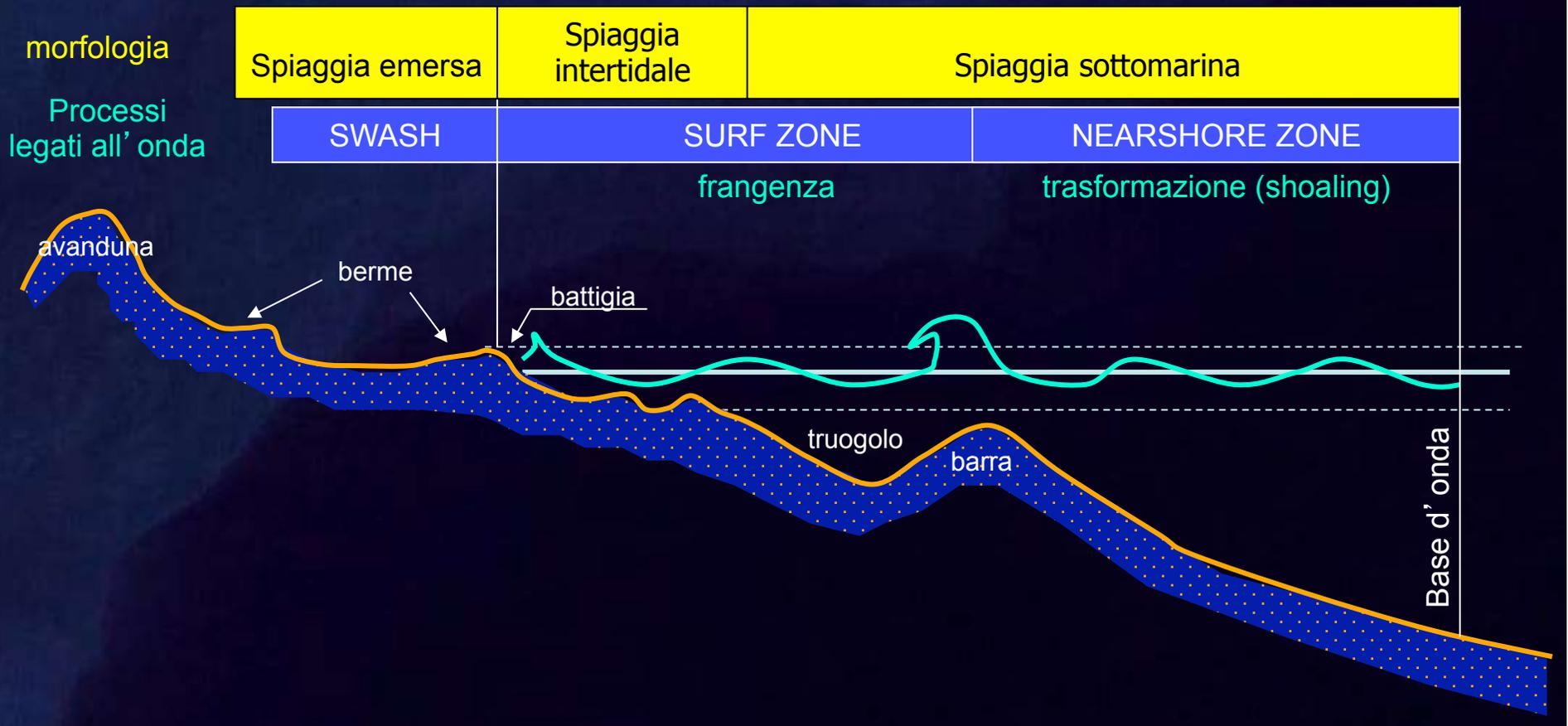
Con pendenze inferiori (es. piane tidali) il TTR può superare la velocità media di una persona che passeggia.

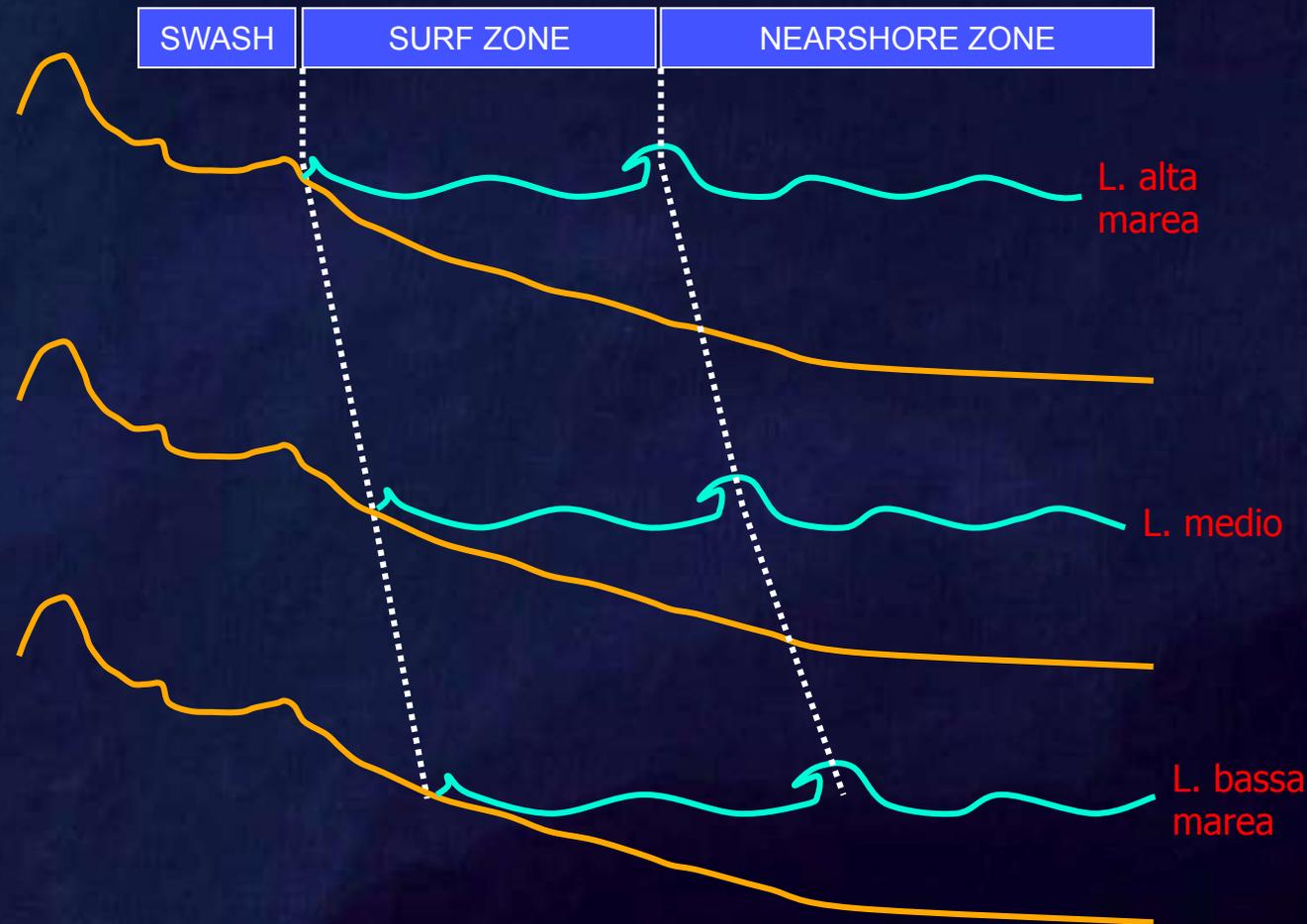


## 1.2 Migrazione delle zone morfodinamiche

La marea non influisce direttamente sui processi idrodinamici legati all'onda, poiché le scale temporali d'azione sono molto diverse.

