

# Morfologia costiera

A cura di S. Furlani

# Argomenti

- Le coste del mondo
- Coste alte e coste basse
- Processi costieri
- Forme costiere

# ALCUNI TIPI DI CLASSIFICAZIONI

Le coste sono difficili da classificare, soprattutto perché sono studiate da una serie di discipline, ciascuna con un proprio interesse. Inoltre si sviluppano su più scale spaziali e temporali

## **Classificazione legata alle variazioni del livello marino**

- Coste di emersione, sommersione, stabili (Gulliver, 1899; Johnson, 1919)

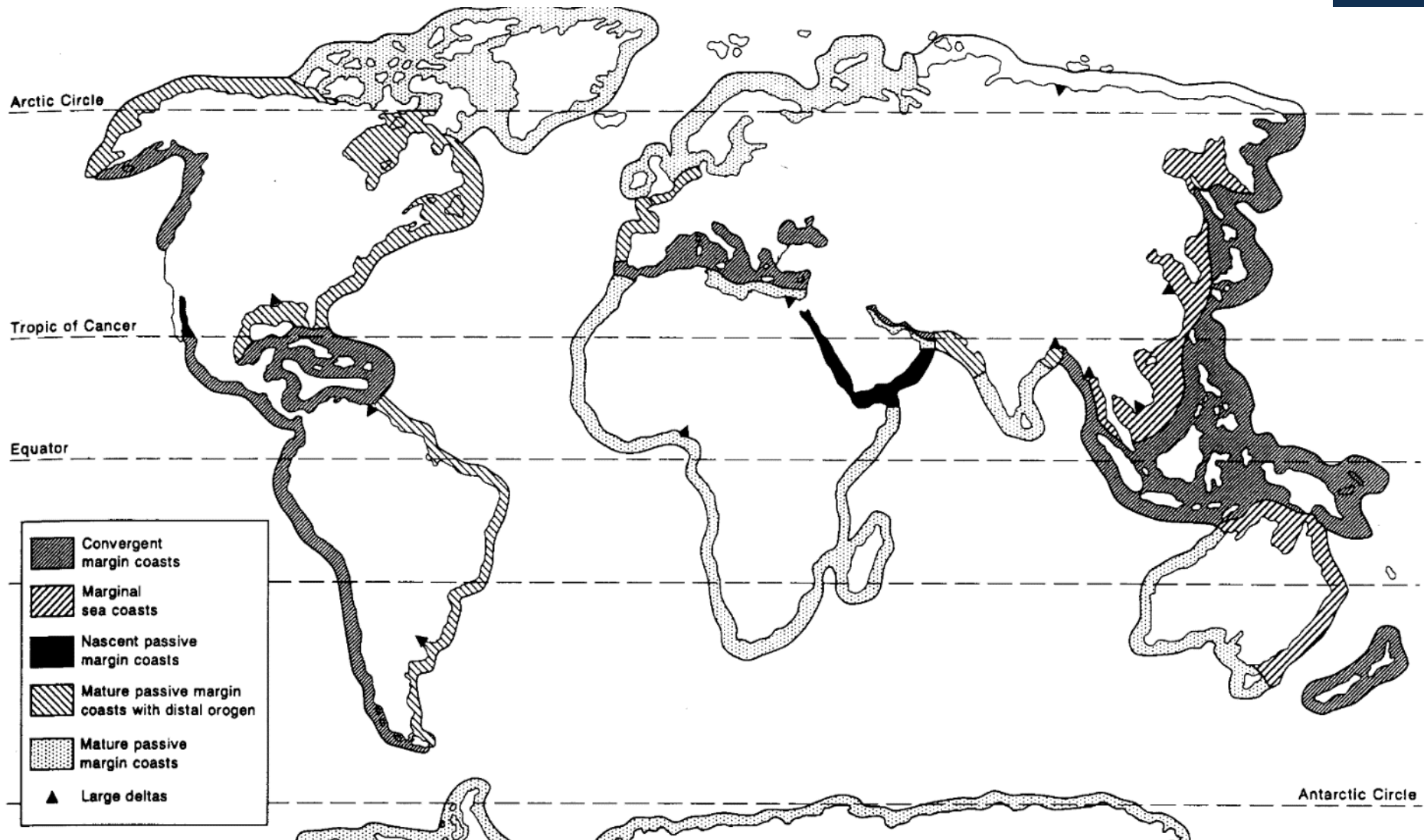
## **Contesto geotettonico costiero**

- Province geotettoniche (Fairbridge, 1992)
- Coste di tipo "Atlantico" e "Pacifico" (Suess, 1888)
- Coste di regioni stabili e mobili (Cotton, 1918)

## **Ambiente genetico**

- Coste primarie e secondarie (Shepard, 1937, 1948, 1973)

# Tipi di coste



# Classificazione

- Rhodes W. Fairbridge (2004) ha suggerito che una descrizione di una costa richiede almeno tre termini che coprano:
  - Materiale (duro, erodibile, solubile, ecc)
  - Processi (erosivo, costruttivo, fisici, chimici, biologici, latitudine, esposizione, fetch, ecc)
  - Fattori storici (geotettonici, glacioisostatici, eustatici, sterici, scala umana, ecc)

# Classificazione di Fairbridge

**Table 13.1** Fairbridge's classification of coasts

Basic elements	Explanation
<b>Coastal material</b>	
Soft, weakly consolidated, easily erodible (relatively soluble in seawater and rainwater; create mudflats, beaches, bluffs, and low cliffs)	<p>Relatively insoluble: detrital products such as mud, silt, sand, gravel, boulders (loose)</p> <p>Relatively soluble: reef limestones; bioclastic carbonate debris (foraminifera, calcareous algae, mollusca, coral); beachrock and aeolianite</p> <p>Pre-weathered hard rocks: 'grusification' or reduction in hot-wet tropics to grus or crumble, leaving unweathered corestones within easily eroded saprolite</p> <p>Hard concretions (such as cherts or flints) released by differential wave erosion to create cobble or 'shingle' beaches</p> <p>Volcanic materials (interlayered lavas, pumice, ash or lapilli (p. 113)), reduced by wave action to boulders, black sands, and so on</p>
Hard rock and cliffed coasts	<p>Longevity of hard-rock coasts</p> <p>Anomalous hard-rock boulders due to diachronous sea-ice transport</p> <p>Landsliding, with rotational slip</p> <p>Landsliding on volcanic cones, with control of atoll form</p> <p>Fault-controlled cliffs</p> <p>Fossil or 'dead' cliffs (<i>falaises mortes</i> in French – cliffs no longer in contact with water)</p>

# ...continua

## Physical setting

Latitude	Solar radiation, seasonality, and weathering potential
Climate	Prevailing winds, storms, sea ice
Fetch	Open water for wave approach
Offshore bathymetry	Wave regime and longshore currents
Tides	Diurnal, fortnightly, seasonal, 18.6-year lunar nodal
Tsunami potential	Volcanoes, submarine slides
Homogeneity	Beach extent, headland frequency

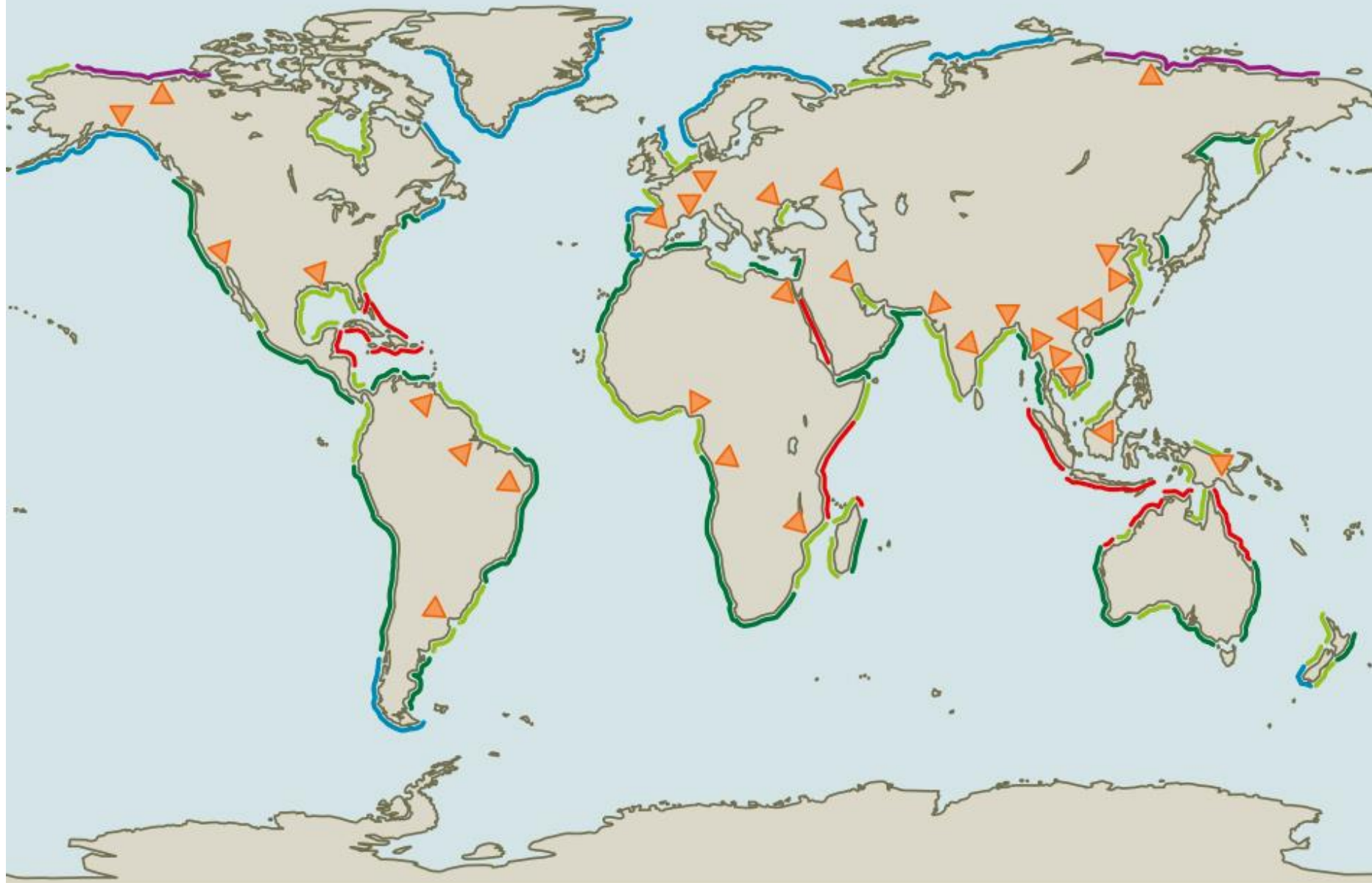
## Erosive agencies

Physical agencies	Abrasion Hydraulic impact Wind and tide-driven ice floes and icebergs Ice-foot (glacial)
Chemical agencies (water, carbon dioxide, methane)	Subaerial weathering preparation (mainly feldspars and micas) Carbonate rocks

# ...continua

<b>Basic elements</b>	<b>Explanation</b>
Biological agencies	Mangrove and salt marsh Limestone and uplifted coral reef undercuts populated by borers and scrapers Barnacles, footing solution Echinoids and boring molluscs Kelp and other algal holdfasts
<b>History</b>	
Plate margin setting	Extensional, passive, trailing edge or pull-apart plate margins Collision or intermediate-type (back-arc) plate margins
Isostatic readjustments	Geotectonic, vertical motions associated with plate rupture Glacio-isostatic, crustal response to glacial loading and unloading (including marginal bulge effect) Hydro-isostatic crustal response to water loading
Geoidal readjustments	Earth's spin rate Mass loading Atmospheric pressure Winds and currents
Steric changes	Volumetric response to thermal and salinity changes
Eustatic changes	Tectono-eustatic Sedimento-eustatic Glacio-eustatic
Artificial or human-made coasts	





— Headland-bay coasts

— Tropical coral reefs

— Permafrost coasts

— Coastal plains

— Rocky coasts and fjords

▶ Major deltas

# Tipi di coste



- LEGEND**
- 1. Halophile-psamophile
  - 2. Scrub
  - 3. Herbaceous swamp
  - 4. Slack
  - 5. Scrub
  - 6. Herbaceous swamp
  - 7. Shrubby vegetation
  - 8. Dry forest

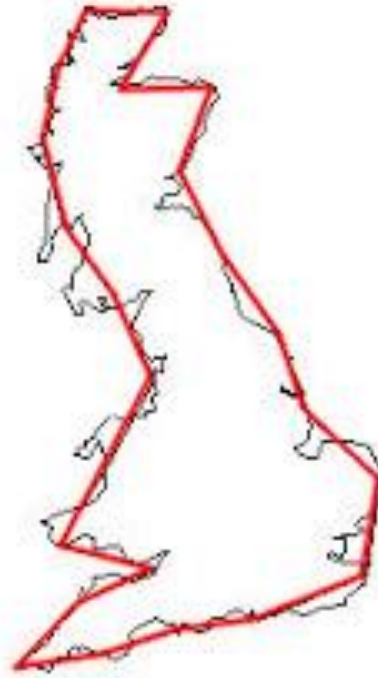
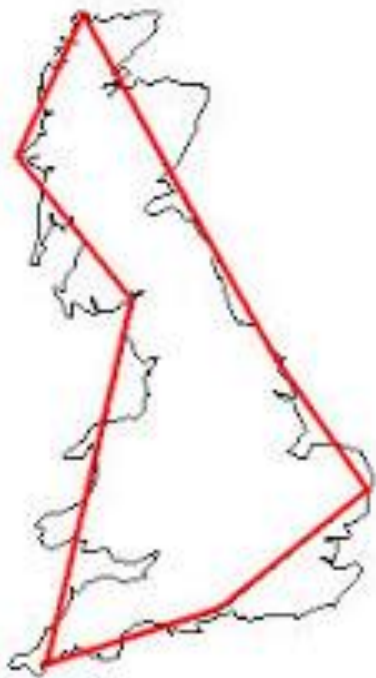


Lantuit (2013), Permafrost and Periglacial Processes

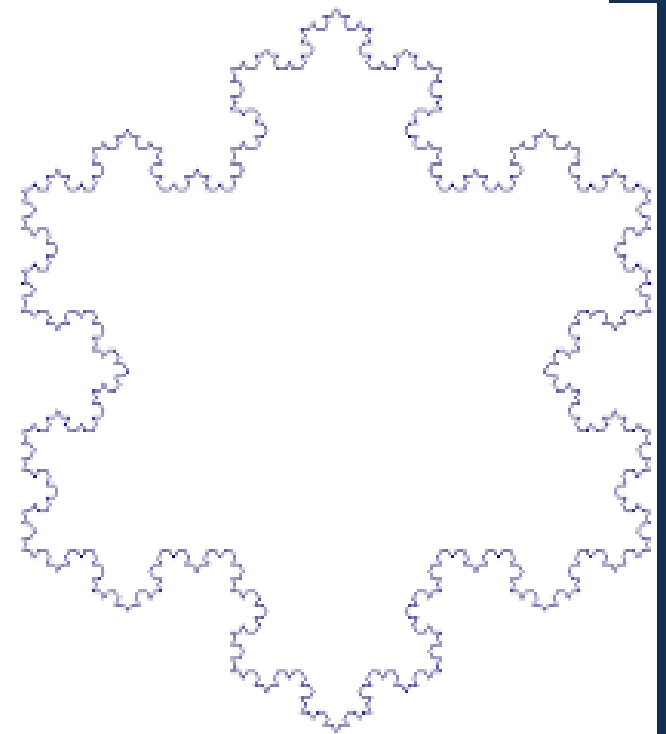
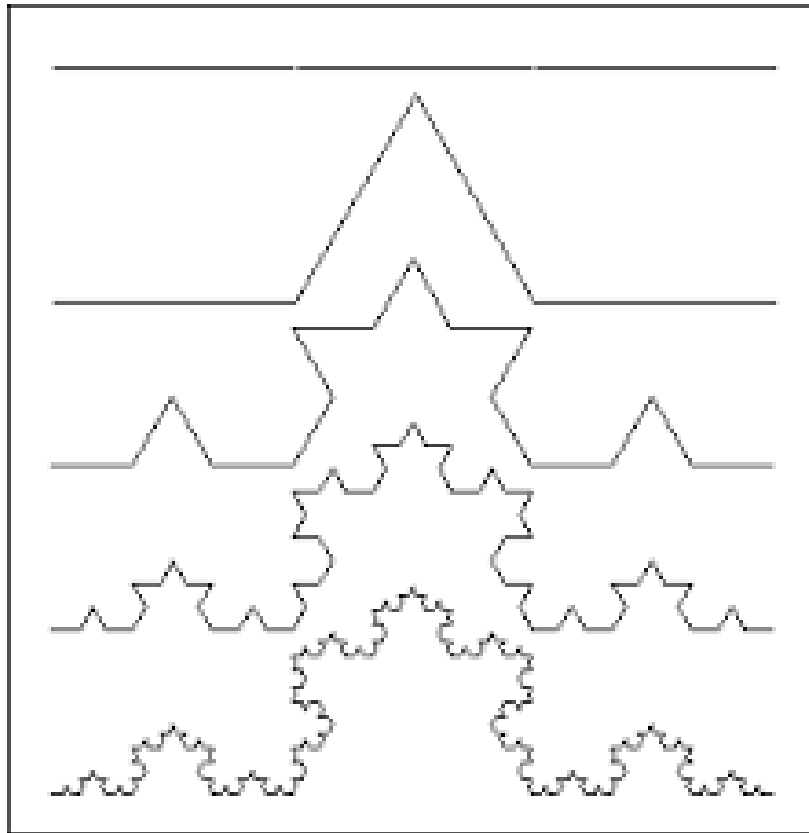
# Le coste in numeri

- La costa non è mai perfettamente lineare. Ecco perché la sua lunghezza dipende da quale unità di misura si utilizza quando la si studia.
- Ad esempio, quella del Regno Unito, con un passo di 100 km, avrà una lunghezza pari a 2800 km, con un passo di 50 km, la lunghezza sarà pari a 3400 km.
- I matematici usando i frattali per spiegare questo concetto, ovvero più è precisa la misura, tanto più difficile è la struttura.
- Benoit Mandelbrot ha ampliato e completato il lavoro di Richardson per lo stesso paradosso, ed ha suggerito che, se si tenta di misurare la linea costiera con incrementi di un atomo, la sua lunghezza, probabilmente, si avvicinerà all'infinito e questo senza tener conto del fatto che durante le maree la struttura della linea di costa può radicalmente cambiare.