Ma gli stadi di marea determinano il luogo ove operano i processi sottocostieri, mentre il TTR stabilisce la durata, cioè il tempo d'azione sul fondo, che può modificare la morfologia di spiaggia.





Tutte le zone migrano entro la fascia intertidale. Si muovono continuamente e stazionano solamente durante i massimi e minimi di marea

In occasione delle basse maree, **a causa del profilo concavo** della spiaggia, la zona di trasformazione d'onda (nearshore zone) è molto più ampia.

Questo comporta un aumento sensibile della dissipazione di energia d'onda per fenomeni di attrito.

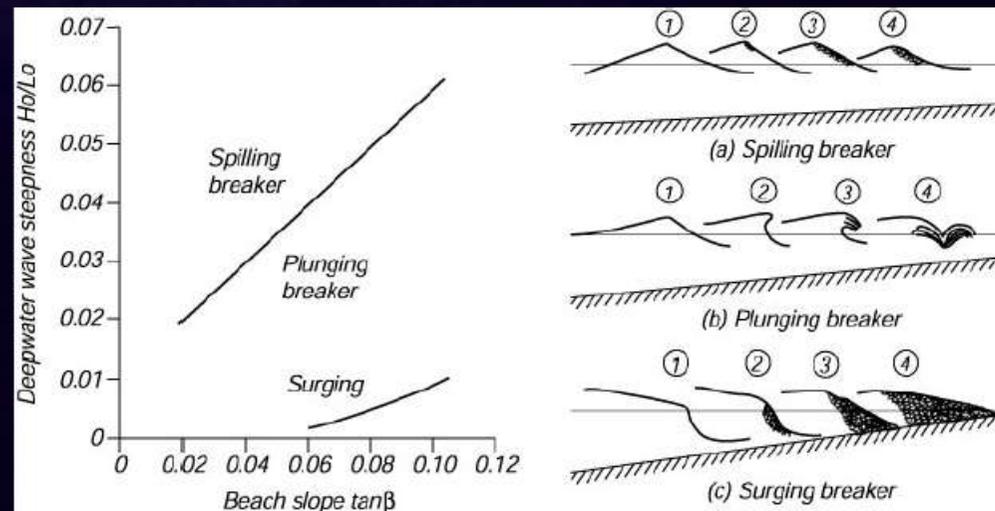
La traslazione delle zone idrodinamiche verso il largo porta quindi a:

- 1) Onde di maggiore intensità in occasione di alta marea; in bassa marea l'onda viene dissipata su uno spazio maggiore, riducendone l'impatto sul profilo di spiaggia più sottocostiero.
- 2) Cambio dello stato morfodinamico della spiaggia → la surf zone che si sviluppa nella parte alta del profilo (più ripido) è diversa da quella che si sviluppa nella parte bassa (più dolce)

Ricordando che il frangente può essere definito dal parametro di surf scaling  $\varepsilon$ , legato anche alla pendenza di spiaggia:

$$\varepsilon = \frac{a_b \cdot \omega^2}{g \cdot \tan^2 \beta}$$

$a_b$  = ampiezza dell'onda in frangenza  
 $\omega = 2\pi/T$  frequenza angolare onda



# Variazione temporale nella morfodinamica della spiaggia durante il ciclo tidale

Frangenza in alta marea

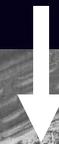
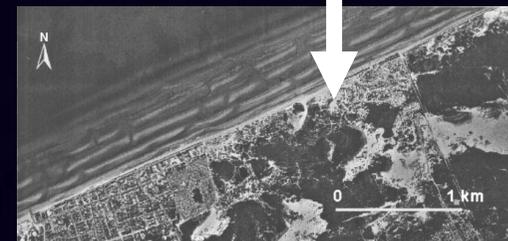
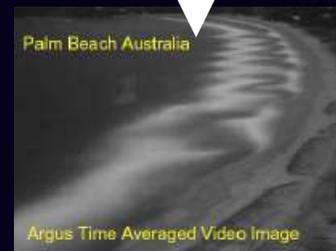
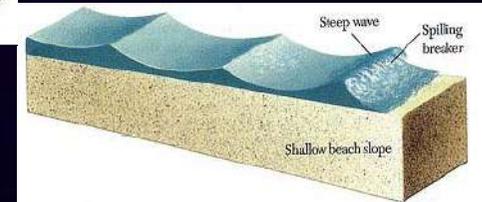
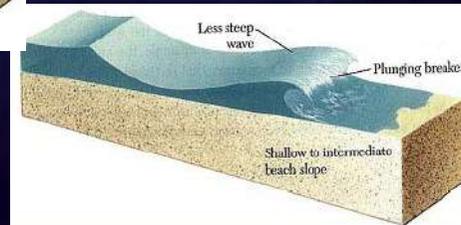
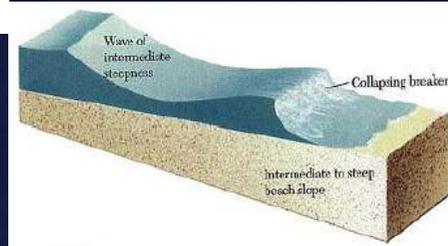
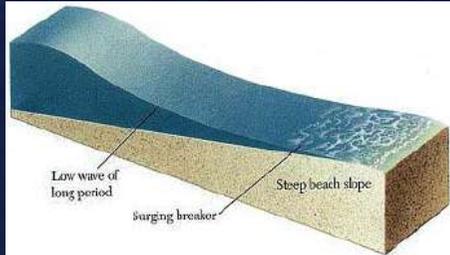
Frangenza in bassa marea

Profilo riflettente  
Frangente = surging

Profilo transizionale  
Frangente = collapsing

Profilo transizionale  
Frangente = plunging

Profilo dissipativo  
Frangente = spilling



## Effetti secondari: RIP CURRENT

In condizioni di bassa marea viene esposta una maggiore superficie dissipativa, talora caratterizzata dalla morfologia a barre (*ridges and runnels*).

L'acqua risulta maggiormente confinata entro le depressioni (*runnel*), aumentando la velocità di corrente.

Le naturali vie di fuga, date dalle discontinuità delle barre, risultano di conseguenza più efficaci, per l'aumento di velocità → intensificando l'effetto della circolazione a celle (rip currents).

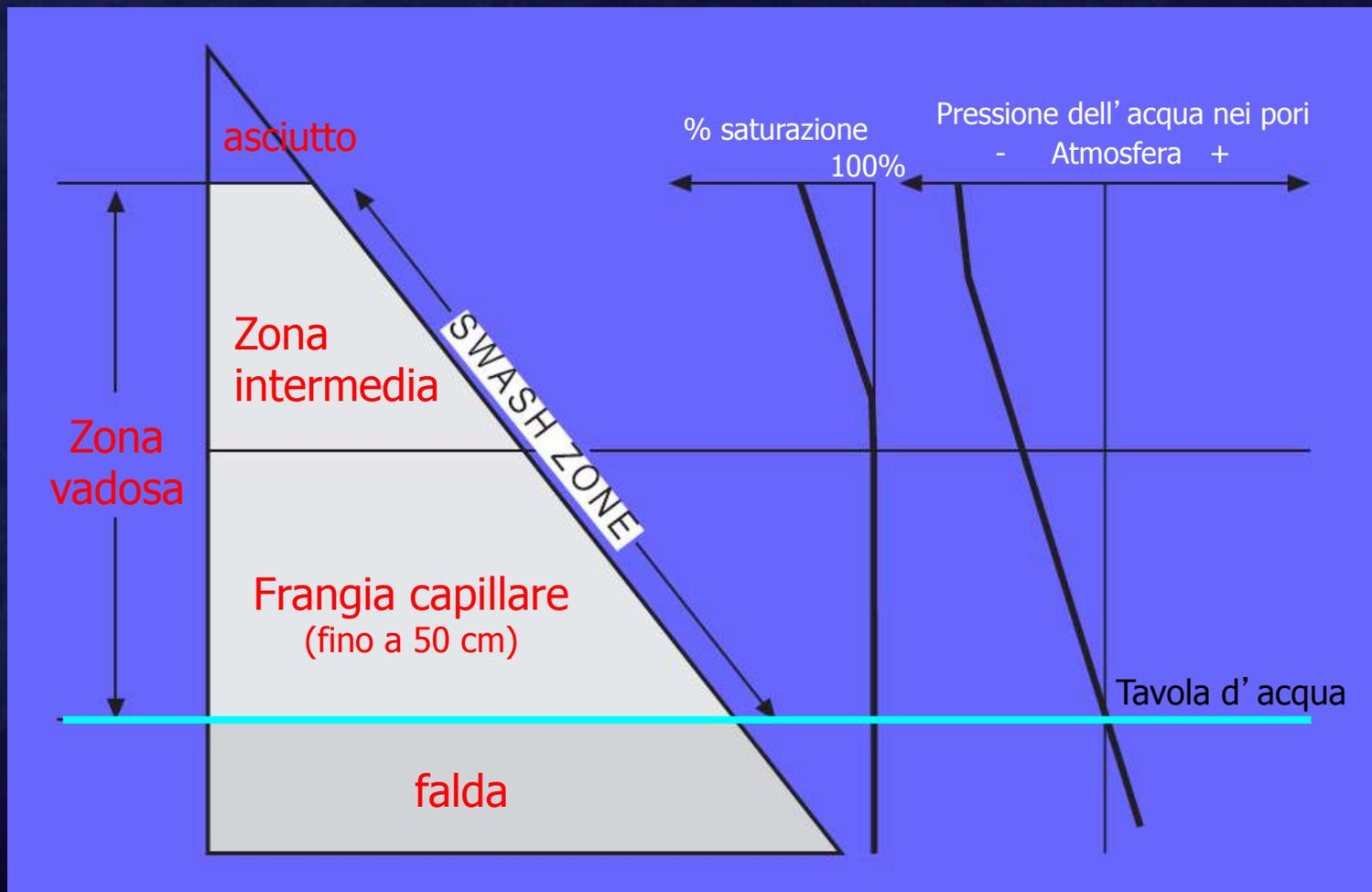


L'aumento di drenaggio d'acqua in fase calante porta comunque ad un contestuale incremento della componente di deriva trasversale diretta offshore (rip di drenaggio).

## 2. Fluttuazione del livello di falda della spiaggia

Riveste un ruolo importante nella modellazione delle forme di spiaggia:

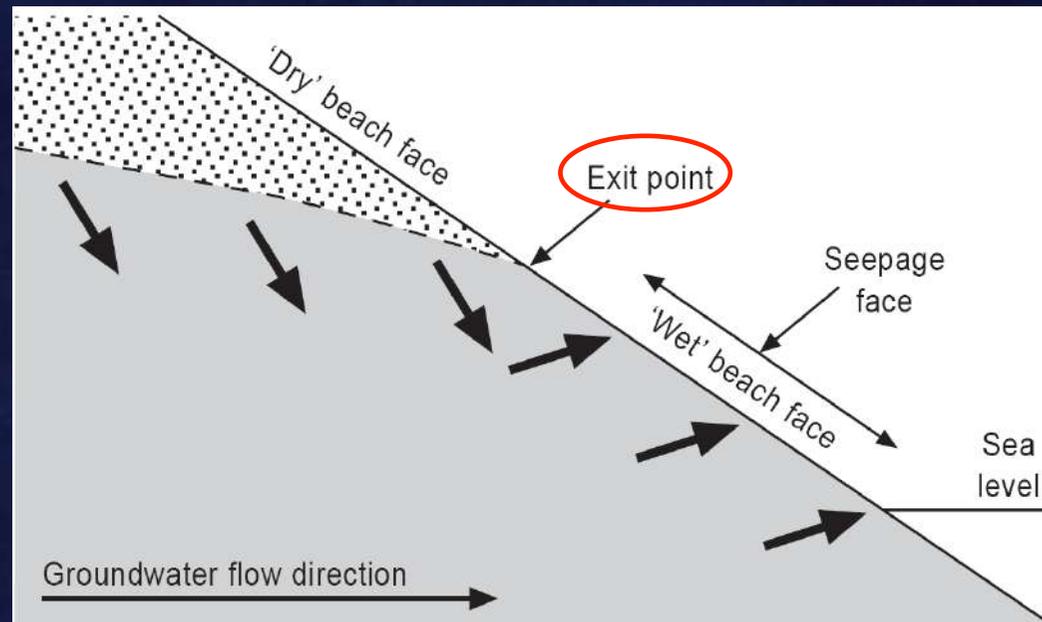
- una spiaggia sottosatura favorisce la deposizione di sedimenti
- una spiaggia satura favorisce l'erosione di sedimento



La posizione della tavola d'acqua varia a seconda della marea. Tuttavia una caratteristica particolare della tavola d'acqua indotta dalla marea è che **risale più velocemente rispetto a quando si abbassa**.

Durante la marea montante la tavola d'acqua risale in concomitanza con l'innalzamento del livello di marea. Durante il riflusso, la tavola d'acqua si disaccoppia dal livello del mare, che si abbassa più velocemente.

Questo effetto porta alla formazione di una **superficie di percolazione**, in corrispondenza della zona dove la tavola d'acqua affiora sulla spiaggia



**Il Punto di uscita è l'intersezione tra la superficie della falda e il profilo intertidale**

Il momento di disaccoppiamento e le caratteristiche di percolazione dipendono dalle capacità di drenaggio della spiaggia. A loro volta quest' ultime sono funzione del gradiente di spiaggia e delle proprietà dei sedimenti.