# Paradosso della costa



# Frattali e lunghezza delle coste

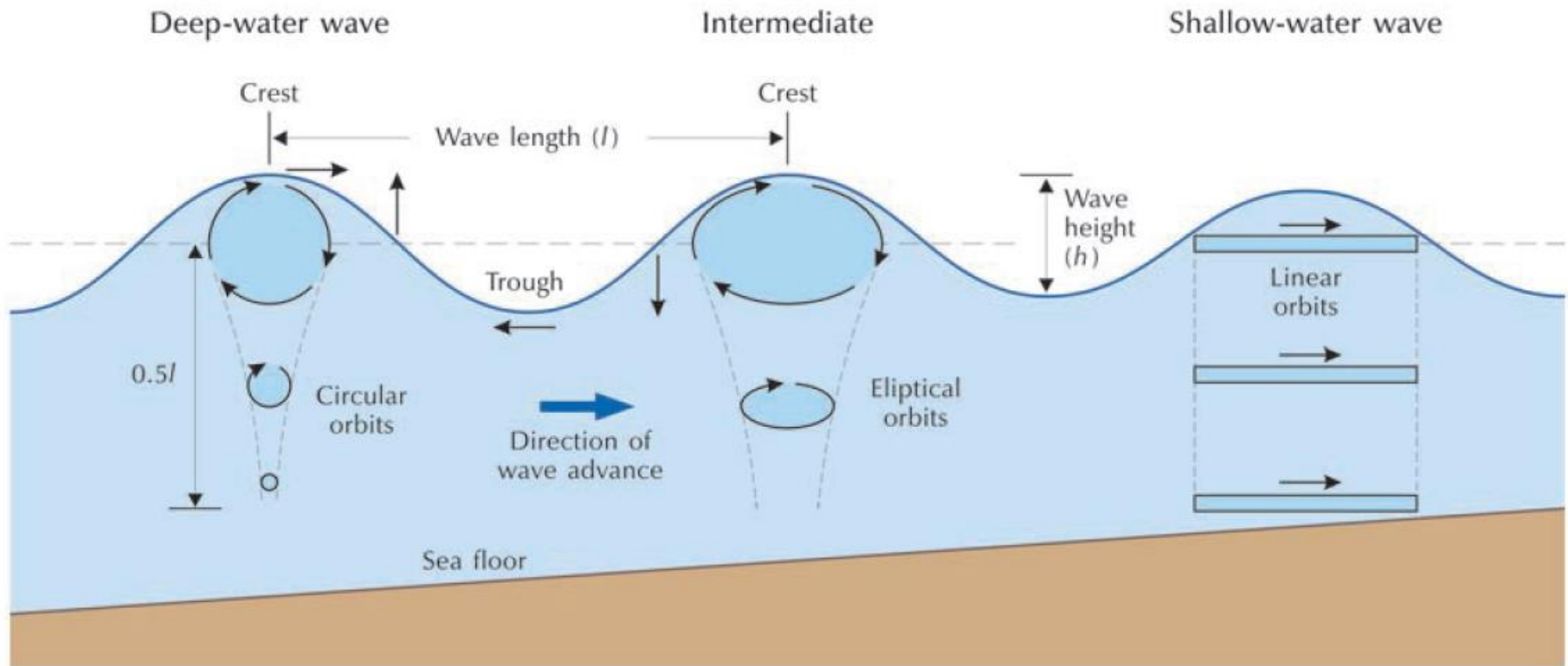


Onde

# Onde

- Le onde sono ondulazioni che si creano quando il vento soffia sopra la superficie dell'acqua
- La turbolenza nell'aria genera una variazione di pressione sulla superficie del mare che le genera. Una volta formate, le onde contribuiscono a disturbare il flusso d'aria, quindi in parte di autosostengono
- L'energia totale coinvolta dipende dalla velocità del vento, dalla durata e dal fetch (lunghezza totale del settore interessato). Oltre, diventano onde morte (*swell waves*)
- Altezza massima: 20 m, velocità fino a 80 km/h

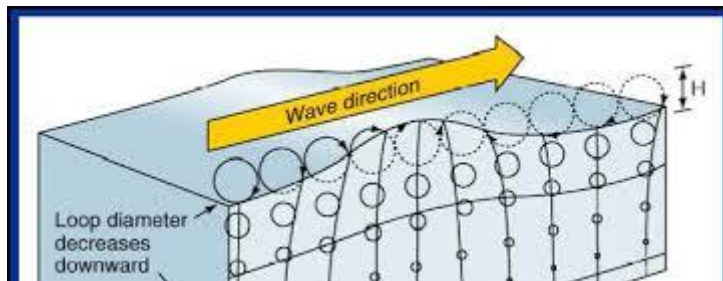
# Onde



**Figure 13.1** Terms associated with waves, including the orbital motion of waves in deep, intermediate, and shallow water. *Source:* Adapted from Komar (1998, 166)

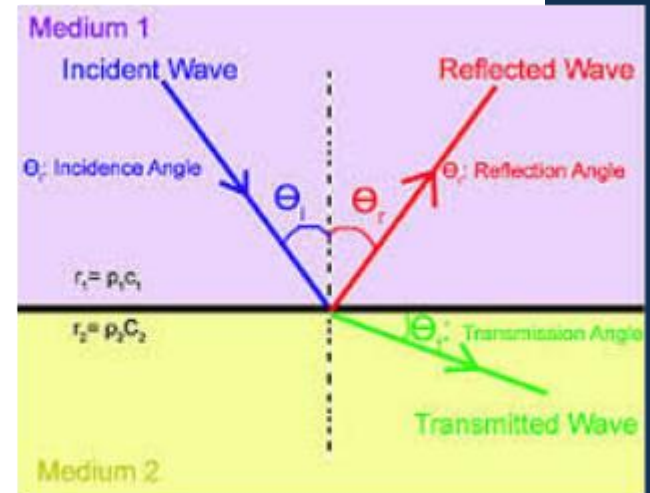
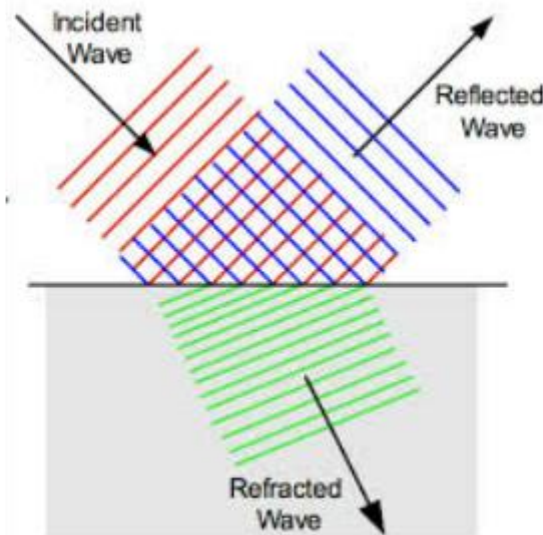
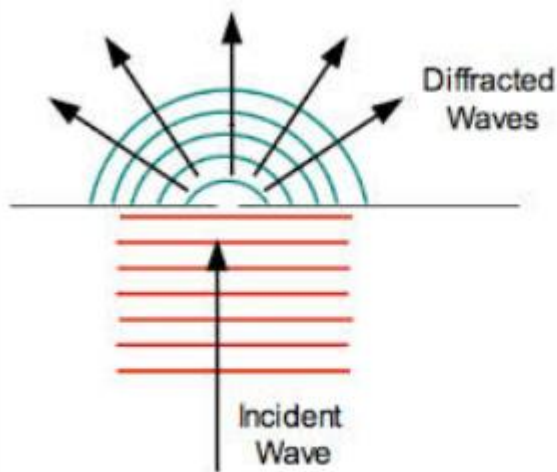
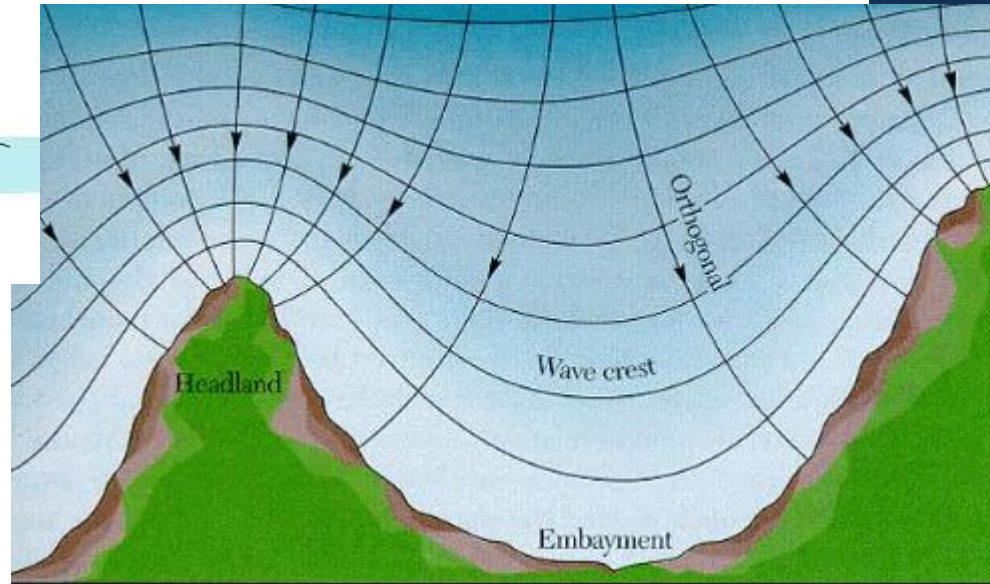
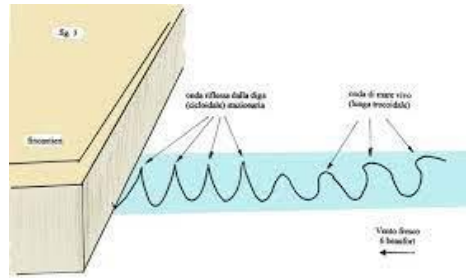


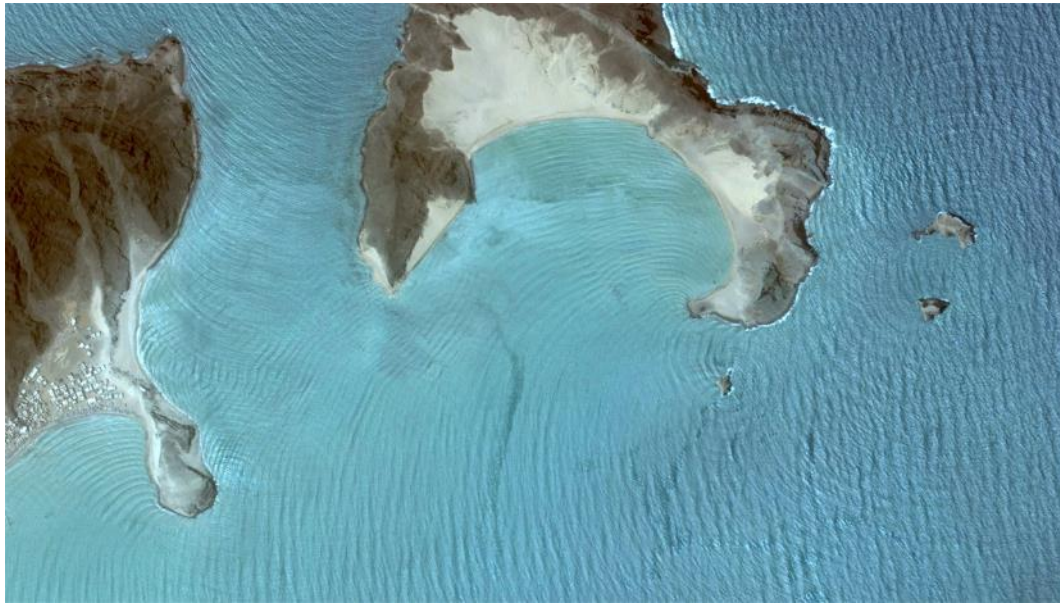
- L'acqua si muove lentamente nella direzione di propagazione del vento e si muove più rapidamente sulla cresta che nel cavo dell'onda
- Onde oscillatorie formano treni di onde
- Onde solitarie o di traslazione (trascinamento) coinvolgono acqua che si muove nella direzione di propagazione senza movimenti compensativi all'indietro



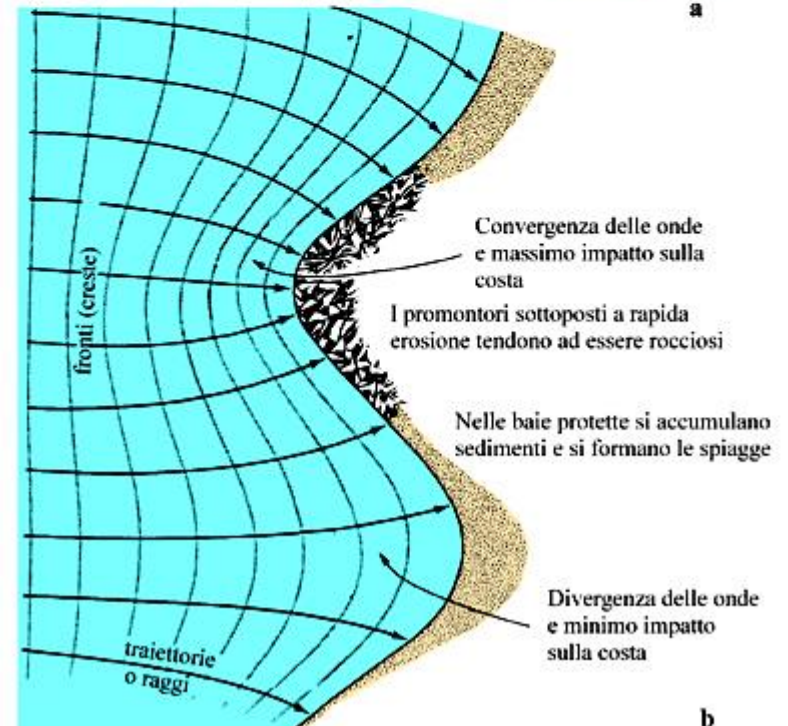
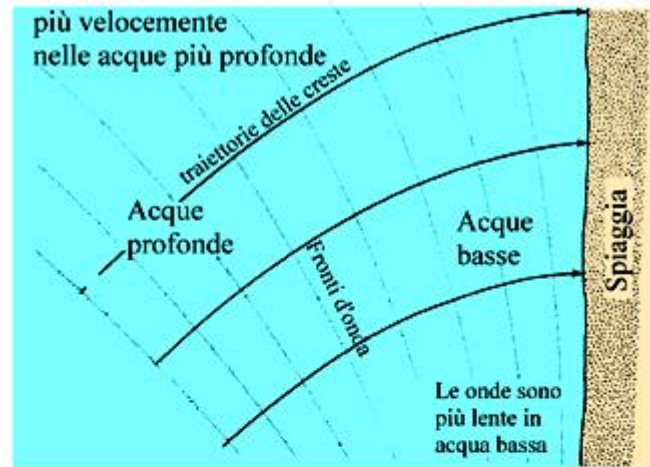
# Onde di bassa profondità

- Quando l'onda «sente» il fondo, rallenta, quindi le onde diventano più ripide e si frangono
- La rifrazione delle onde avviene perché questo meccanismo è legato alla forma del fondale





Le onde si muovono  
più velocemente  
nelle acque più profonde



a

b

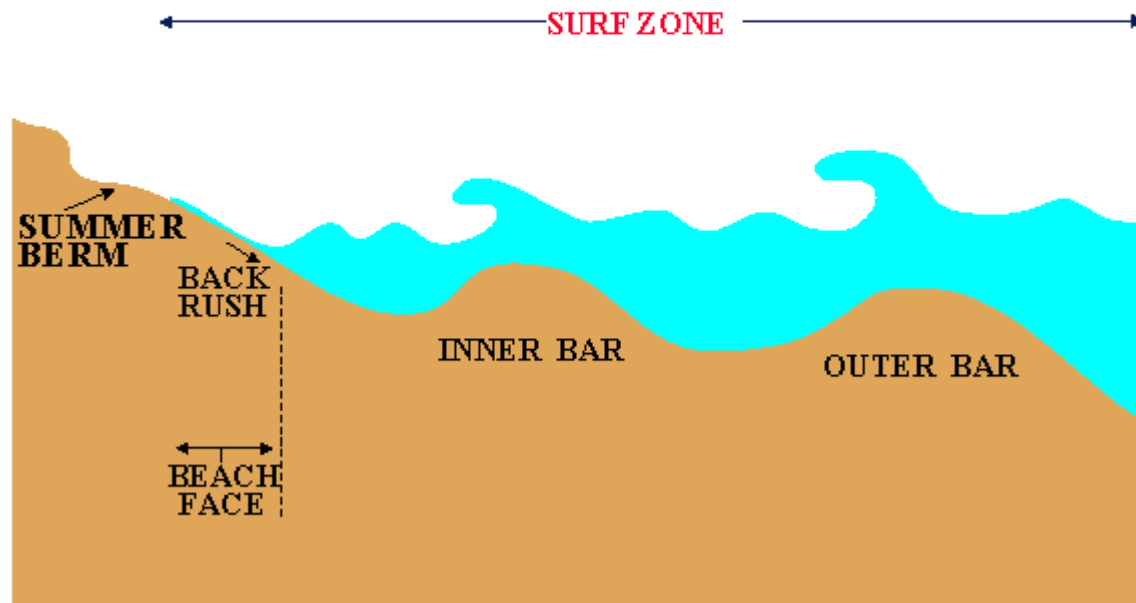


Logiurato (2011): Physics Education (teaching Waves with Google Earth)

# THE BEACH

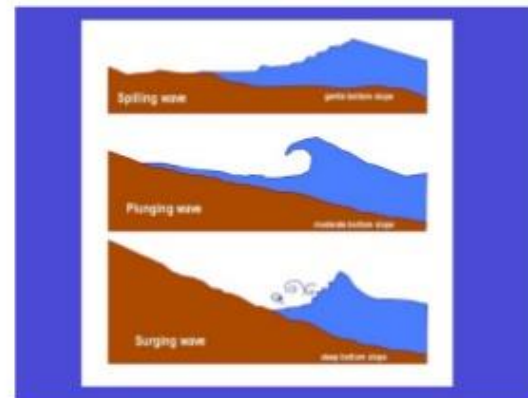
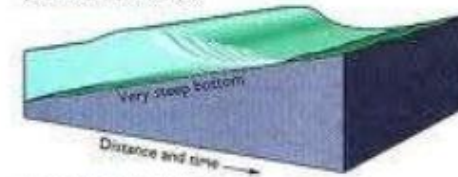
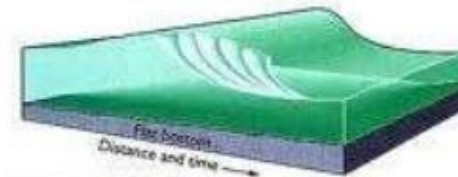
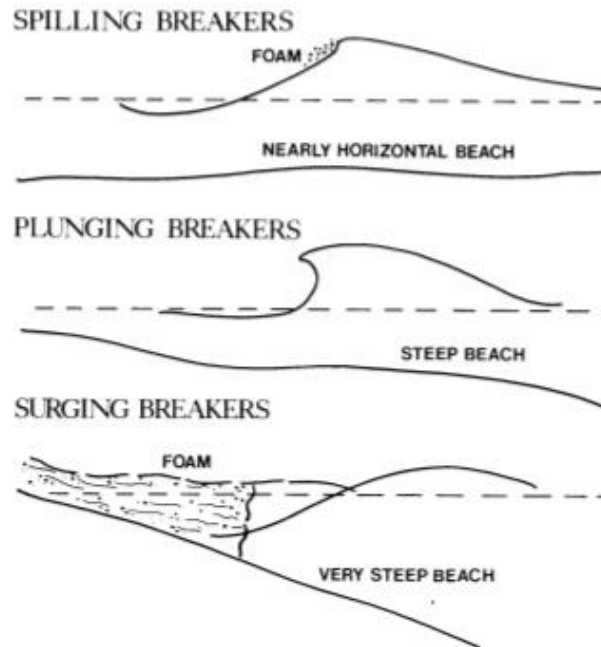
## SURF ZONE TERMINOLOGY

---



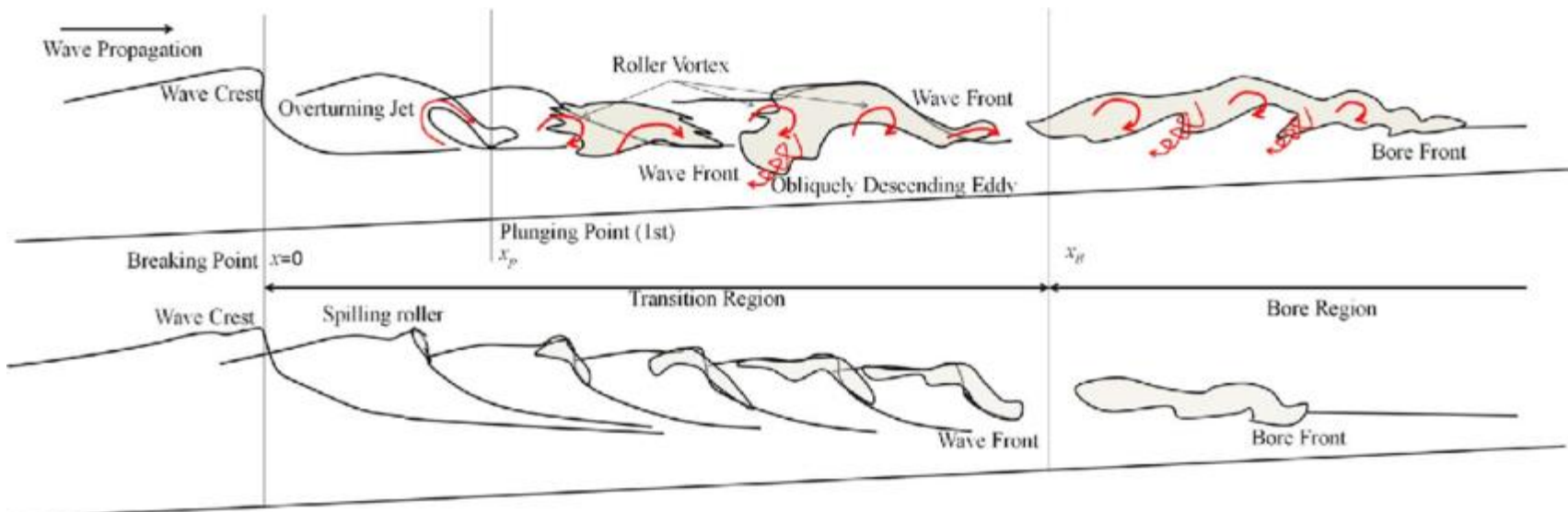
# Tipi di onde

## BREAKERS



# Frangenti (*breakers*)

- I frangenti possono essere sia costruttivi che distruttivi, a seconda del volume netto di materiale che si sposta verso terra o verso mare
- In generale, surging, collapsing e spilling creano molto *swash* (verso terra) e poco *backwash* (verso mare), portando sedimenti sulla spiaggia (azione costruttiva). Le onde plunging agiscono al contrario (azione distruttiva), rimuovendo materiale dalla spiaggia



# Frangenti

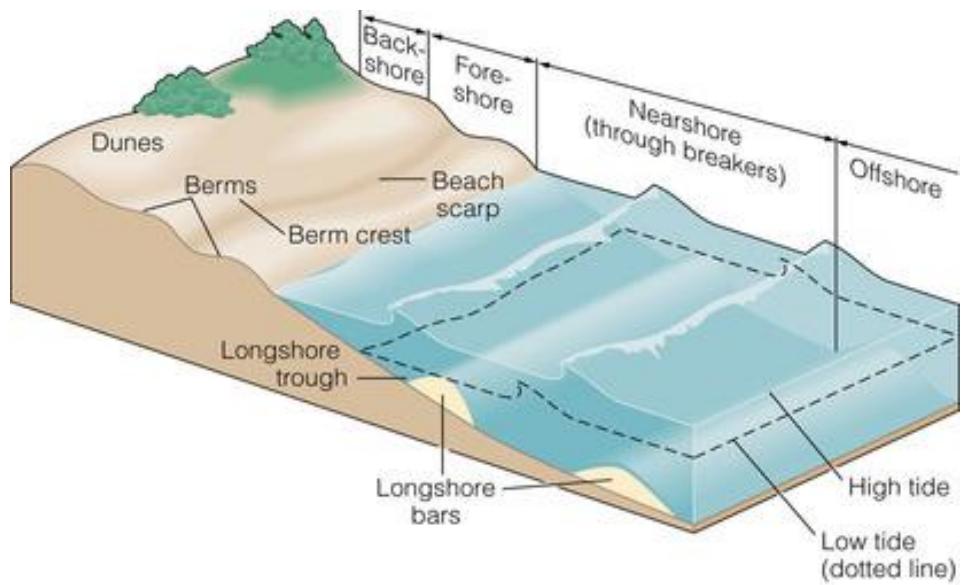


## Why waves break

PREVAILING WIND →

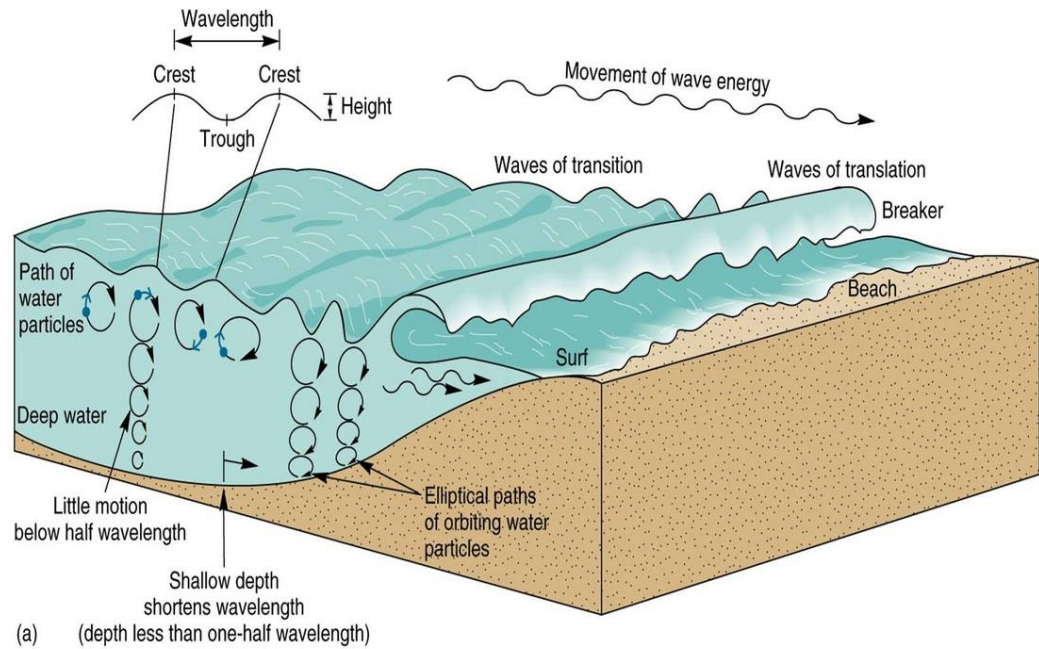
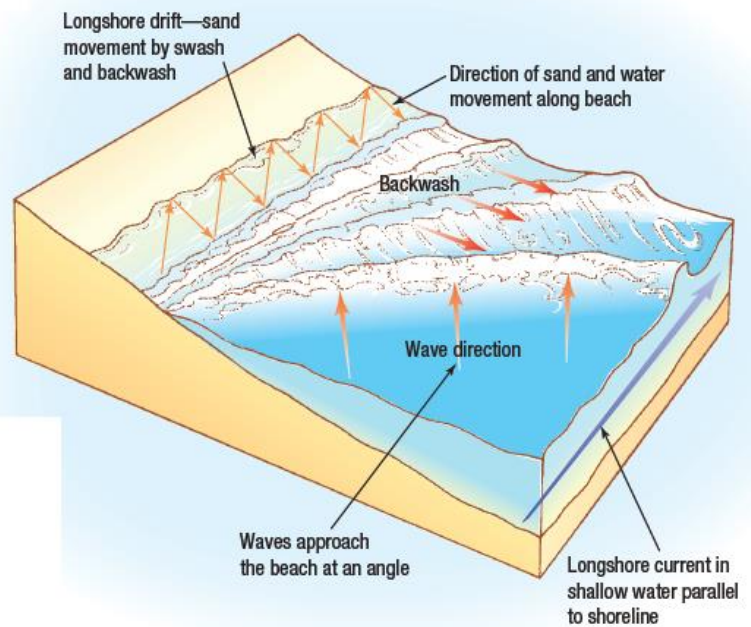






© 2005 Brooks/Cole - Thomson

7.15 Longshore drift moves sand along the beach in a zig-zag movement.

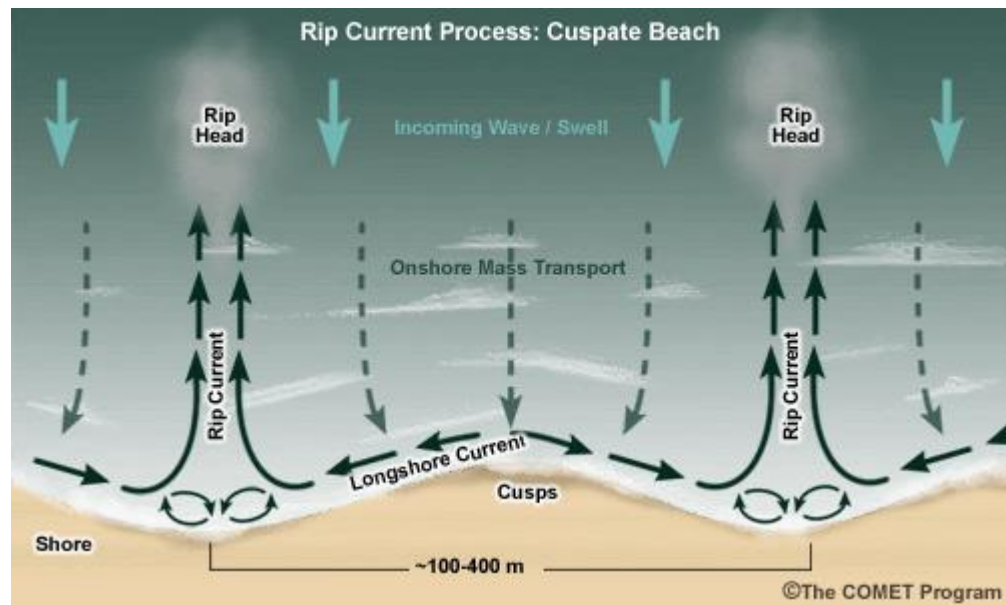


(a) (depth less than one-half wavelength)

# Correnti longitudinali (*longshore o littoral currents*)

- Le correnti sottocosta (*nearshore*) hanno un'origine diversa dalle correnti oceaniche, correnti di marea e correnti indotte dal vento
- Le correnti nearshore sono prodotte dalle onde e includono le correnti *longshore*, *rip* e *onshore*
- *Longshore (littoral)*: si formano quando l'onda arriva sulla costa obliquamente. Dominano la surf-zone e viaggiano parallele alla costa
- *Rip currents*: alimentate dalle correnti longshore, si formano a intervalli regolari e sono perpendicolari alla costa
- *Onshore currents*: lente, si formano tra le rip

# Tipi di onde



# Tsunami

- Gli tsunami sono prodotti principalmente da processi di fagliazione dei fondali, e secondariamente da eruzioni vulcaniche o frane sottomarine

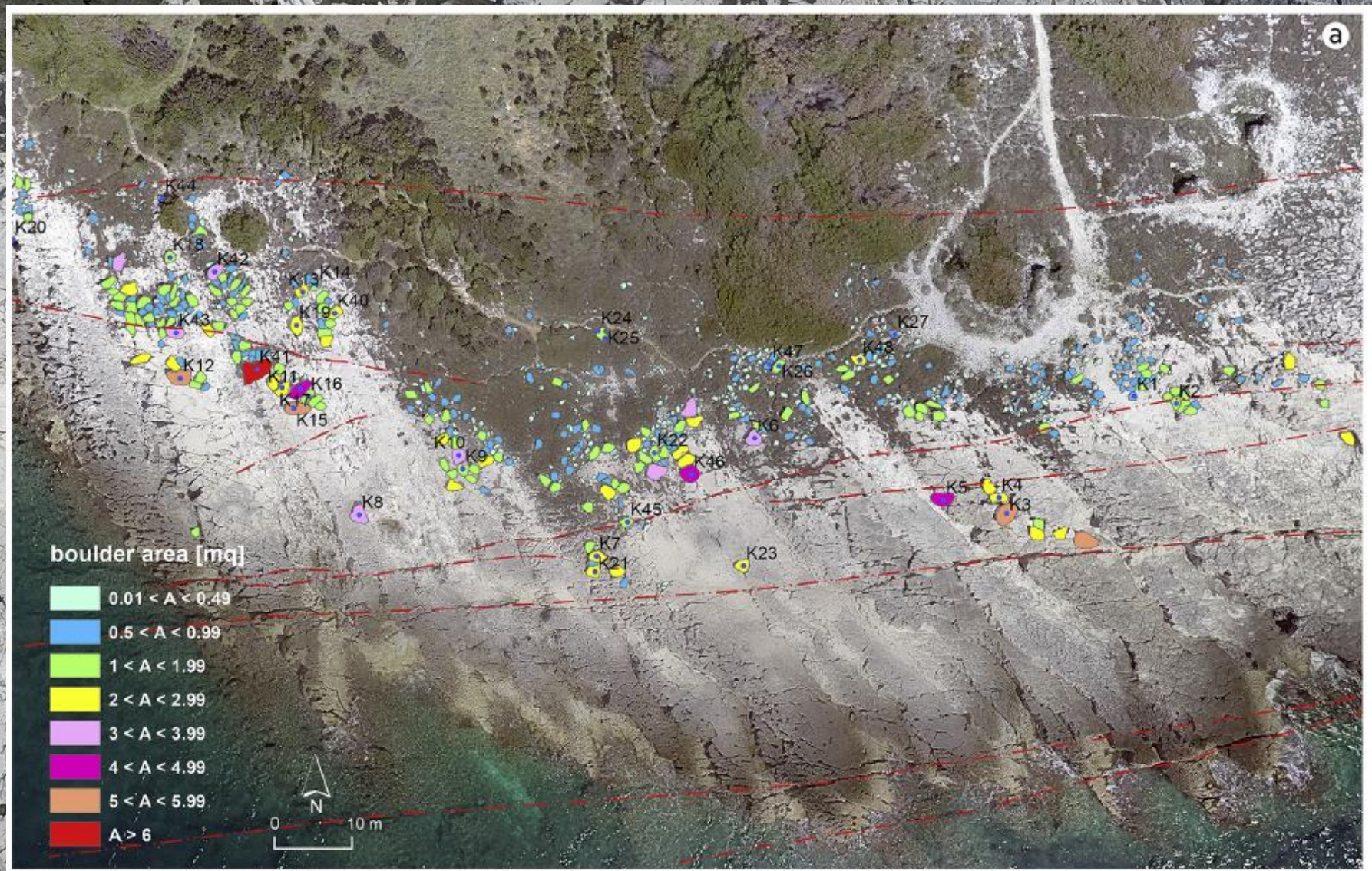
Lo spostamento verso l'alto dell'acqua causato dal movimento di una faglia produce onde che si muovono a velocità elevatissima, fino a 700 km/h, con lunghezze d'onda fino a 600 volte l'altezza.