### SCARSO DRENAGGIO

- spiagge macrotidali a bassa pendenza
- granulometria fine ( $D < 0.3$  mm)



La percolazione inizia quasi alla fine della fase calante o poco dopo l' inizio di un nuovo ciclo montante



Ampia superficie di percolazione che occupa gran parte della zona intertidale

### ELEVATO DRENAGGIO

- spiagge macrotidali ad alta pendenza
- granulometria grossa ( $D > 0.3$  mm)



La percolazione inizia quasi in corrispondenza della fase di riflusso, con disaccoppiamento breve



Superficie di percolazione stretta

Punto di uscita




**AYUNTAMIENTO DE CASTELLÓN**

## PLAYÓN DE BAYAS

SERVICIO DE SALVAMENTO	10 Julio A 9 septiembre		
HORARIO	11:30 A 19:30 L-D		
FECHA	8-7-2015		
BANDERA	AMARILLA		
PLEAMAR	10:12	BAJAMAR	16:13
TEMP. AIRE	21°C	TEMP. AGUA	20°
OBSERVACIONES: ZONA DE BAÑOS COMPRENDIDA ENTRE BANDERAS AMARILLAS		EMERGENCIAS LLAMAR AL 112	



zona

# baños

PARTE DERECHA DE  
LA PLAYA

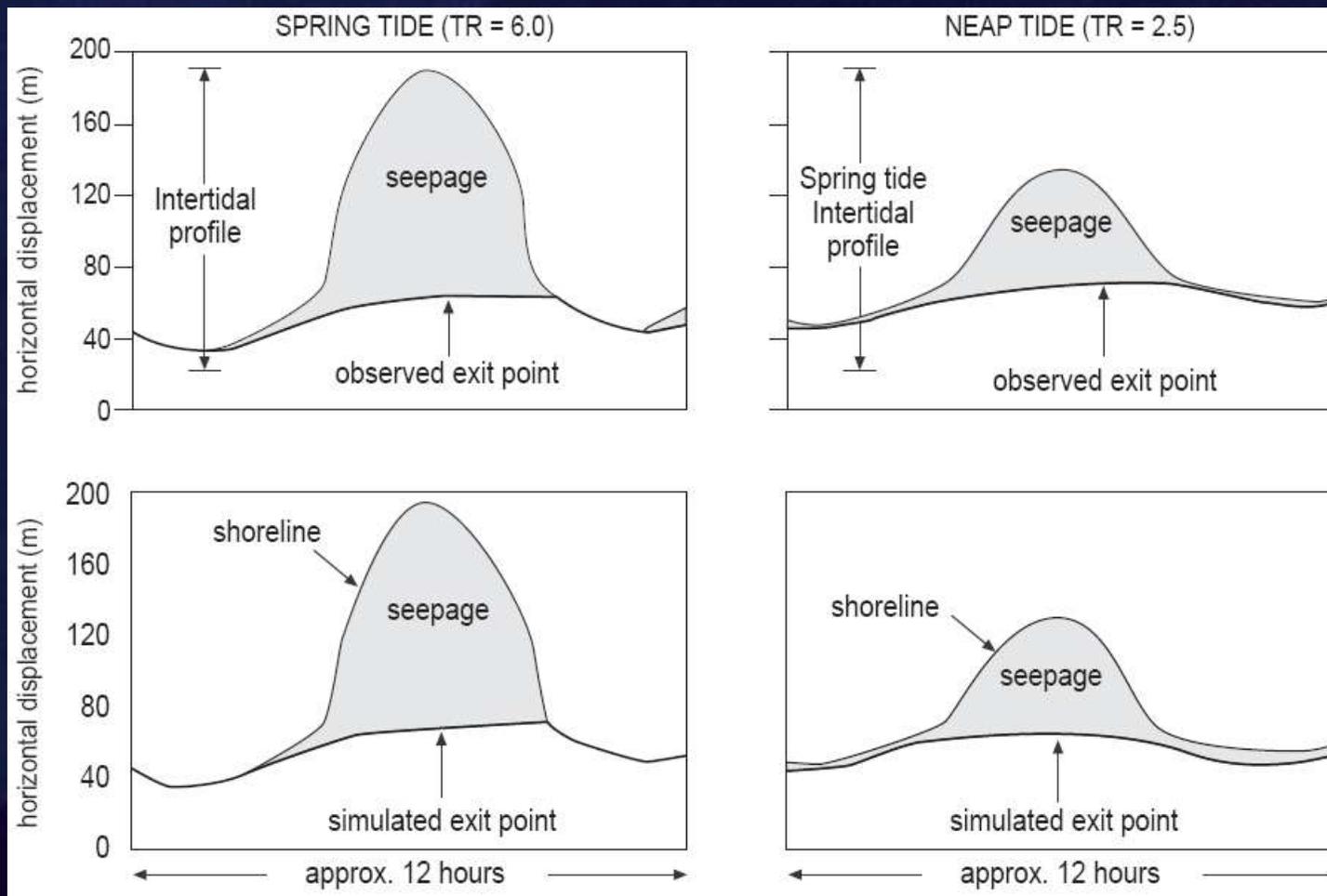








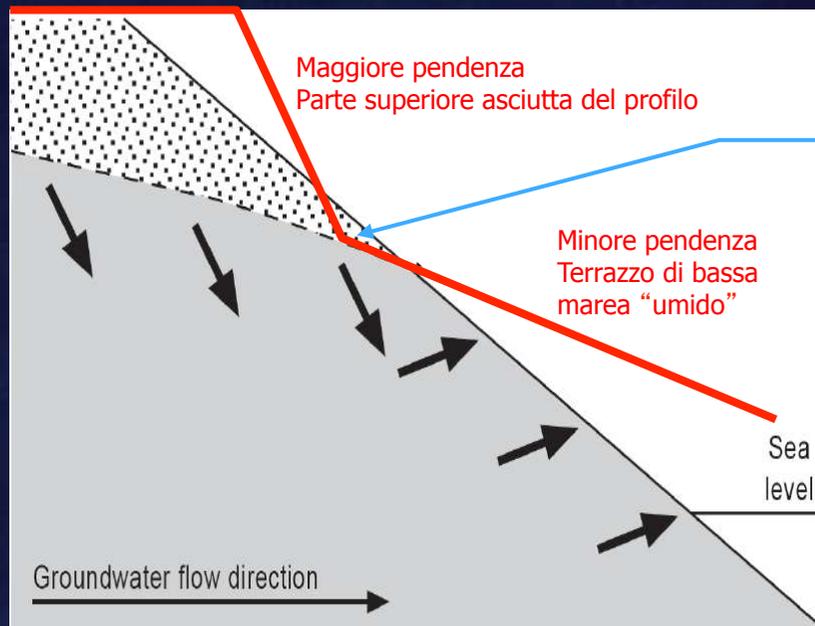
A parità di condizioni, maggiore è l'escursione di marea, maggiore è l'estensione della superficie di percolazione:



La presenza della fascia di percolazione definisce due distinti domini morfodinamici:

- 1) La regione intertidale superiore, alternativamente satura e insatura durante il ciclo mareale
- 2) La regione intertidale inferiore, che rimane permanentemente allo stato saturo

L'intersezione delle due zone marca un punto di trasporto divergente dei sedimenti → la componente onshore caratterizza la parte asciutta, mentre quello offshore domina la zona satura.