L'onda di tsunami non è percettibile in alto mare, ma come si avvicina alla costa, rallenta (100 km/h) e si alza fino a qualche decina di metri

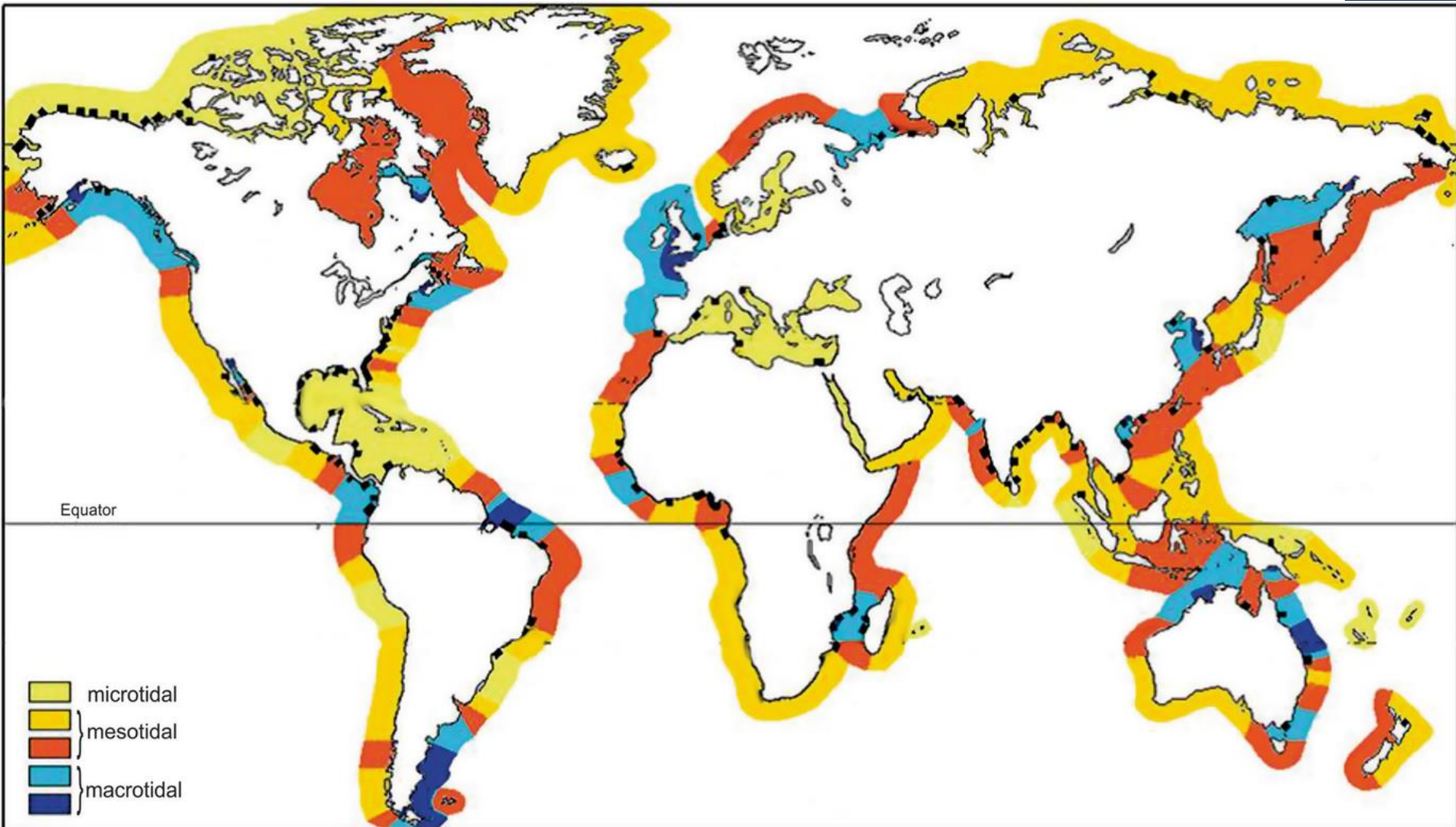


# Onda di tsunami





# Wave-dominated o tide-dominated



# Processi costieri



# Processi di erosione

# Degradazione costiera

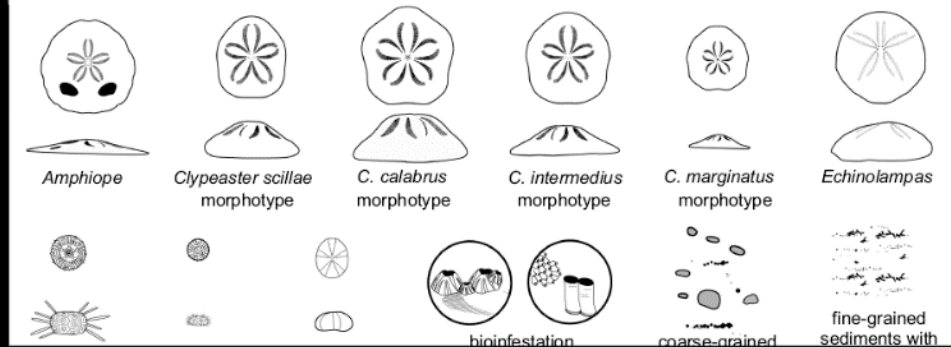
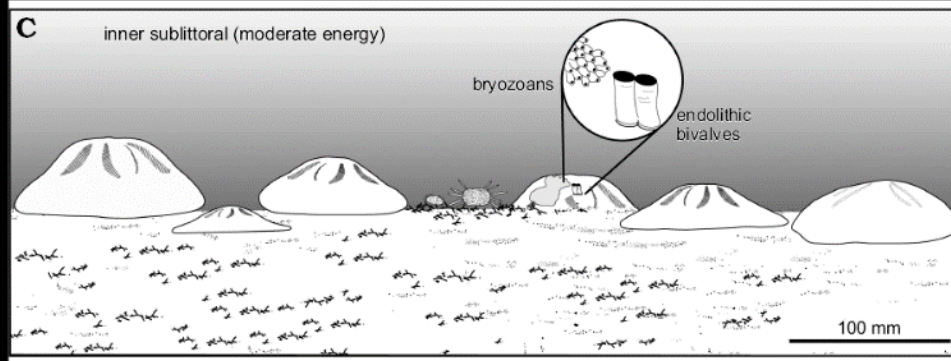
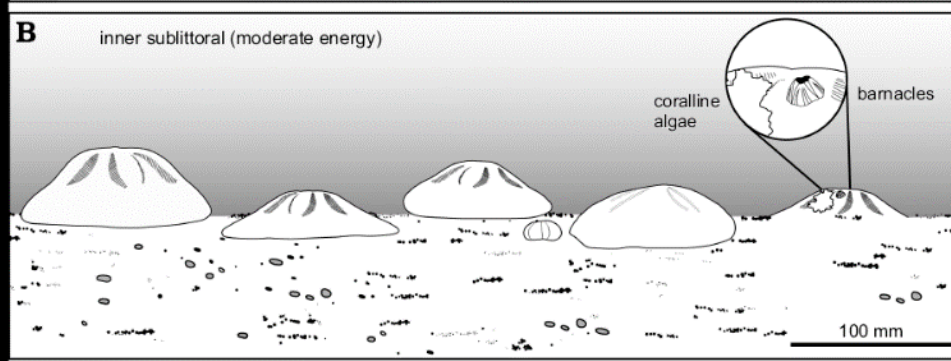
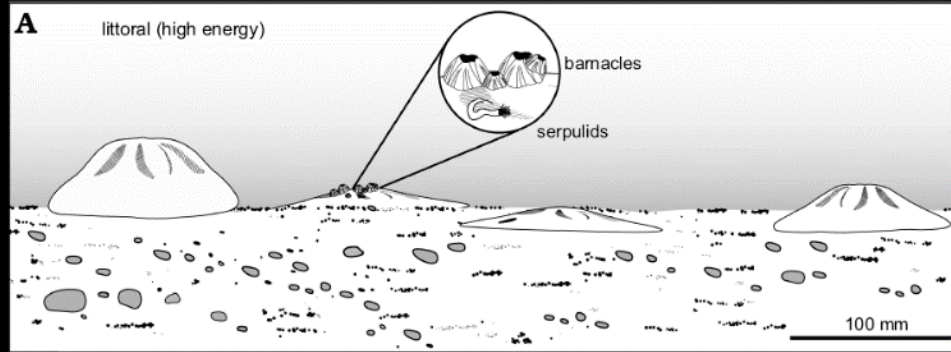
- Gli stessi processi di erosione agiscono sugli ambienti costieri come su quelli terrestri, ma l'azione dell'acqua di mare e la ripetuta bagnatura e asciugatura di rocce e sedimenti risultanti dalle maree sono fattori aggiuntivi con effetti molto significativi.
- Dissoluzione dei carbonati (di solito maggiormente nelle polle costiere)
- Alcolastismo (efficace dove la roccia è in grado di assorbire l'acqua di mare e lo spray)
- Il water-layer weathering è associato a cicli wet/dry
- L'erosione biologica, o bioerosione, è l'azione diretta degli organismi sulla roccia (alta zone tropicali, energia onde debole, organismi marini sulle rocce):

# Esempi



# Azione biologica

- Alghe, funghi, licheni e animali senza parti dure agiscono chimicamente attraverso secrezioni.
- Le alghe, e specialmente i cianobatteri, sono probabilmente i più importanti strumenti bioerosivi sulle coste rocciose.
- Molti altri animali secernono fluidi che indeboliscono la roccia prima di abradere con denti e altre parti dure.
- Gli animali da pascolo (grazing) includono gasteropodi, chitoni ed echinoidi
- Alcuni organismi marini erodono le rocce perforandole - alcuni molluschi, spugne noiose e ricci di mare



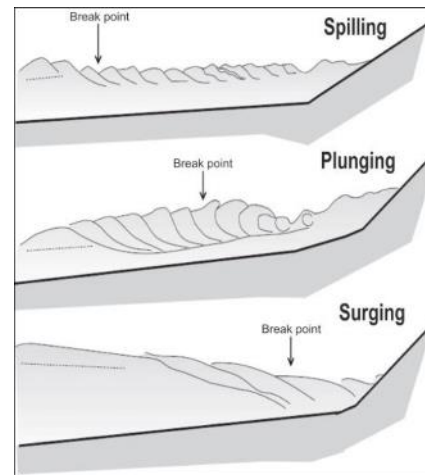
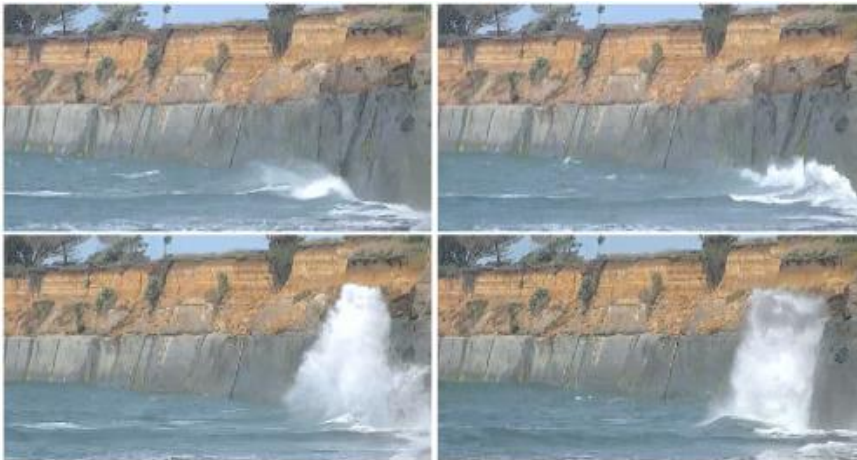
Mancosu e Nebelsick  
(2017), Acta  
Paleontologica  
Polonica

# Erosione delle onde

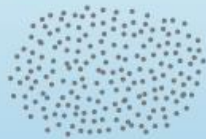
- I frangenti (*plunging breakers*) che si frangono producono le maggiori pressioni sulle rocce (fino a 600 kPa o più), perché l'aria può rimanere intrappolata e compressa tra il fronte dell'onda principale e la riva.
- La compressione dell'aria e l'impatto improvviso di una grande massa d'acqua rimuovono la roccia fratturata e altre particelle sciolte, un processo chiamato estrazione.
- Le rocce non consolidate o poco consolidate sono le più suscettibili all'erosione delle onde.
- Le onde che si infrangono raccolgono anche i detriti e li scagliano contro la riva, causando l'abrasione dei materiali del litorale.

# Erosione delle onde

- Il martellamento continuo della costa da parte delle onde è un processo di erosione enormemente potente.
- Gli effetti delle onde variano con la resistenza delle rocce attaccate e con l'energia delle onde.
  - Dove le scogliere si gettano direttamente in acque profonde (*plunging cliffs*), le onde non si rompono prima di colpire e causano poca erosione.
  - Dove le onde si infrangono su una linea di costa, l'acqua viene spostata sulla riva, e si verificano erosione e trasporto.



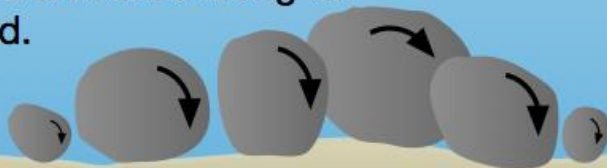
**Suspension** - fine material such as clay and sediment is carried by the sea.



**Solution** - dissolved minerals are carried by the sea.



**Traction** - large boulders and pebbles are rolled along the sea bed.



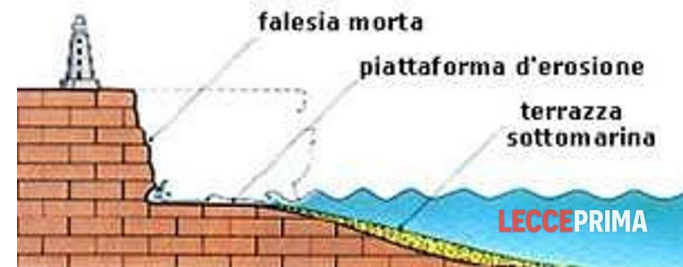
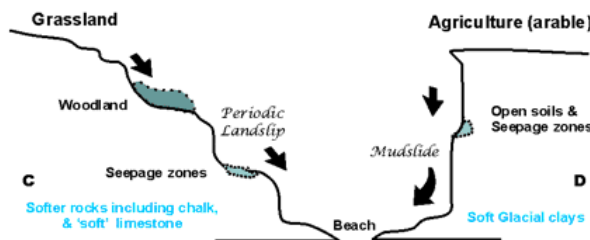
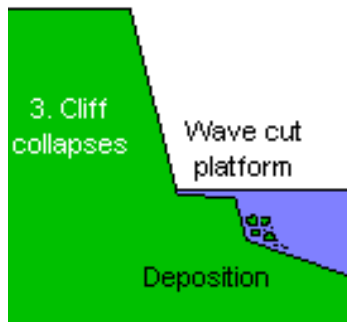
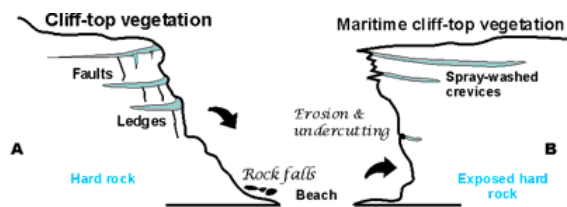
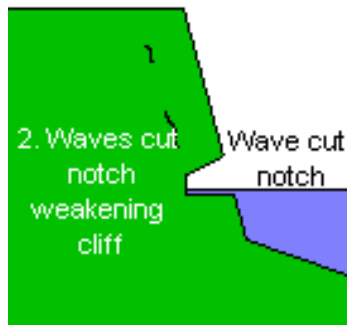
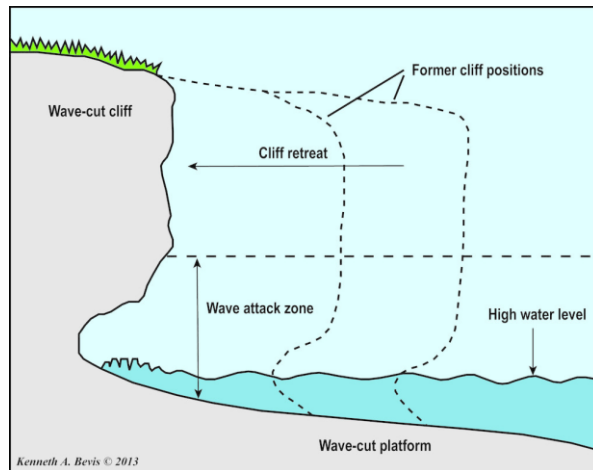
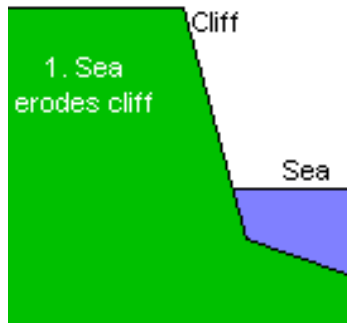
**Saltation** - small stones, pebble and silt bounces along the sea bed.



**Sea bed**



# Arretramento delle falesie e formazione delle piattaforme costiere



# Processi di aggradazione

# Trasporto di sedimenti e deposizione

- I sedimenti costieri provengono principalmente dall'erosione fluviale, poi da quella costiera, dalla zona offshore, o dalle stesse forme costiere.

**Fiumi 100 x rispetto all'erosione marina**

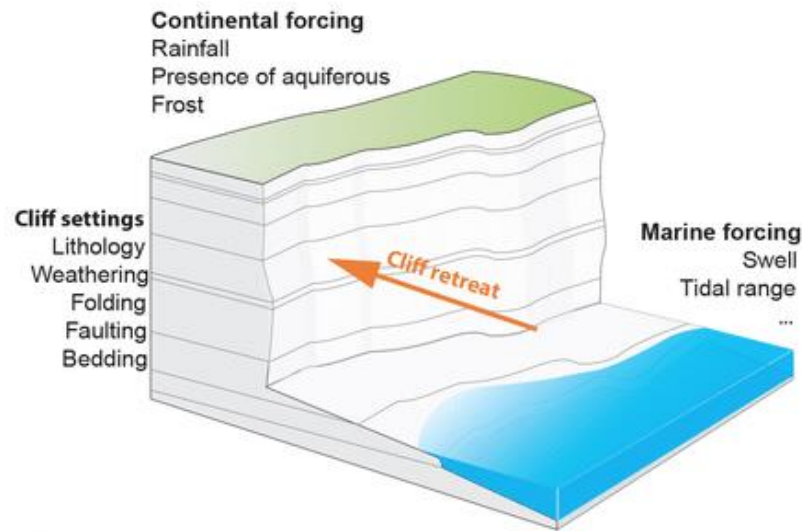
**+ tropici che alte latitudini**

- In ambienti ad alta energia, l'erosione delle scogliere può fornire abbondanti sedimenti, ma in ambienti a bassa energia, che sono comuni nei tropici e nel Mediterraneo, tale erosione è minima.

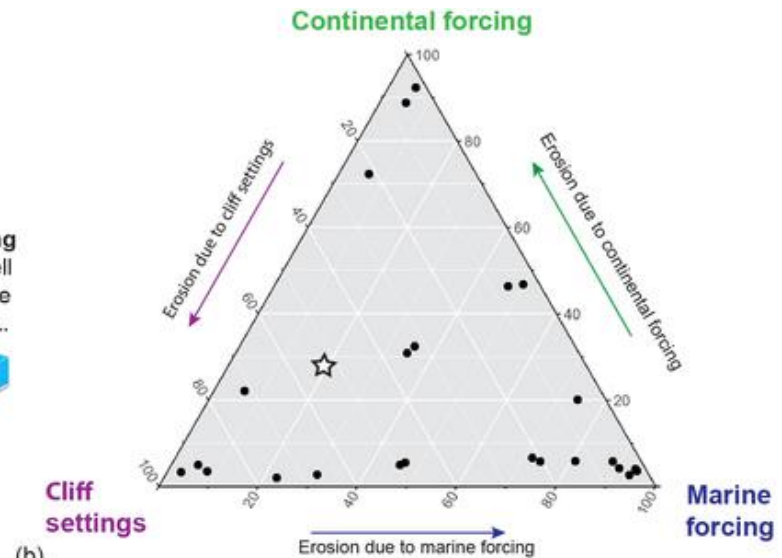


# Movimento dei sedimenti

- I sedimenti provenienti dalla terraferma arrivano attraverso il movimento di massa (frane), specialmente dove le scogliere sono incise alla base.
- In ambienti periglaciali, l'erosione termica dei sedimenti ghiacciati (permafrost) si combina con l'azione delle onde e danno luogo ad alti tassi di arretramento e grandi quantità di sedimenti.
- Il trasporto onshore di sedimenti può portare materiale di spiaggia precedentemente eroso o sedimenti fluviali dalla zona offshore alla zona litorale.

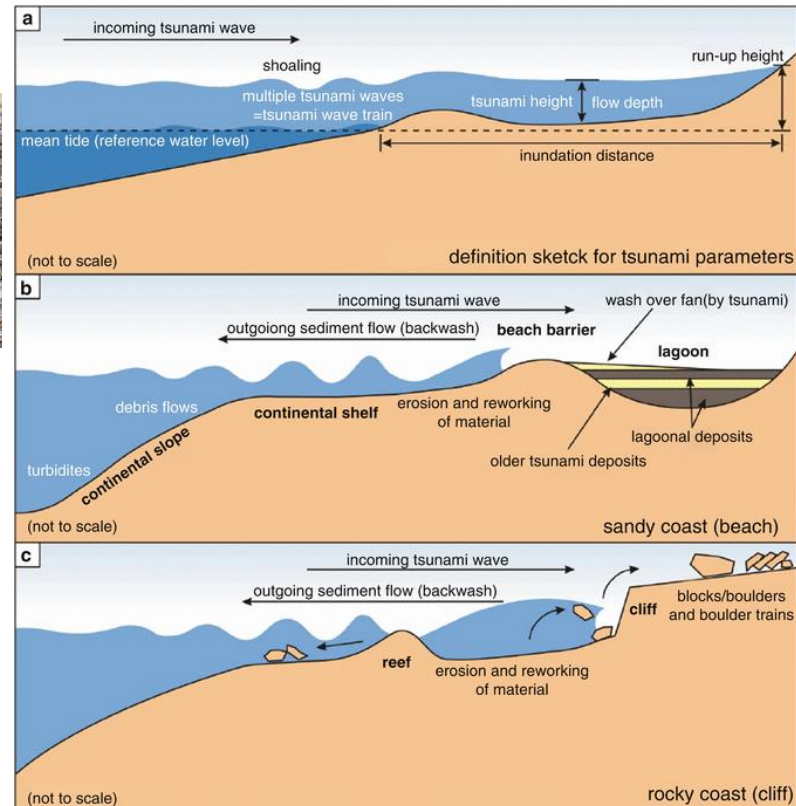


(a)



(b)

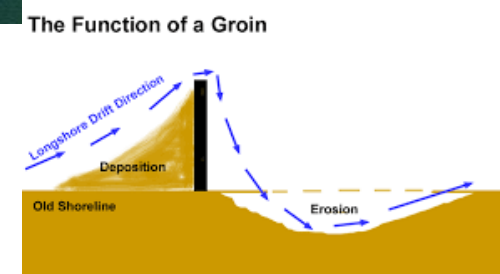
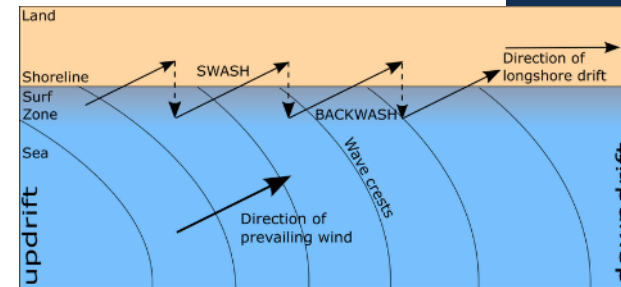
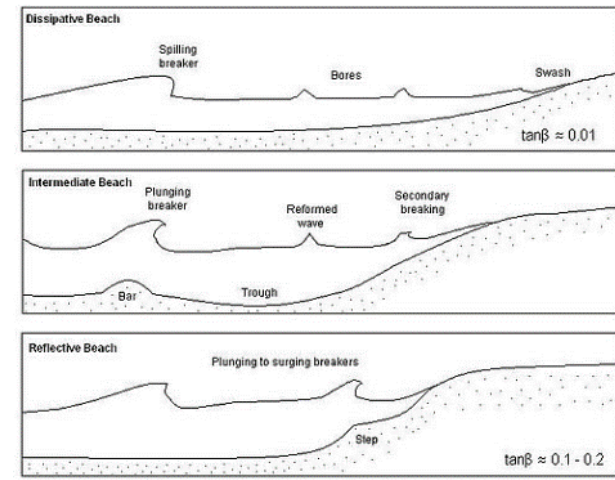
- Onde di tempesta molto forti, mareggiate e tsunami possono trasportare sedimenti da oltre la zona offshore.



Costa and Dawson (2015) Tsunami sedimentology

# Swash e backwash

- Le maree e l'azione delle onde tendono a spostare i sedimenti verso terra e viceversa.
- A causa degli effetti delle correnti di marea, il movimento principale dei sedimenti avviene lungo la costa. Questo movimento, chiamato **longshore drift**, dipende dall'energia delle onde e dall'angolo in cui le onde si avvicinano alla costa (max a 30°).
- Si verifica nella zona dei frangenti (breakers), o sulla spiaggia dove le onde sono poco profonde. Il drift si verifica quando le onde che si avvicinano a una spiaggia viaggiano obliquamente rispetto alla riva, ma la loro risacca si muove perpendicolarmente alla linea di costa (gravità). Di conseguenza, le particelle spostate seguono un percorso parabolico (a dente di sega) lungo la riva.
- Ovunque la deriva della spiaggia è impedita, si sviluppano forme di deposito costiero.



# Attività biologica

# Barriere coralline (*reef*)

- Alcuni organismi marini (es. coralli) costruiscono, o aiutano a costruire, particolari strutture costiere.
- Coralli e altri organismi che secernono carbonato di calcio costruiscono barriere coralline che possono essere spettacolari (es. La Grande Barriera Corallina in Australia) nelle zone tropicali;
- Le barriere coralline coprono circa 2 milioni di km<sup>2</sup> e rappresentano la più grande formazione biologica sulla Terra.
- Le alghe calcaree (es. vermetidi) producono incrostazioni di carbonato lungo molte coste tropicali.





# Attività biologica

- Le piante tolleranti al sale colonizzano le paludi salmastre.
- Le mangrovie sono una grande componente della vegetazione tropicale costiera. Con altre piante tolleranti al sale, aiutano a intrappolare i sedimenti nei loro sistemi di radici.
- Le piante stabilizzano le dune costiere.



# Forme costiere erosive

Le forme di erosione dominano le coste rocciose, ma si trovano anche in associazione con forme di terreno prevalentemente deposizionali.

# Tipi di coste rocciose

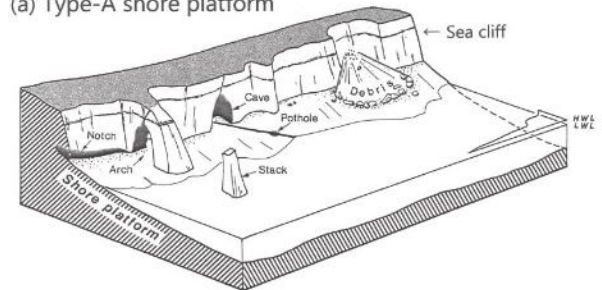
- Piattaforma costiera Tipo A
- Piattaforma costiera Tipo B
- Falesie a picco immergenti

Le coste rocciose si suddividono in due varietà di piattaforma costiera (*piattaforma costiera inclinata* e *piattaforma costiera orizzontale*) e scogliera a picco.

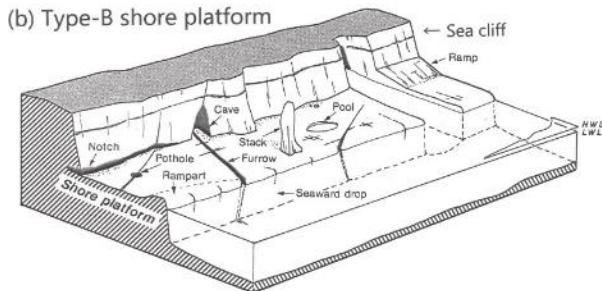
Le varianti di questi tipi di base riflettono:

- Litologia
- tettonica,
- Clima e condizioni meteorologiche
- Processi esogeni prevalenti
- le maree,
- esposizione
- Storia del livello relativo del mare

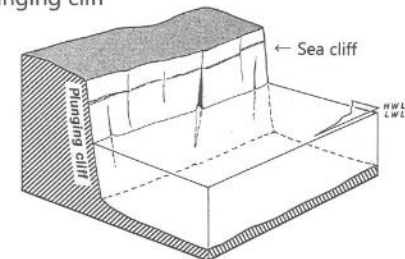
(a) Type-A shore platform



(b) Type-B shore platform

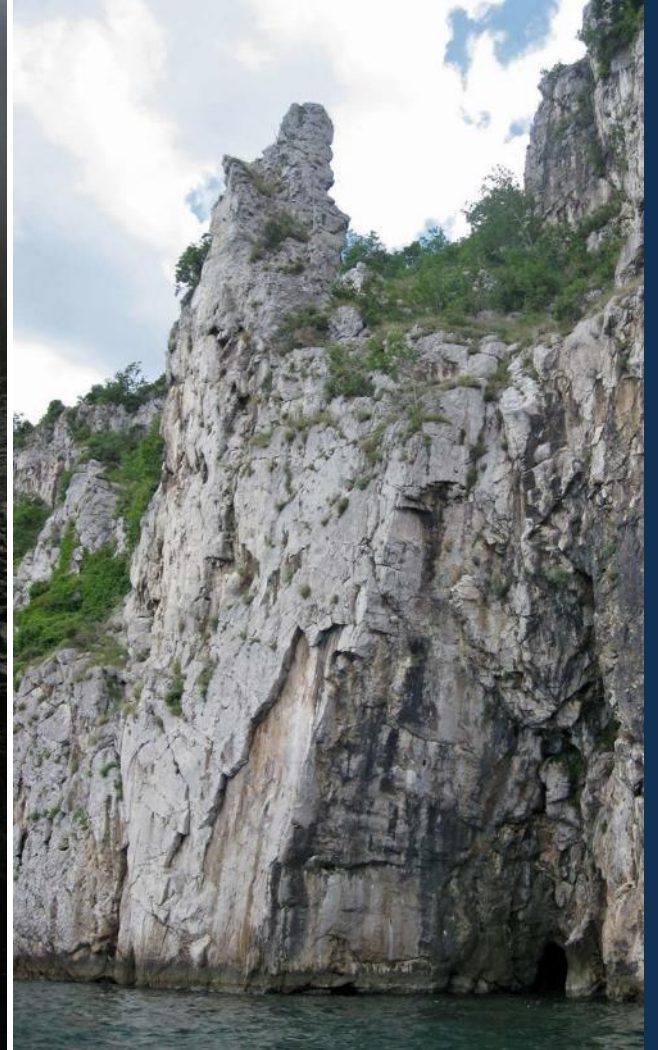


(c) Plunging cliff

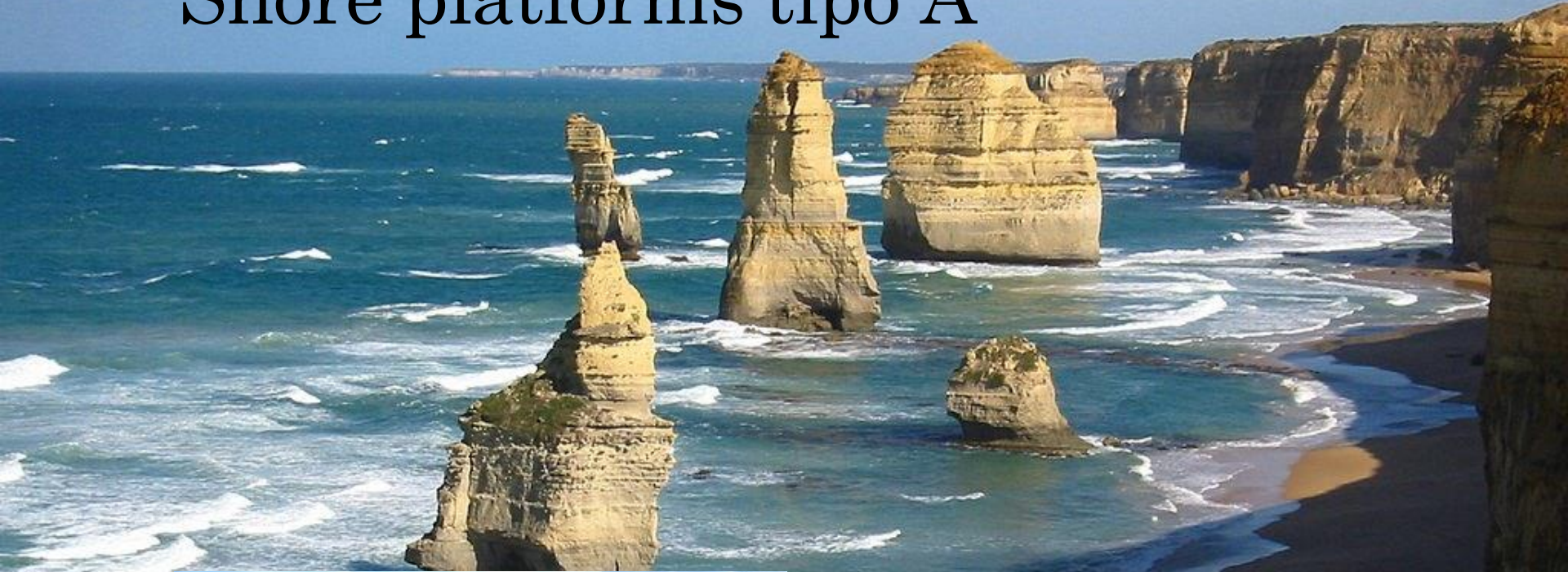


Sunamura (1992)

# Plunging cliffs



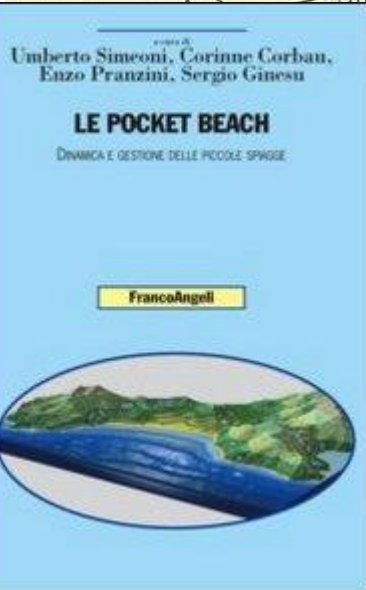
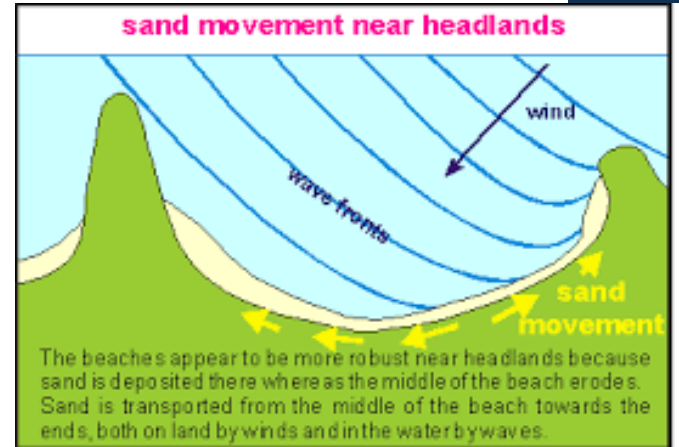
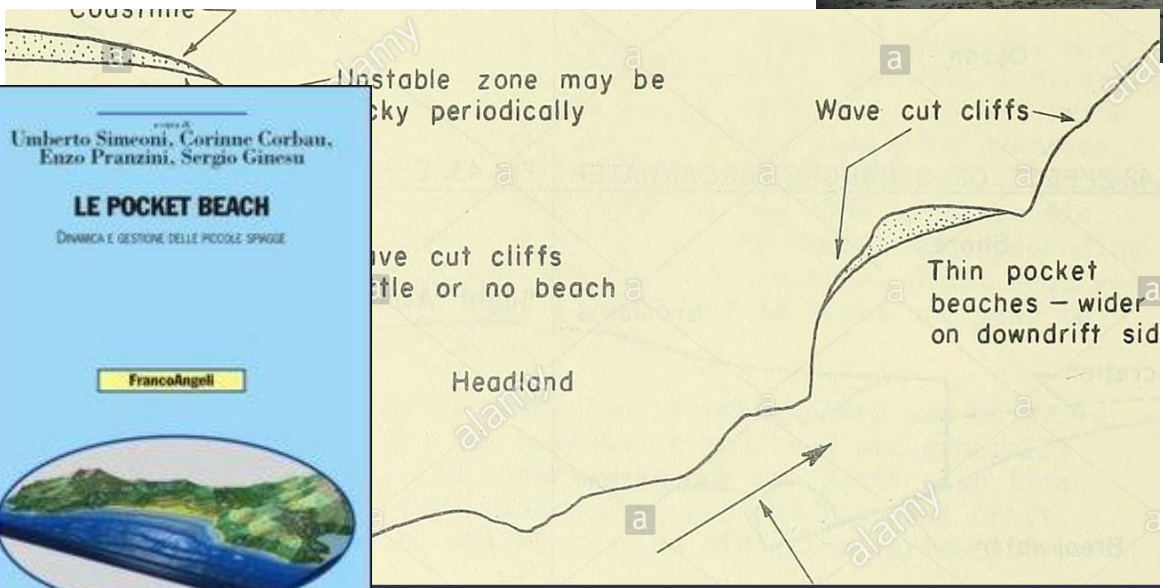
# Shore platforms tipo A