Questa divergenza spiegherebbe la presenza di una caratteristica rottura di pendenza delle spiagge ad elevata escursione di marea, che porta allo sviluppo di un ampio terrazzo di bassa marea

La maggior pendenza della parte alta del profilo viene sostenuta dall'azione di swash (infiltrazione).

## La risposta morfologica della spiaggia

- 1) Avviene sotto l'azione combinata degli effetti diretti (traslazione delle zone idrodinamiche) ed indiretti (oscillazione della tavola d'acqua) della marea
- 2) Interviene entro due distinte scale temporali:
  - a) Variazione giornaliera (ciclo diurno o semidiurno)
  - b) Variazione secondo il ciclo lunare (quadratura-sizigie)

### Cosa osserviamo:

- 1) La dominanza dei processi di shoaling e l'incremento delle correnti di marea nella parte bassa del profilo, contestuale all'aumento dei processi di swash e di surf in quella alta, producono un profilo generalmente a debole pendenza e con concavità pronunciata verso l'alto.
- 2) Aumentando l'escursione di marea, si riducono gli effetti di swash e frangenza, appiattendolo ulteriormente i profili.

3) La traslazione periodica delle zone morfodinamiche inibisce la formazione delle tipiche barre della zona di frangenza.

Alcuni studi di laboratorio indicano che **quando  $TR > 3H$  ( $RTR > 3$ ) il tasso di traslazione tidale non permettere di disporre del tempo sufficiente perché si inneschino i processi di formazione delle barre.**

4) L' infiltrazione dello swash nella zona non satura della parte alta del profilo di spiaggia favorisce il trasporto verso riva, incrementando la ripidità.

5) La percolazione nella parte satura aumenta il trasporto verso il largo, appiattendolo il profilo di spiaggia.

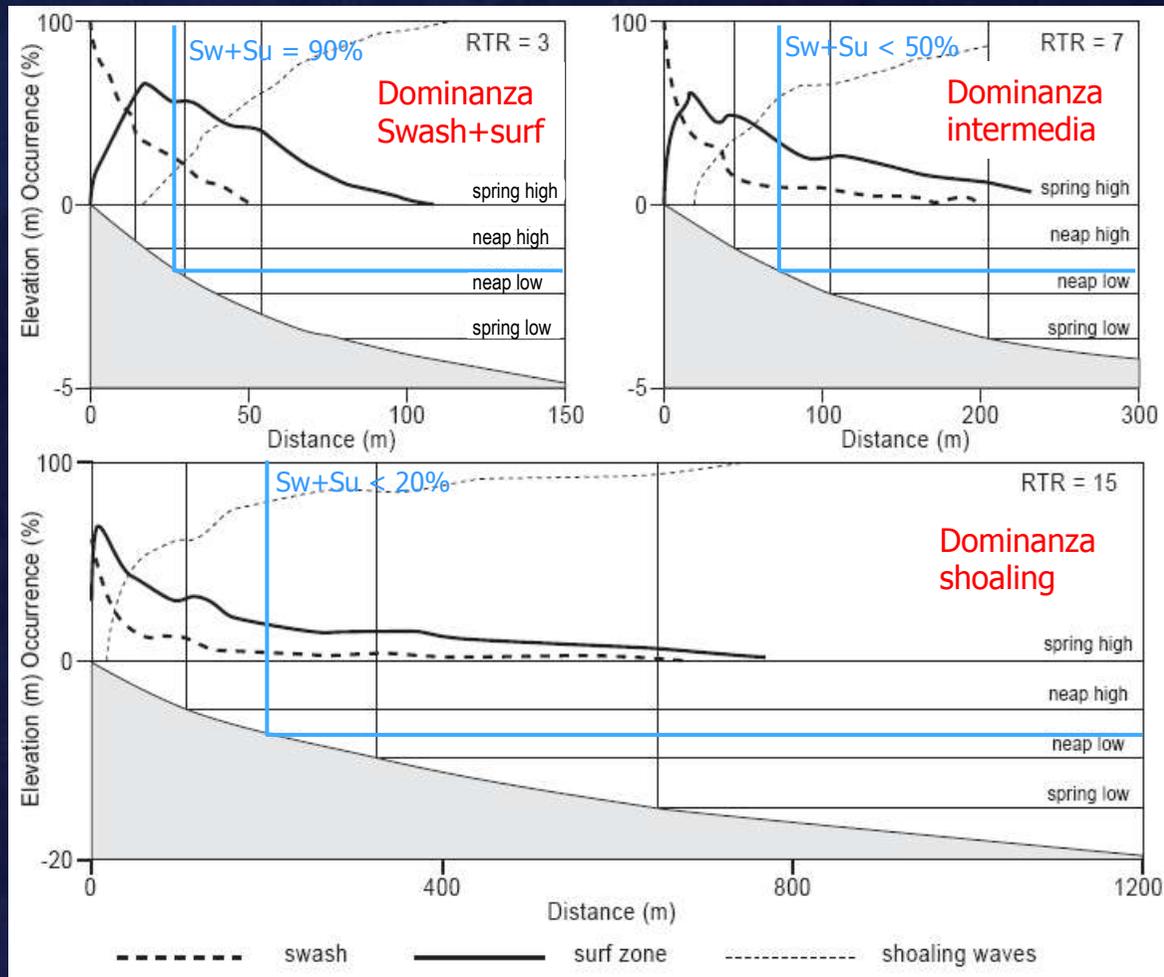
6) L' effetto del ciclo diurno o lunare della marea può influenzare la durata delle condizioni di saturazione (o meno) della zona intertidale, producendo aggiustamenti di profilo a scala giornaliera o mensile, a seconda dei casi

## Parametrizzazione degli effetti tidali sulla spiaggia

Masselink (1993) propone di definire l'effetto della marea rispetto al regime di moto ondoso attraverso il parametro “**escursione di marea relativa**” RTR:

$$RTR = TR/H$$

dove TR = escursione media della marea sizigiale;  
H = altezza modale dell'onda in frangenza



Al variare di RTR lo stesso autore propone un modello che permette di calcolare l'ammontare degli effetti di shoaling, frangenza e swash.

A seconda della relativa importanza di ciascuno di tali processi è quindi ipotizzabile una data morfologia di spiaggia.