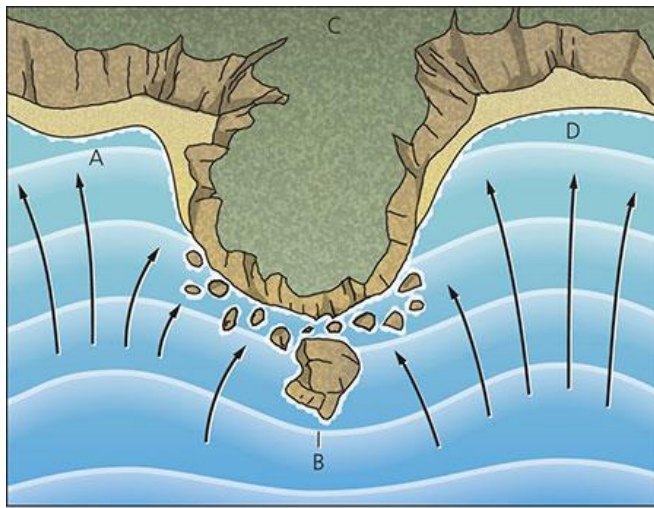
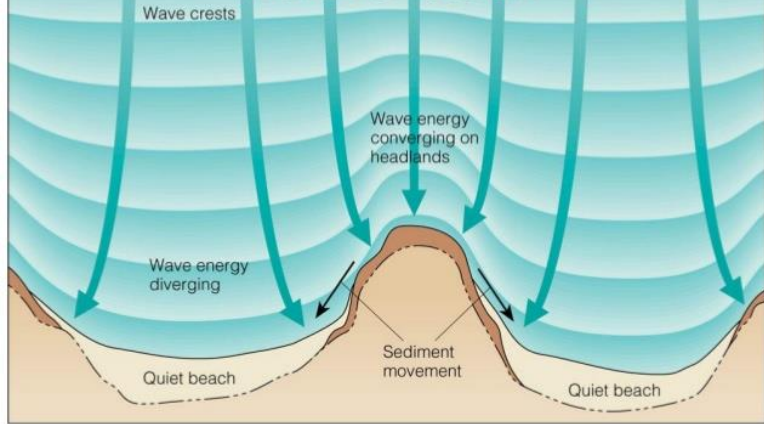
# Shore platforms tipo B



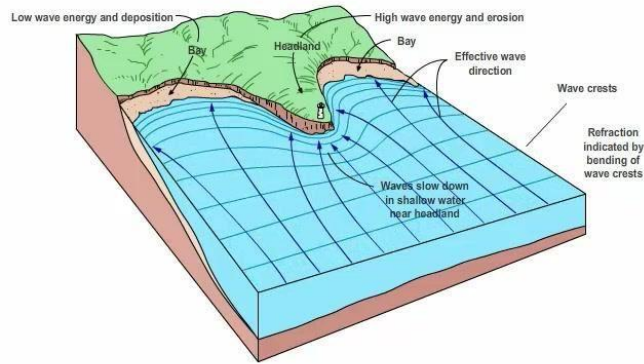
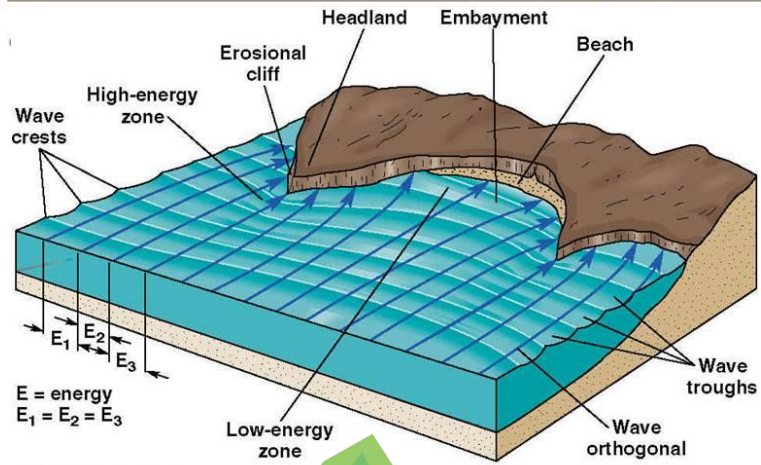
# Pocket beaches?



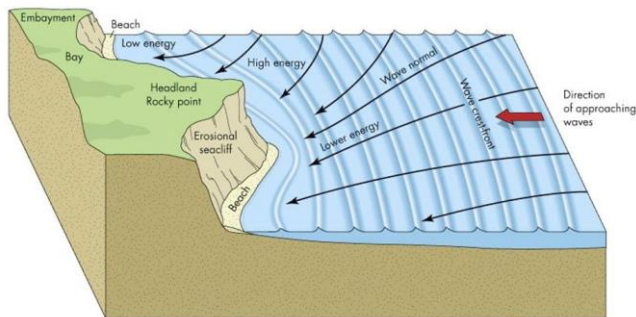
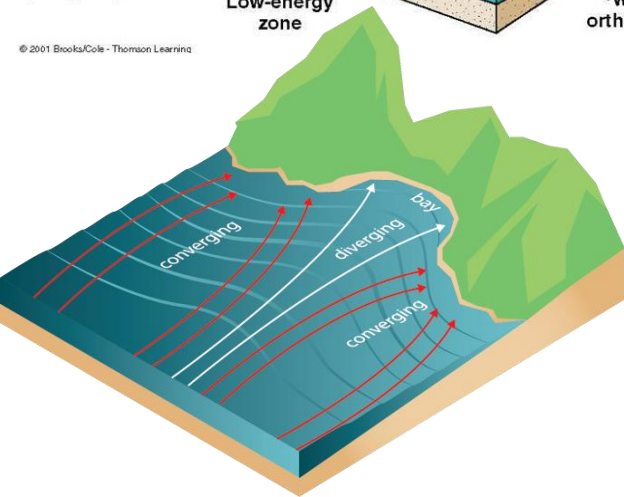
# Wave refraction



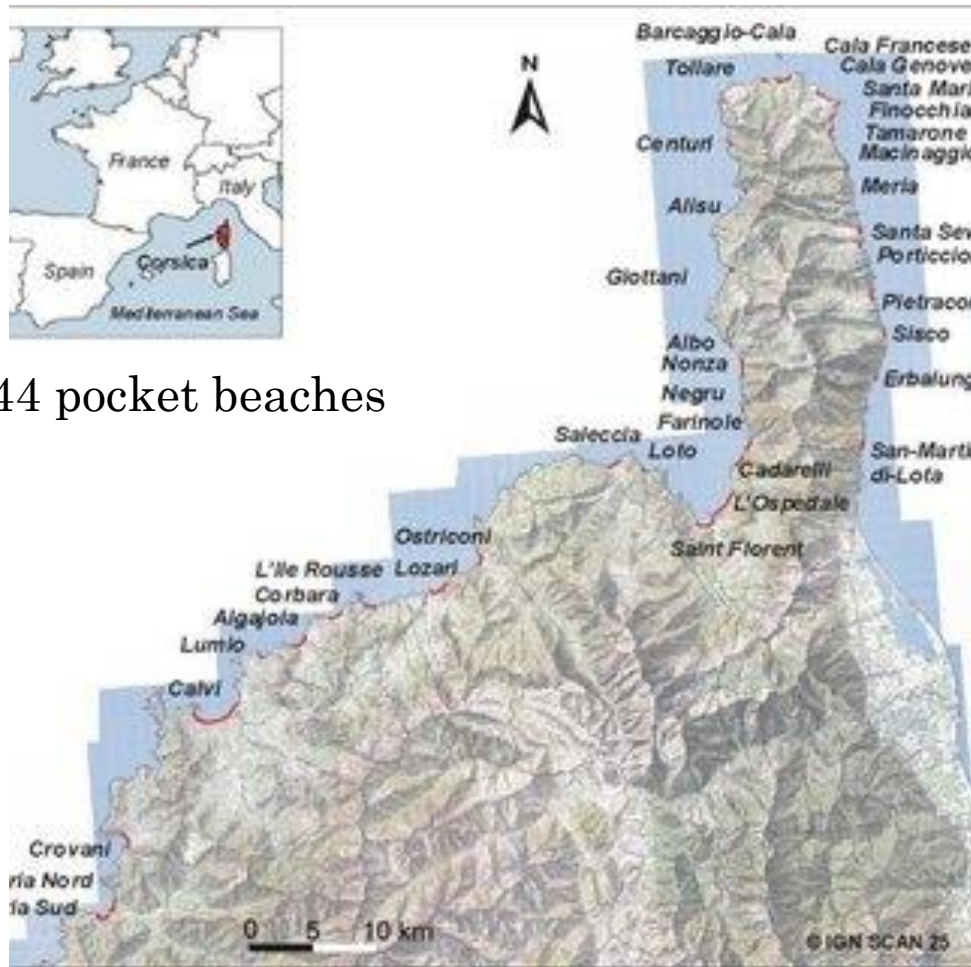
Wave Refraction



Idealized diagram of the process of wave refraction and concentration of wave energy at rocky points, or headlands. A sea stack is a relatively small island detached from the headland by wave erosion.







44 pocket beaches

Balouin & Belon (2014): JCR

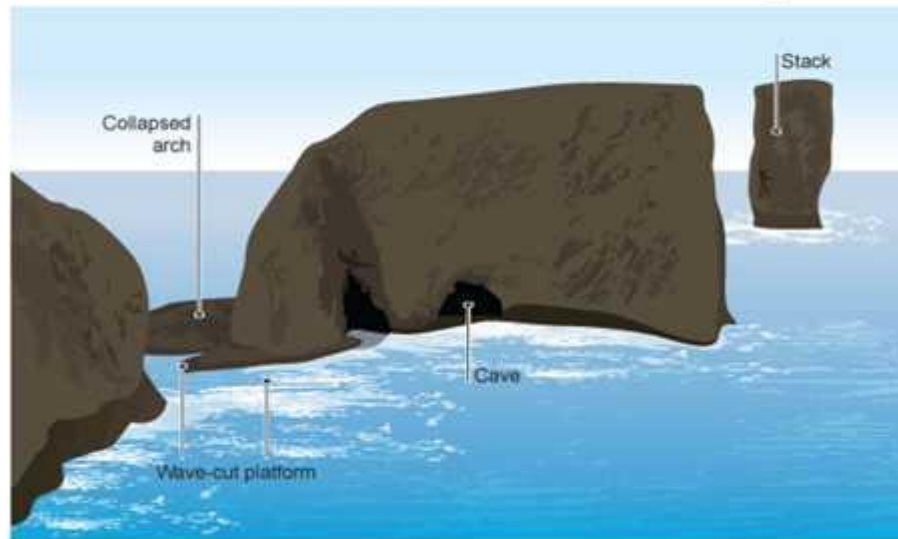
Pocket beaches are small beaches that are formed between headlands in coves on rocky shorelines.

They can be composed of a mix of boulders, pebbles, sand and mud and therefore have the attributes of a combination of shoreline types.

# Falesie, solchi, rampe, ramparts, marmitte

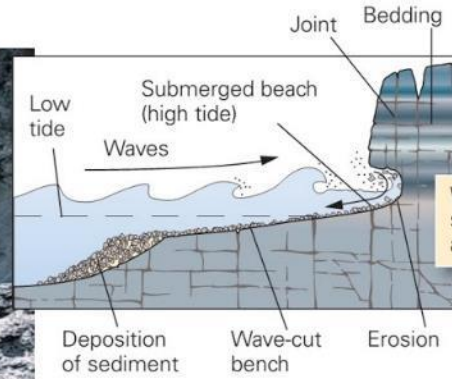
- Diverse forme costiere sono associate con le piattaforme costiere e i *plunging cliffs*, tra cui le falesie, i solchi marini, le rampe e bastioni, e molte forme erosive di piccola scala (solution pools, tafoni, pinnacles, ecc).
- Le piattaforme costiere, falesie, faraglioni, archi, grotte e molte altre forme di terreno spesso sono associate.

## Caves, arches, stacks and stumps





(a) A wave-cut notch.

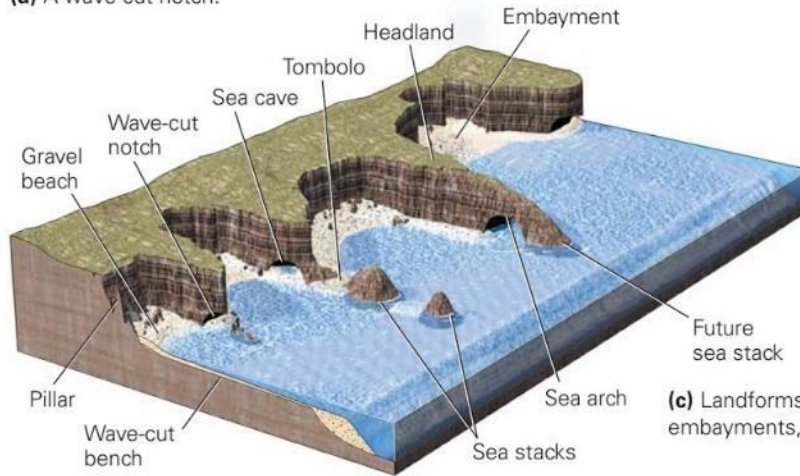


Wave erosion undercuts a sea cliff, producing a notch and a bench.



Wave-cut bench exposed at low tide.

(b) A wave-cut bench at the foot of the cliffs at Etretat, France.



(c) Landforms of a rocky shore. Beaches collect in embayments, whereas erosion concentrates at headlands.

(d) Coastal erosion along Australia's southern coast produced a sea arch (left). Eventually, the bridge will collapse, and only sea stacks will remain (right). These two are among several that together are known locally as the Twelve Apostles.



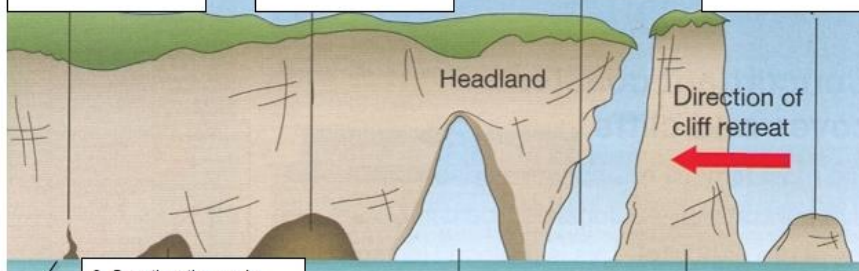
# Grotte, archi, faraglioni

1. Cracks at the base of the headland within the inter-tidal zone become exposed through hydraulic action, which pressurizes air, forcing the crack to widen

4. As a result of wave refraction, which distorts the wave direction, destructive waves concentrate their energy on the sides. This deepens the cave.

7. Over time the arch becomes unstable and collapses under its own weight to form a pillar of rock, called a stack. A good example is Old Harry along the Dorset coast.

9. Eventually the exposed stack will collapse to form a stump. The broken material is further eroded through attrition and transported away to be deposited within the bay



3. Over time the cracks widen and develop as wave-cut notches. Further processes of abrasion and hydraulic action will deepen the notch to form caves

5. Wave refraction effects all three sides of the headland. If two caves are aligned the waves may cut through to form an arch. Wave-cut notches widen the base of the arch.

8. The stack is further eroded at its base creating new wave-cut notches. Sub-aerial processes continue to weaken the stack from above

2. Cracks are further widened by weathering processes such as salt crystallization and wet and dry weathering that affects chalk.

6. Vertical joints are exposed by tall breakers associated with destructive waves. Joints can also be weathered from above such as through carbonation in limestone. Here blowholes may form.



- Fanno parte del cosiddetto *coastal scenery*
- Sono considerabili come relitti morfologici





# Grotte marine

- Le grotte marine possono essere raggruppate in due tipi principali (Antonioli e Forti 2003; Furlani et al. 2012):
  - grotte marine *sensu stricto*
  - grotte continentali allagate.



# Forme minori



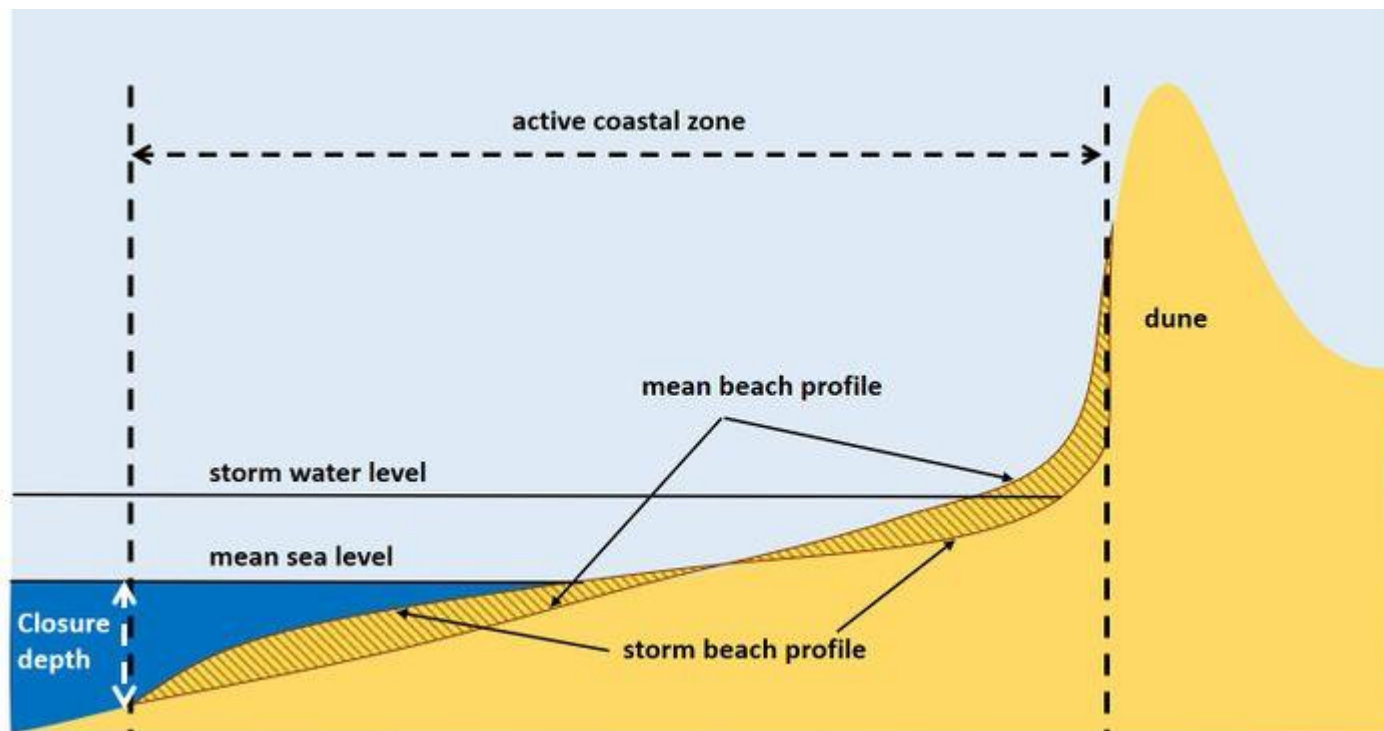
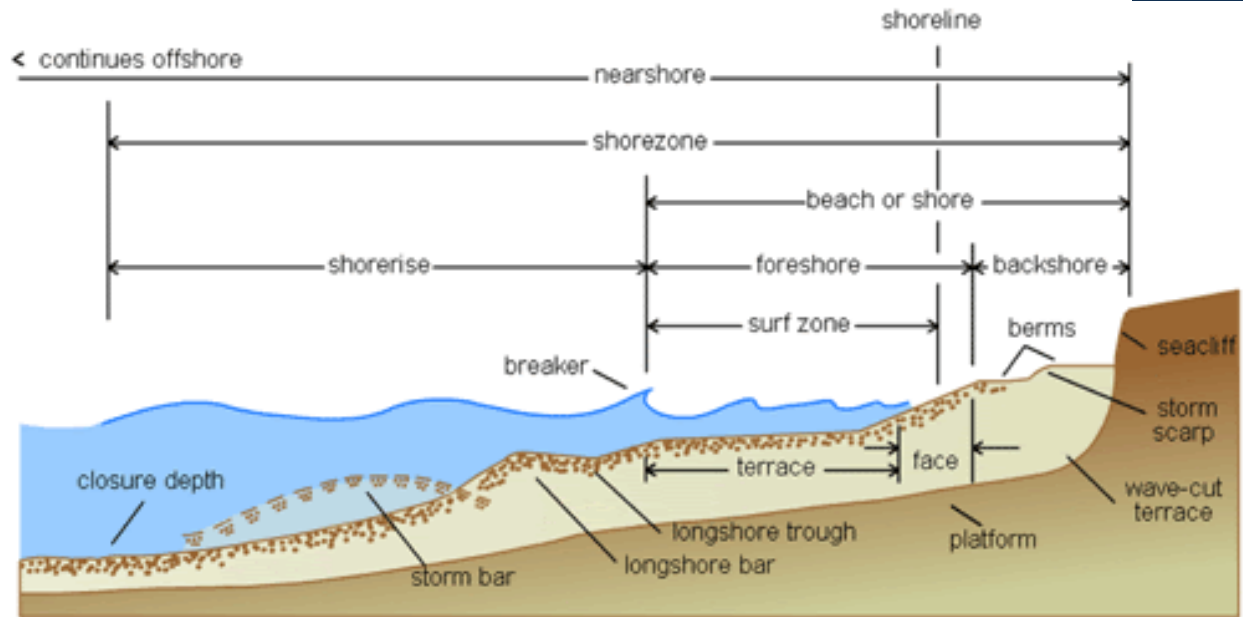
# Forme costiere deposizionali



# Spiagge

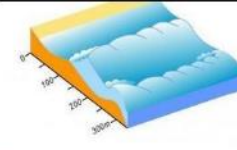
- Le spiagge sono i depositi più significativi di sedimenti lungo le coste.
- Si formano nella zona in cui le onde spostano i sedimenti costieri.
- Sono costituite da una gamma di particelle organiche e inorganiche, per lo più sabbie o ghiaia o ciottoli.
  
- In generale, le spiagge di ciottoli sono più comuni alle medie e alte latitudini, dove i ciottoli sono forniti da detriti glaciali e periglaciali grossolani.
- Le spiagge di sabbia sono prevalenti lungo le coste tropicali, probabilmente perché i fiumi trasportano prevalentemente sedimenti fini e l'erosione delle scogliere fornisce poco materiale ai depositi litorali.

# Profilo di spiaggia



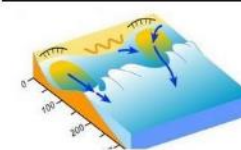
# Tipi di spiagge

- I tipi di spiaggia di base riflettono diversi gradi di dominanza delle onde e delle maree.
- Andrew Short (2006) e Short e Woodroffe (2009) hanno stabilito le seguenti categorie per le spiagge australiane, ma hanno un'applicabilità generale:



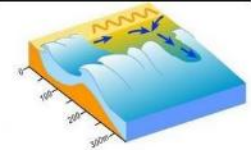
**Dissipative**

Dissipative beaches are characterised as being high energy beaches with a wide surf zone (300-500 m) including two to three shore normal bars and troughs, and a low-sloping and wide beach face consisting of fine sand.



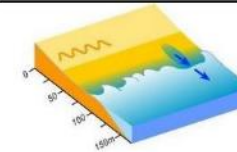
**Intermediate - Rhythmic bar and beach**

Rhythmic bar and beach are high energy beaches that consist of a rhythmic (undulating) bar, trough and beach.



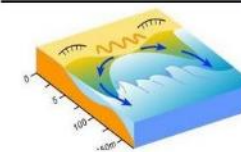
**Intermediate - Longshore bar and trough**

Longshore bar and trough beaches consist of a shore parallel bar separated from the beach by a deep trough.



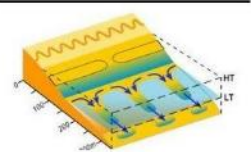
**Intermediate - Low tide terrace**

Low tide terrace beaches are composed of fine to medium sand and have a moderately steep beach face joined to an attached bar or shallow terrace that is often exposed at low tide.



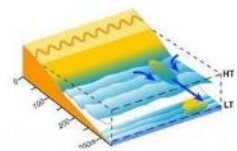
**Intermediate - Transverse bar and rip**

Bars transverse (perpendicular) to and attached to the beach separated by distinct rip troughs at 150-300 m spacing.



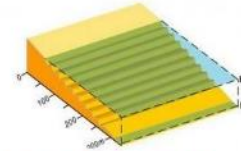
**Reflective + bars & rips**

Reflective + bars & rips beaches have a relatively straight, moderately steep, narrow, and coarser sand, cusped high-tide beach, fronted by a lower gradient, relatively featureless intertidal zone.



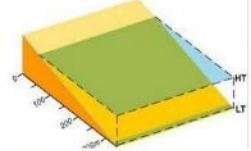
**Reflective + low tide terrace**

This is the lowest energy of the tide-modified beaches and also has the coarsest sand.



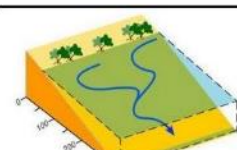
**Reflective + ridged sand flat**

Moderate to steep, narrow, high tide beach, with shore parallel, sinuous, low amplitude, evenly spaced sand ridges extending out across the inter- to sub-tidal sand flats.



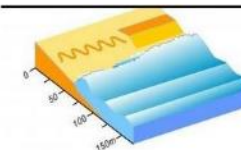
**Reflective + sand flats**

Reflective + sand flats beaches have a small steep (3-10°), very low-energy high-tide beach composed of coarse sand, fronted by flat featureless sand flats up to several hundred meters wide and composed of finer sand.



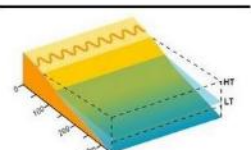
**Reflective + tidal mud flats**

A tide-dominated system, with a narrow reflective high-tide beach composed of coarse sediments, fronted by wide (100's to several 1000's of metres), low gradient (<1°) mud flats with tidal drainage channels.



**Reflective**

Reflective beaches have the lowest wave energy of the wave-dominated beaches (breakers 0-1 m high).



**Ultradissipative**

Ultradissipative beaches have a relatively straight, steep, cusped high tide beach, and a low gradient concave, featureless, wide (averages 400-500 m) intertidal zone.

# Wave-dominated beaches

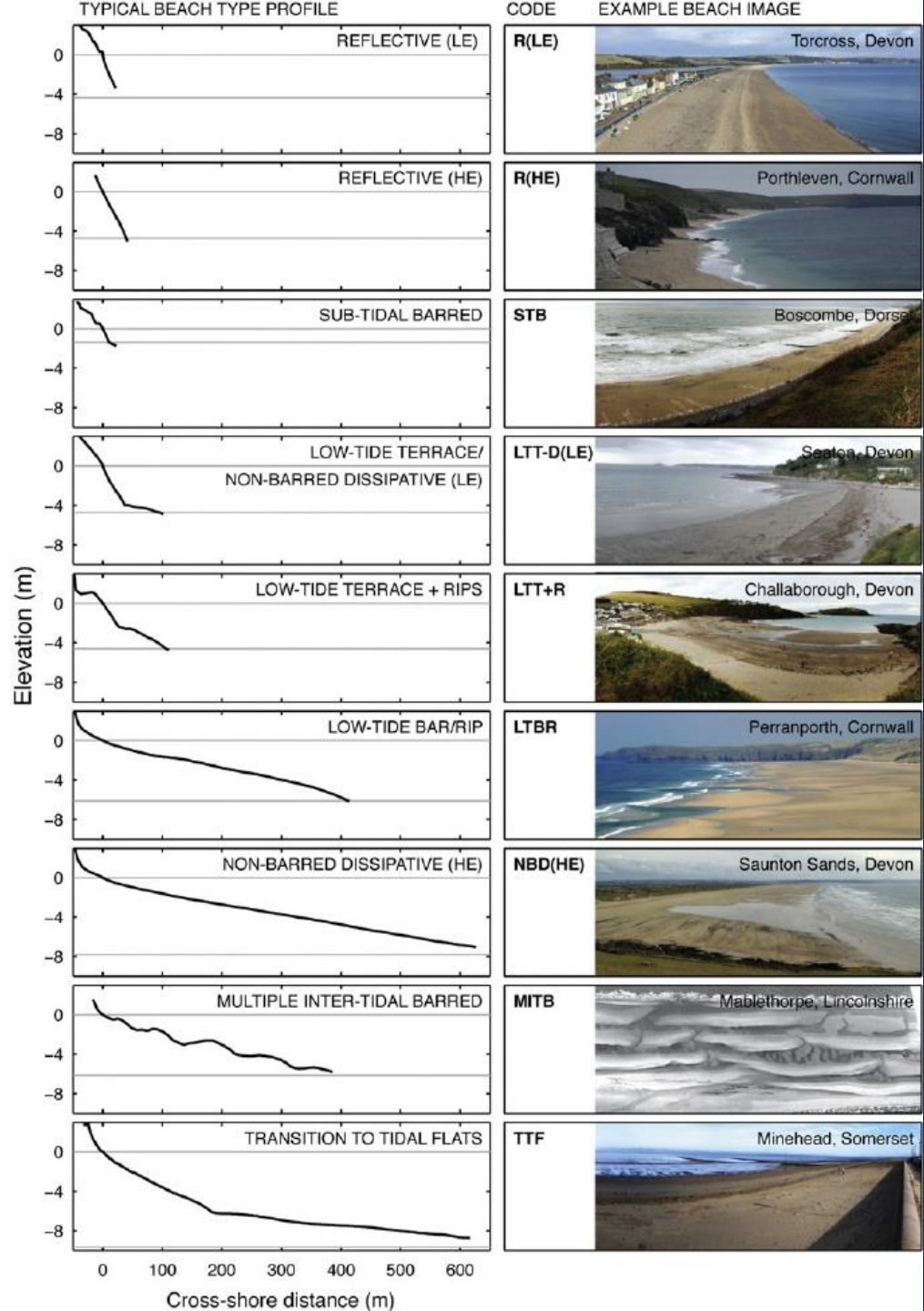
- **Wave-dominated beaches:** vanno da dissipative a reflective.
  - Le **dissipative beaches** si trovano di norma su coste ad alta energia dove le onde superano regolarmente i 2,5 m e il materiale dominante è la sabbia fine.
  - Le **reflective beaches** si trovano all'estremità più bassa dello spettro di energia delle spiagge dominate dalle onde; sono tipicamente relativamente ripide e strette e costruite con sabbia più grossolana (0,4 mm).

# Spiagge tide-modified

- **Tide-modified beaches:** si trovano principalmente dove i le maree molto ampie e le onde più basse fanno sì che la marea di sizigia sia da tre a dieci volte maggiore dell'altezza media dei frangenti.
  - Le **reflective beaches** e su terrazzi di bassa marea tendono a trovarsi dove le onde sono di breve periodo con un'altezza media di 0,45 m e un intervallo di marea medio fino a dieci volte l'altezza dell'onda (cioè, 4,5 m)
  - Le **reflective rip-beaches** di bassa marea sono le spiagge a più alta energia dei tipi **tide-modified** interessati da maree e forma dove le onde in media di 0,7 m, sabbia media e maree di 2,5 m.
  - Con l'alta marea, le onde oltrepassano la barra senza rompersi fino al fronte della spiaggia, dove di solito crea una spiaggia relativamente ripida con cuspidi.
  - Le **ultradissipative beaches** si trovano in zone ad alta energia (onde 0,6 m) modificate dalla marea, spiagge composte da sabbia fine. Possiedono una zona intertidale molto ampia (200-400 m), con un gradiente da basso a moderato, spiaggia di alta marea e una pendenza molto bassa a spiaggia di bassa marea quasi orizzontale.

# Tide-dominated beaches

- Le **tide-dominated beaches** sono dominate dalle maree e si trovano principalmente dove l'intervallo di marea di sizigia è da dieci a cinquanta volte maggiore rispetto all'onda media del frangente.
- Sono costituite da una spiaggia di alta marea fronteggiata sempre da piane di marea da intermedie a basse maree. Queste ultime, con minore energia, si trasformano in vere e proprie piane di marea (*tidal flats*).
- Tre tipi: reflective + ridge sand flats, spiaggia più piane di sabbia, e spiaggia più piane di fango.



Scott et al. (2011), Marine Geology

# Beachrock

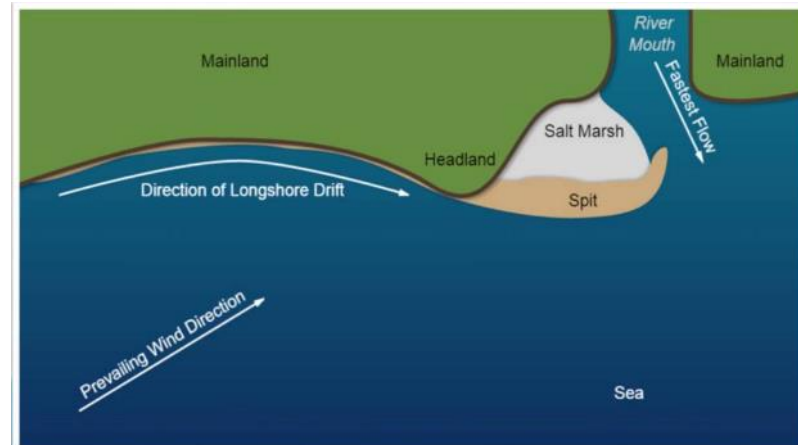
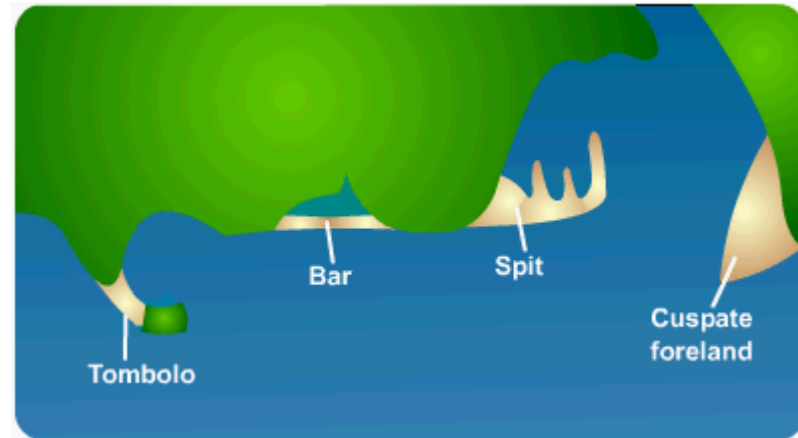
- In alcune condizioni, e in particolare ai tropici, i sedimenti della spiaggia possono, attraverso la precipitazione di carbonato di calcio, formare beachrock.





# Spit, isole barriera

- Le forme di accumulo si verificano dove è favorita la deposizione di sedimenti, in particolare viene interrotto il flusso longshore, dove la costa cambia bruscamente direzione, o in zone protette tra le isole e la terraferma.
- Le spiagge attaccate alla terra a un'estremità sono detti spit o foreland
- Gli spit sono più lunghi che larghi, mentre i foreland sono più larghi che lunghi.
- Le spiagge che sono attaccate alla terra a due estremità sono barriere ad anello e barriere cuspidate, tomboli e spiagge barriera. Le spiagge staccate dalla terraferma sono isole barriera.