# CLASSIFICAZIONE MORFODINAMICA DELLE SPIAGGE TIDALI

Masselink & Short (1993)

Questo schema di classificazione completa le distinzioni morfodinamiche già definite da Wright & Short (1984) per le spiagge a dominio di moto ondoso, utilizzando il parametro  $\Omega$  (velocità di caduta adimensionale) già precedentemente espresso ed introducendo il nuovo parametro RTR:

Si ricorda che

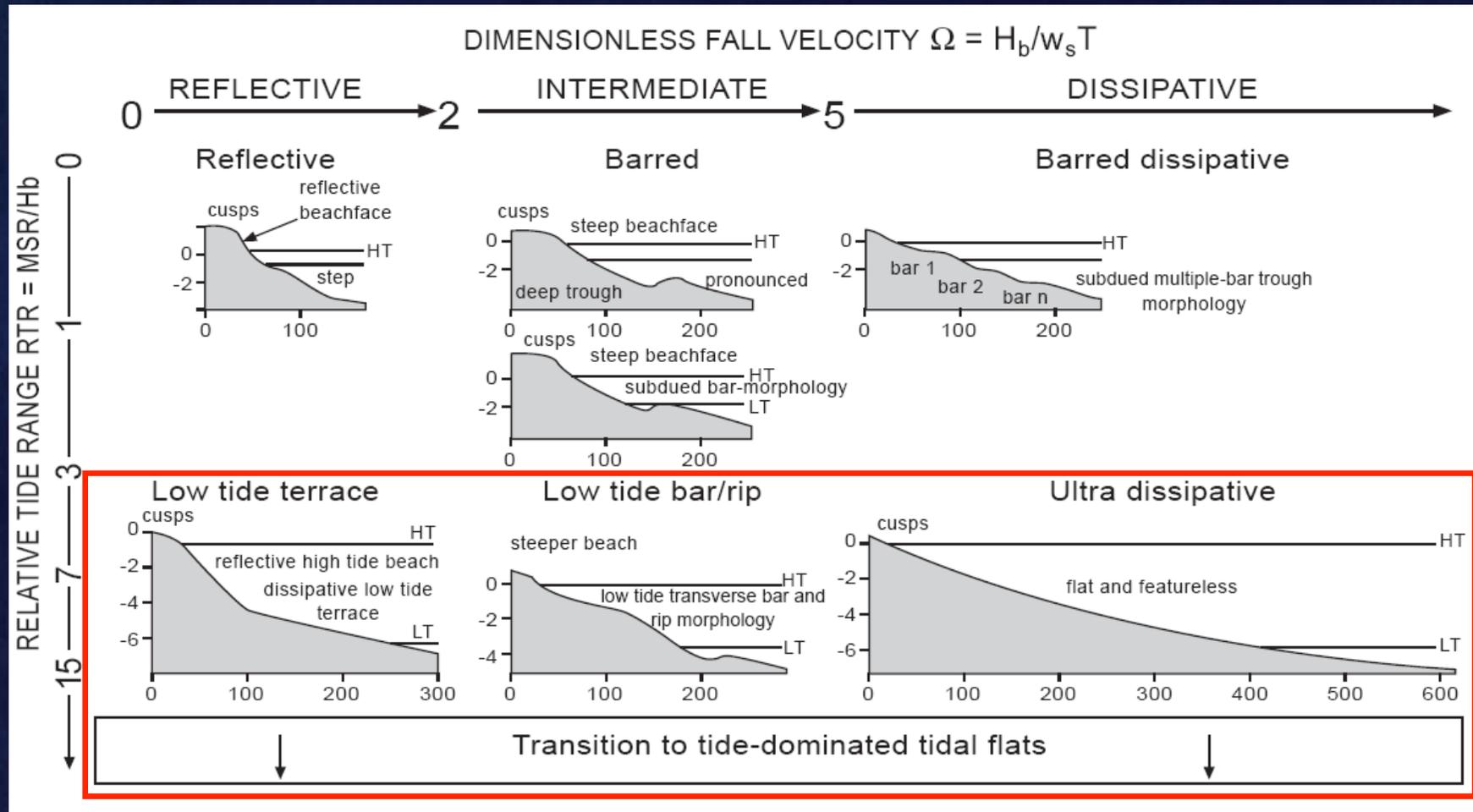
<i>Relative tide range</i>	<i>Environment</i>	<i>Beach type</i>
<i>RTR &lt; 3</i>	Wave-dominated	1. <i>Reflective</i> 2. <i>Barred</i> 3. <i>Dissipative</i>
<b>7 &lt; RTR &lt; 15</b>	<b>Tide-modified</b>	4. <i>Low tide terrace</i> 5. <i>Low tide bar/rip</i> 6. <i>Ultra-dissipative</i>
<i>RTR &gt; 15</i>	Tide-dominated	7. <i>Transitional (beach to tidal flat)</i>

$$\Omega = \frac{H_b}{w_s \cdot T}$$

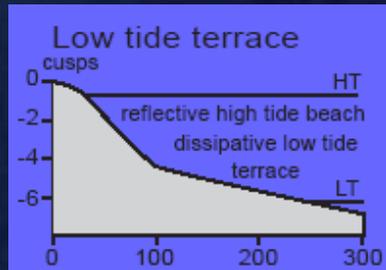
$$RTR = \frac{TR}{H_b}$$

$H_b$  = altezza modale dell'onda in frangenza  
 $T$  = periodo associato all'onda  
 $w_s$  = velocità di sedimentazione  
 $TR$  = escursione media marea sizigiale

# CLASSIFICAZIONE MORFODINAMICA DELLE SPIAGGE TIDALI



## TIPO LTT (LOW TIDE TERRACE: spiagge con terrazzo di bassa marea)



- $\Omega < 2-3$
- $RTR = 3-15$



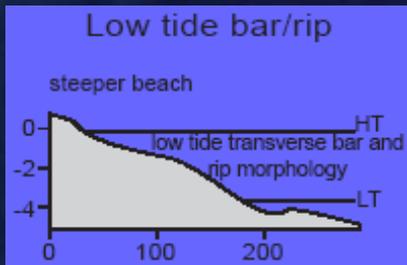
### Parte alta del profilo intertidale (alta marea)

- sedimento  $D > 0.3$  mm
- $\text{tg } \beta > 0.05$
- frangente: surg-plunging
- processo dominante: swash
- forme: cuspidi (comuni)

### Parte bassa del profilo intertidale (bassa marea)

- sedimento  $D < 0.2$  mm
- $\text{tg } \beta < 0.03$
- frangente: spilling
- processo dominante: shoaling
- forme: rip di drenaggio (in bassa marea)

## TIPO LTB (LOW TIDE BAR/RIP: spiagge con barra e rip di bassa marea)



- $\Omega = 2-5$
- $RTR = 3-7$



### Parte alta del profilo intertidale (alta marea)

- sedimento  $D = 0.2-0.4$  mm
- $\text{tg } \beta = 0.03-0.05$
- frangente: plunging
- processo dominante: swash-surf
- forme: cuspidi (occasionali)

### Parte bassa del profilo intertidale (bassa marea)

- sedimento  $D < 0.3$  mm
- $\text{tg } \beta = 0.02-0.04$
- frangente: plung-spilling
- processo dominante: surf
- forme: barre e rip (in bassa m.)

Tide modified beaches (tide range > 2 m)

type 2 beach+low tide bar & rips

Morphology: moderate beach, wide low tide bar & rips

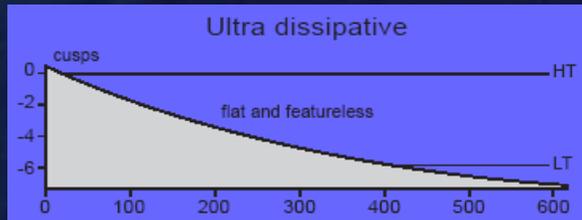
Dynamics: surging breaker at high tide (no surf)  
spilling breakers across bar at low tide



Environment: moderate waves, fine-med sand

Location: exposed northern Australia beaches

## TIPO UD (Ultra dissipative: spiagge ultradissipative)



- $\Omega > 5$  (3)
- RTR = 3-15

### Parte alta del profilo intertidale (alta marea)

- sedimento  $D < 0.3$  mm
- $\text{tg } \beta = 0.02-0.04$
- frangente: plunging-spilling
- processo dominante: swash-surf
- forme: cuspidi (rare)

### Parte bassa del profilo intertidale (bassa marea)

- sedimento  $D < 0.2$  mm
- $\text{tg } \beta < 0.03$
- frangente: spilling
- processo dominante: shoaling
- forme: occasionali barre





Ultradissipative  
Bushranger Bay, Qld

Ultradissipative  
Rhosilli Bay, Wales



## TRANSIZIONE AL DOMINIO DELLE PIANE TIDALI

Non avviene necessariamente quando il regime tidale è massimo, ma quando il rapporto tra escursione di marea e modo ondoso  $RTR > 15$ .

Varie morfologie: spiaggia + piana tidale sabbiosa (con barre)  
spiaggia + piana tidale fangosa (quasi sempre senza forme)



Cardwell, Qld

mud flat

steep HT beach

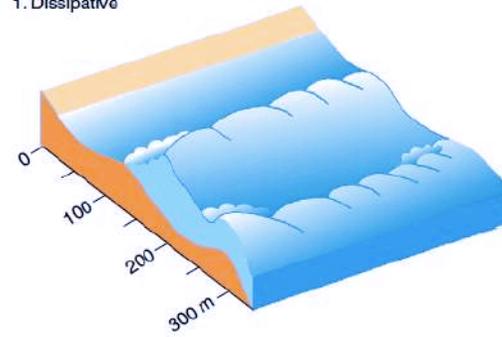


# SINTESE (beach state)

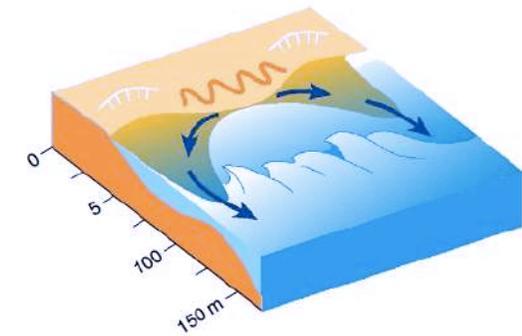
## WAVE DOMINATED BEACHES

From  
dissipative (1)  
To  
Reflective (6)

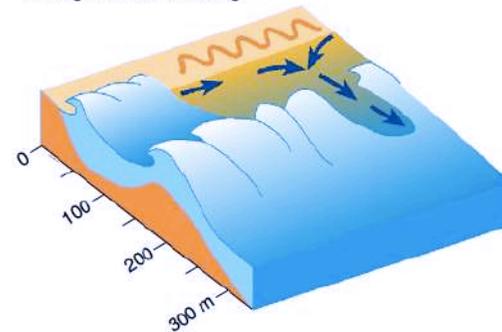
1. Dissipative



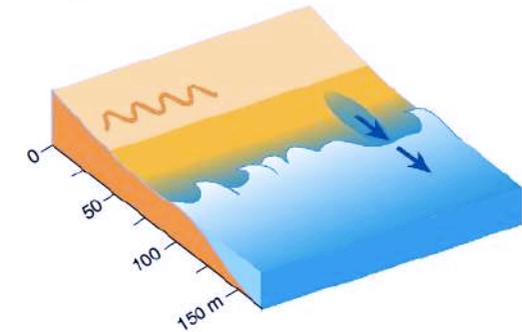
4. Transverse bar and rip



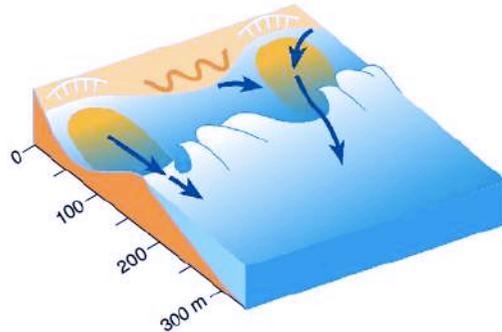
2. Longshore bar and trough



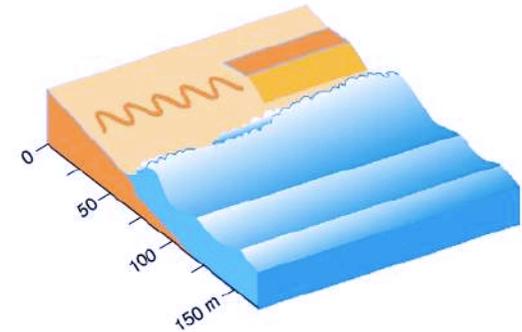
5. Low tide terrace



3. Rhythmic bar and beach



6. Reflective



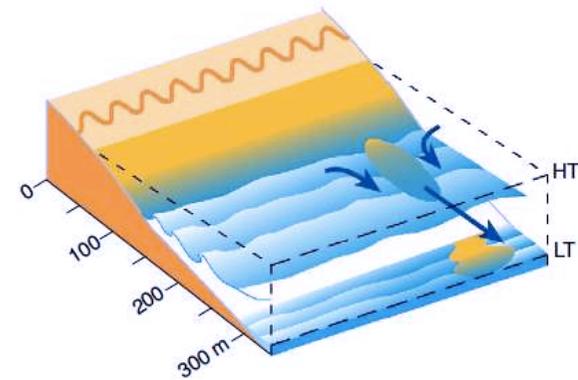
**Figure 13** The 13 wave-dominated (1–6), tide-modified (7–9), and tide-dominated (10–13) beach states occurring around the Australian coast. See **Figure 14** and **Table 1** for their relation to wave height, sand size,  $\Omega$ , and RTR. Reproduced from Short, A.D., Woodroffe, C.D., 2009. *The Coast of Australia*. Cambridge University Press, Melbourne, 288 pp.

# SINTESI (beach state)

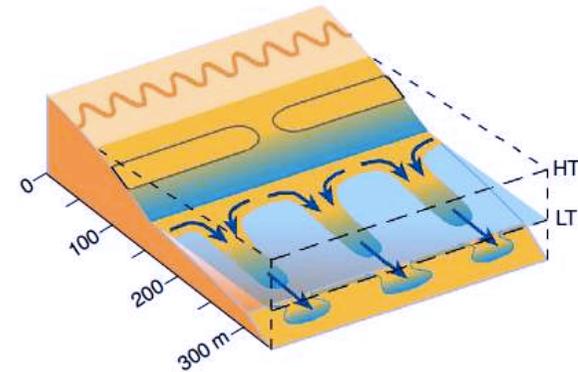
## TIDE MODIFIED BEACHES

From  
Reflective + LTT (7)  
To  
ultradissipative (9)

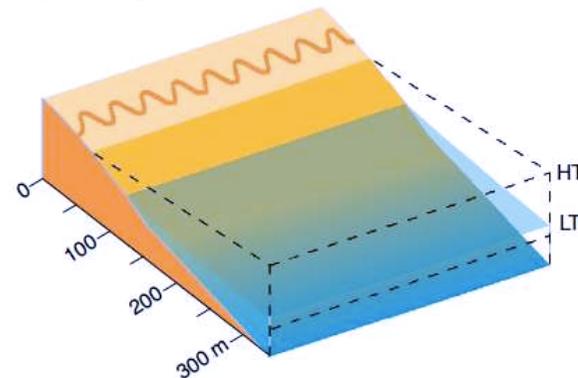
7. Reflective + low tide terrace (+rips)



8. Reflective + low tide bars and rips



9. Ultradissipative



# SINTESI (beach state)

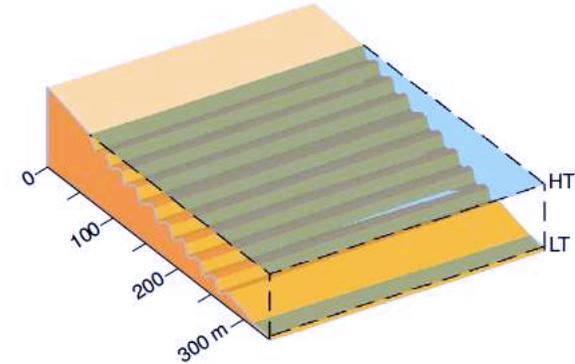
## TIDE DOMINATED BEACHES

Ridged sand flat (10)

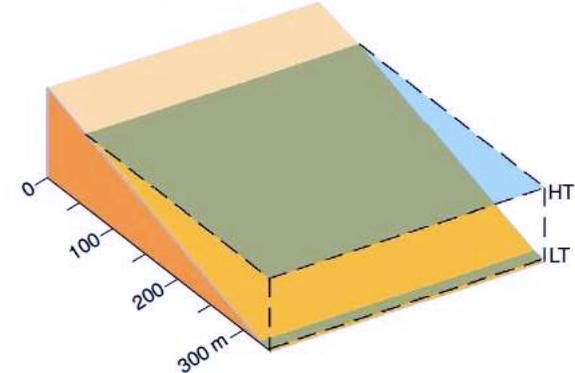
Sand flat (11)

Tidal sand/mud flat (12, 13)

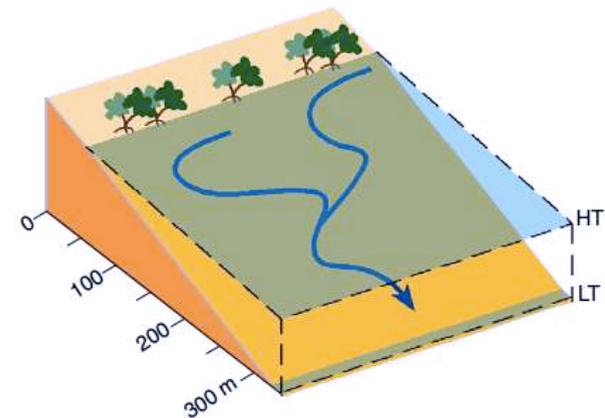
10. Beach + ridged sand flats



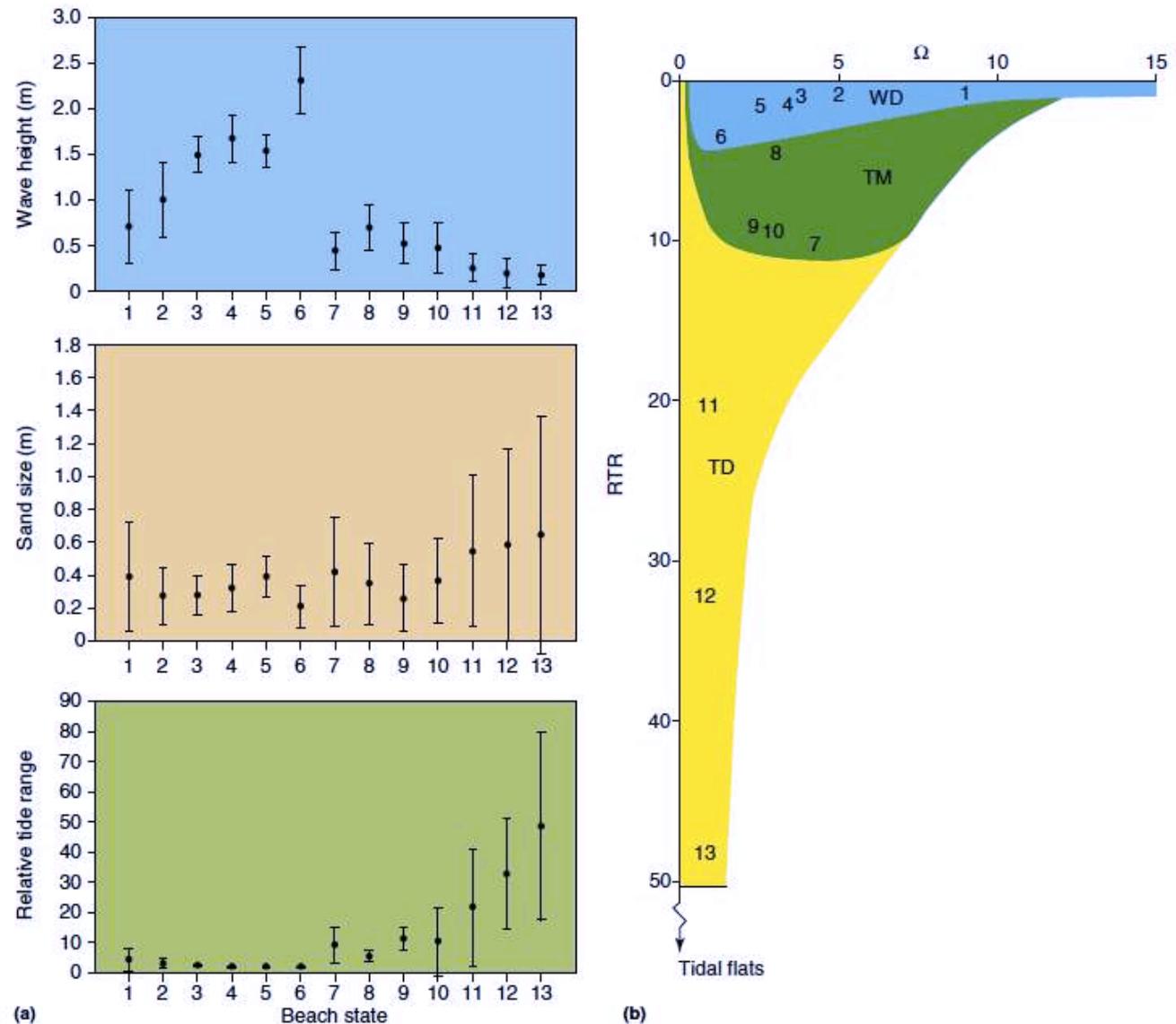
11. Beach + sand flats



12 and 13. Beach + tidal sand/mud flats



# SINTESI Parametri



**Figure 14** (a) The relationship between beach state and wave height, sand size and relative tide range (bars = standard deviation) (Short, 2006); and (b) the relationship between beach type and  $\Omega$  (Hb/Tws) and RTR (TR/Hb). WD = wave dominated; TM = tide modified; TD = tide dominated. Numbers (see Figure 12) refer to modal beach state location on Australian coast. Based on data from Short, A.D., 2006. Australian beach systems - nature and distribution. *Journal of Coastal Research* 22, 11-27.