**Table 13.2** Beach types

Form	Name	Comment
<b>Beaches attached to land at one end</b>		
Length greater than width	Barrier spit	A continuation of the original coast or running parallel to the coast <sup>a</sup>
	Comet-tail spit	Stretch from the leeward side of an island
	Arrow	Stretch from the coast at high angles <sup>b</sup>
Length less than width	Foreland (cusped spit)	–
<b>Beaches attached to land at two ends</b>		
Looped forms stretching out from the coast	Looped barriers	Stretch from the leeward side of an island
	Cusped barriers	
	Looped spit	A spit curving back onto the land
Connecting islands with islands or islands with the mainland (tombolos)	Double-fringing spit	Two joined spits or tombolos
	Tombolo	Single form
	Y-tombolo	Single beach looped at one end
	Double tombolo	Two beaches
	Baymouth barrier	At the mouth (front) of a bay
Closing off a bay or estuary (barrier beaches)	Midbay barrier	Between the head and mouth of a bay
	Bayhead barrier	At the head (back) of a bay
	<b>Forms detached from the land</b>	
A discrete, elongated segment	Barrier island	No connection with the land. Runs parallel to the coast. Often recurved at both ends and backed by a lagoon or swamp

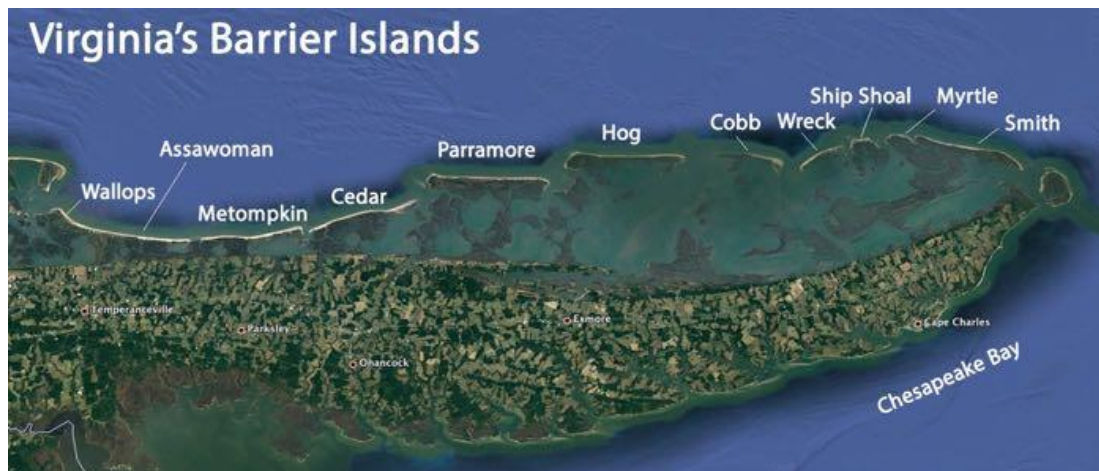
Notes:

a A winged headland is a special case. It involves an eroding headland providing sediment to barrier spits that extend from each side of the headland

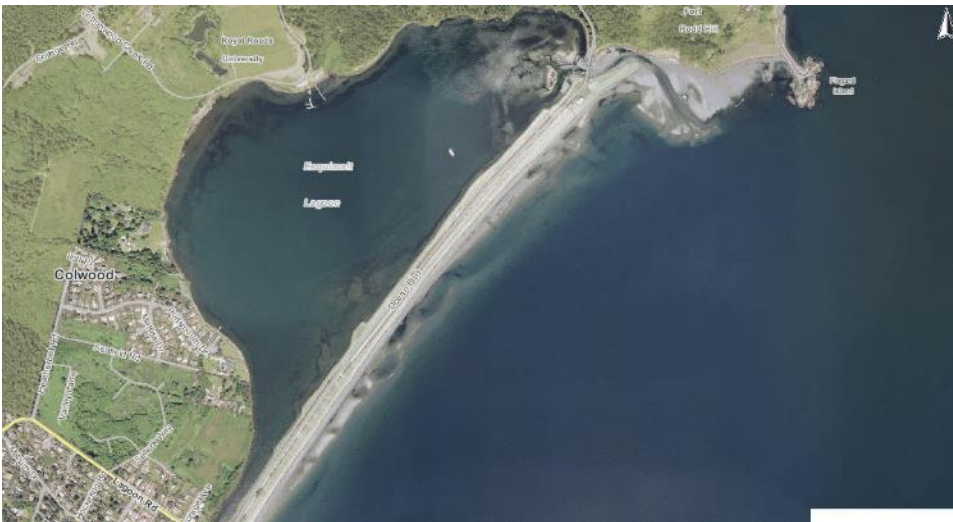
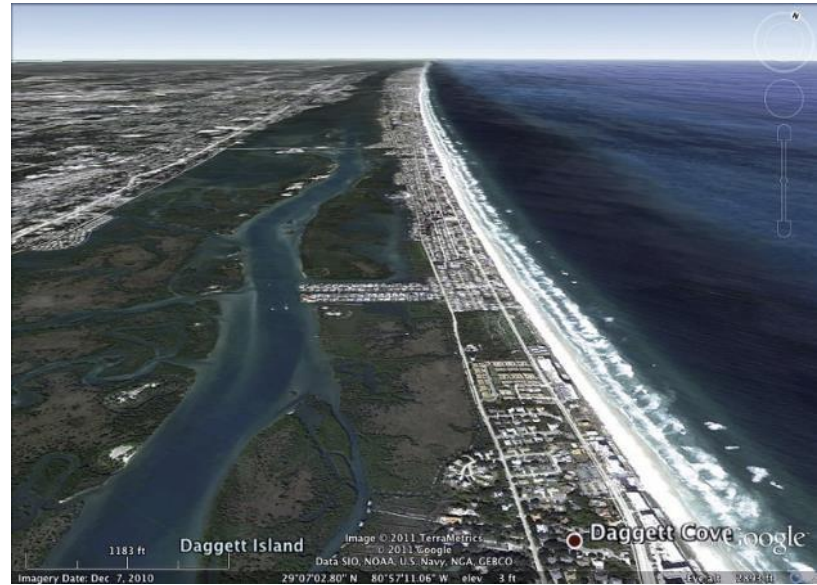
b A flying spit is a former tombolo connected to an island that has now disappeared

# Spiagge e barriere

- Le barriere costiere (*coastal barriers*) e le isole barriera (*barrier islands*) si formano su materiale di spiaggia depositato al largo, o attraverso le bocche di insenature e baie.
- Si estendono sopra il livello delle più alte maree, in parte o per intero, e racchiudono lagune o paludi.
- Differiscono dalle barre (*bars*), che sono sommerse durante almeno una parte del ciclo di marea.



# Alcuni esempi



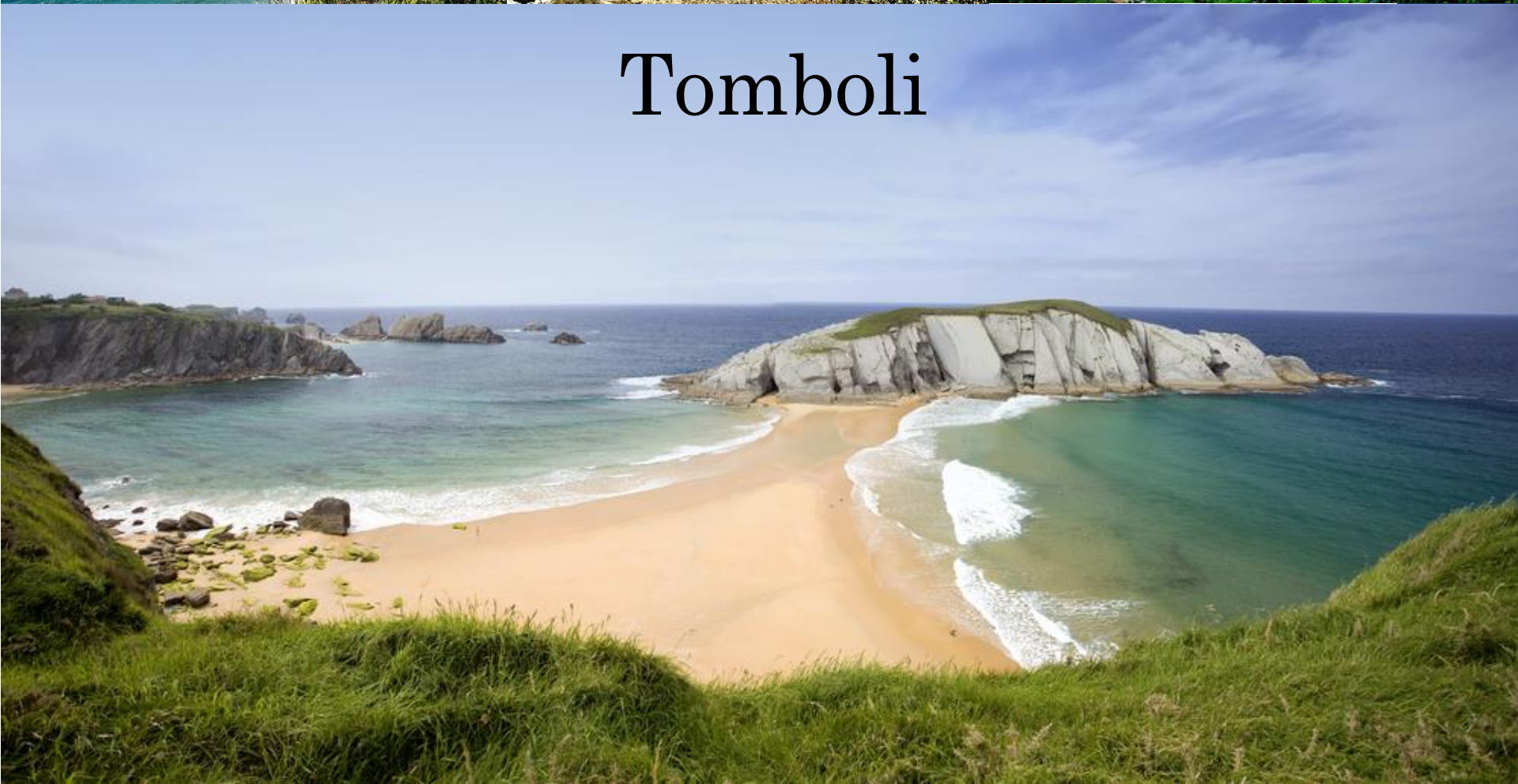
# Tomboli

- I tomboli sono depositi di clasti costruiti dalle onde che collegano le isole alla terraferma o isole con isole. Possono essere singoli o doppi
- Ad esempio, l'Argentario è collegato alla terraferma da due tomboli, la Feniglia e Giannella)
- I tomboli si sviluppano sottovento alle isole, dove c'è una protezione rispetto all'azione delle onde e dove le onde vengono rifratte e convergono.
- Un tombolino, o tie-bar, è un tombolo che è parzialmente o completamente sommerso dal mare con l'alta marea.



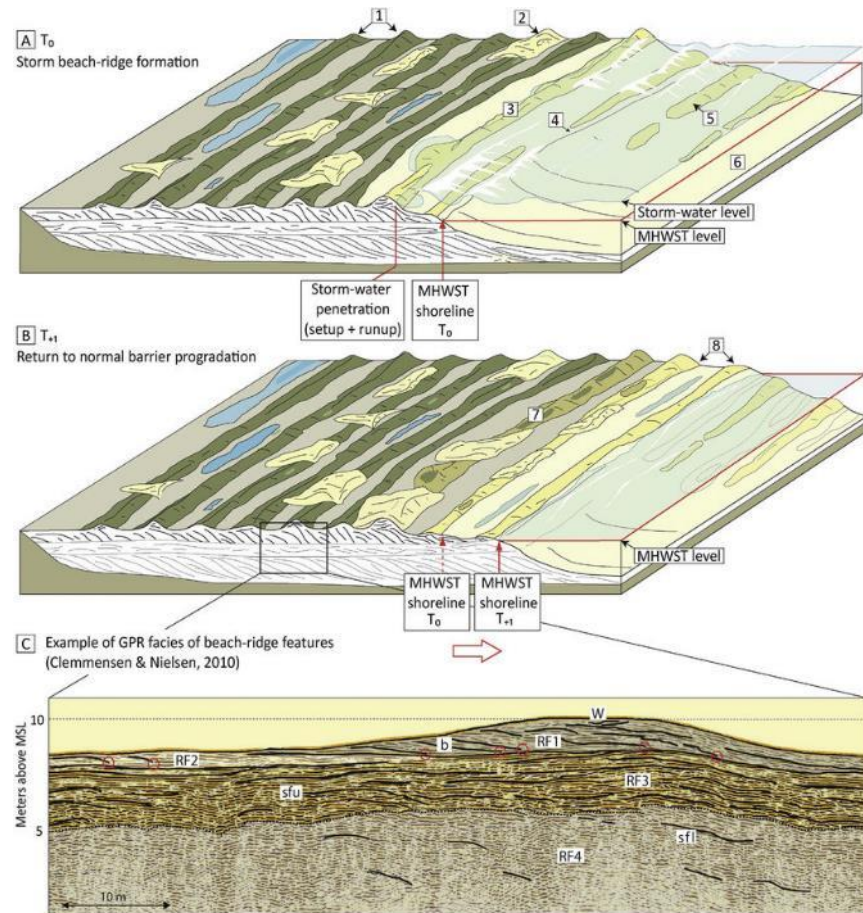


# Tomboli



# Cordoni di spiaggia e cheniers

- Le dorsali di spiaggia sabbiosa segnano la posizione dei precedenti litorali, formandosi dove la sabbia o la ghiaia sono state impilate dall'azione delle onde lungo una costa in progressione. Possono essere larghe decine di metri, alte alcuni metri e lunghe diversi chilometri. Le pianure delle dorsali di spiaggia possono consistere di 200 dorsali individuali e di paludi intermedie.
- I cheniers sono creste basse e lunghe di sabbia e ghiaia circondate da piane fangose o paludi basse.



# Dune

- Le dune costiere sono accumuli di sedimenti portati dal vento nella zona retrostante la spiaggia.
- Con poche eccezioni, sono fatte di sedimenti eolici portati via da una spiaggia per accumularsi in aree riparate dall'azione delle onde e delle correnti.
- Piccoli campi di dune crescenti si formano spesso sul retro di baie racchiuse da promontori rocciosi, mentre campi di dune più grandi e progressivi si formano su coste dritte e sabbiose esposte ai venti prevalenti e dominanti da terra.
- Proteggono la retroterra dalle onde e dalle maree estreme e sono depositi di sedimenti che possono finire sulle spiagge durante e dopo le tempeste.
- Le dune costiere sono simili alle dune del deserto, ma la duna anteriore (foredune), dietro la spiaggia, è una forma derivante dall'interazione di processi costieri, vento, sedimenti e vegetazione.

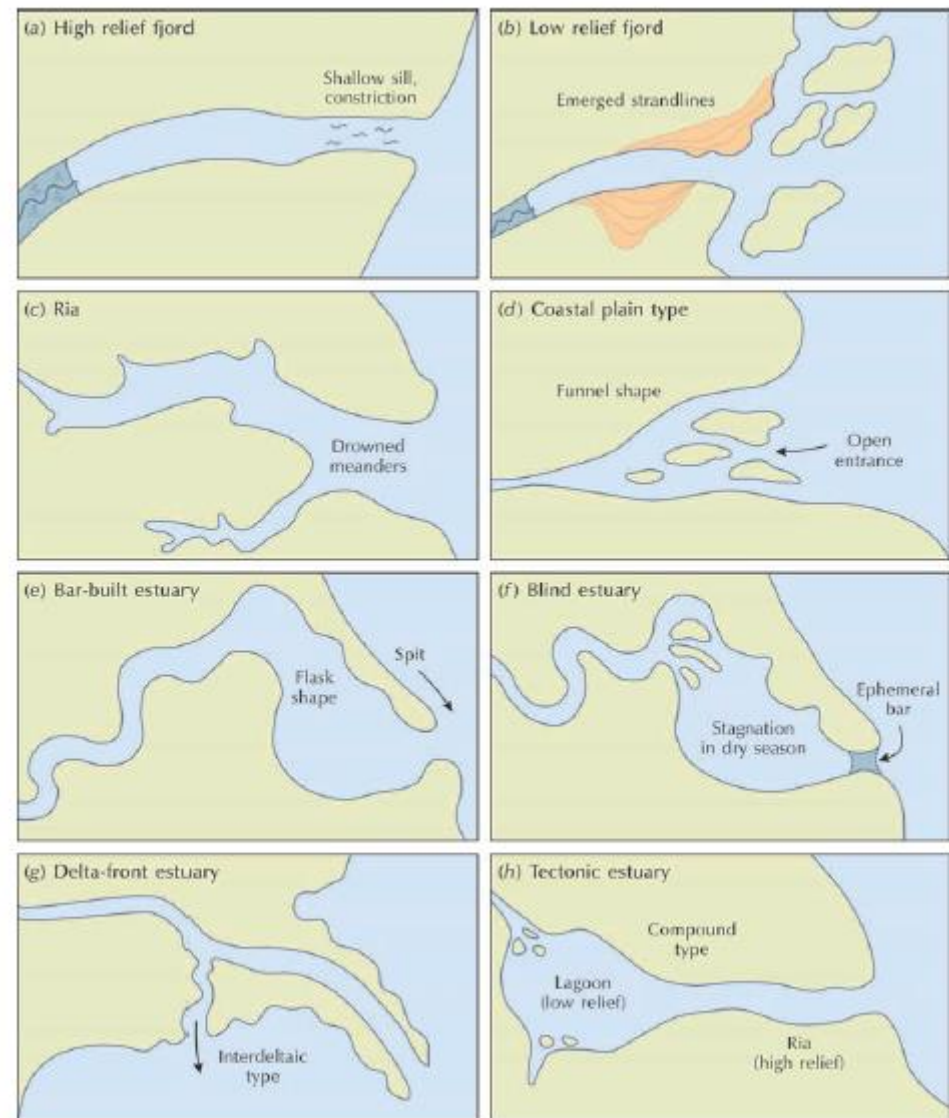


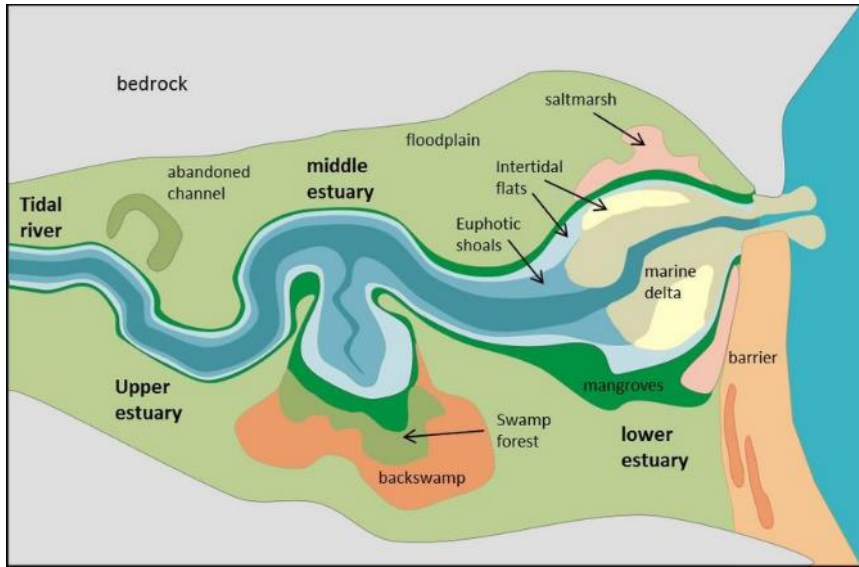
# Alcuni esempi



# Estuari

- Gli estuari sono insenature di marea, spesso lunghe e strette, che si estendono attraverso una pianura alluvionale costiera o corrono verso l'interno lungo un fiume fino a dove arriva la marea.
- Sono parzialmente chiusi ma collegati al mare aperto.
- Sono zone di transizione tra i fiumi e il mare, in cui l'acqua dolce del fiume si mescola con l'acqua salata dell'oceano.
- Inizialmente, la loro forma è determinata dalla topografia costiera, ma questa cambia abbastanza rapidamente quando l'erosione e la deposizione dei sedimenti raggiungono uno stato di equilibrio.
- Spesso si trovano in corrispondenza di valli incise durante l'ultima fase glaciale e poi allagate dall'ingressione post-LGM



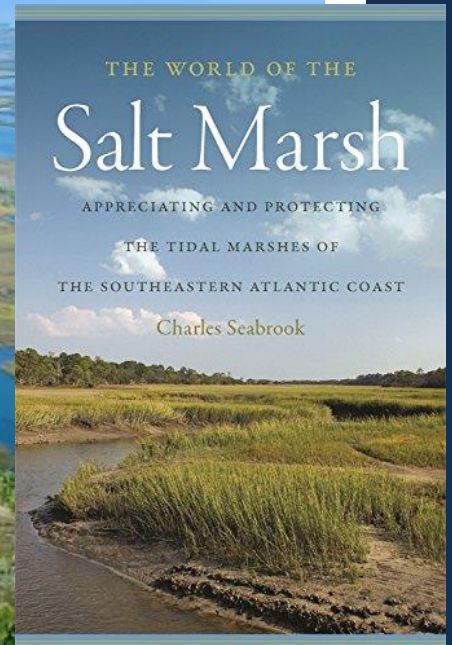
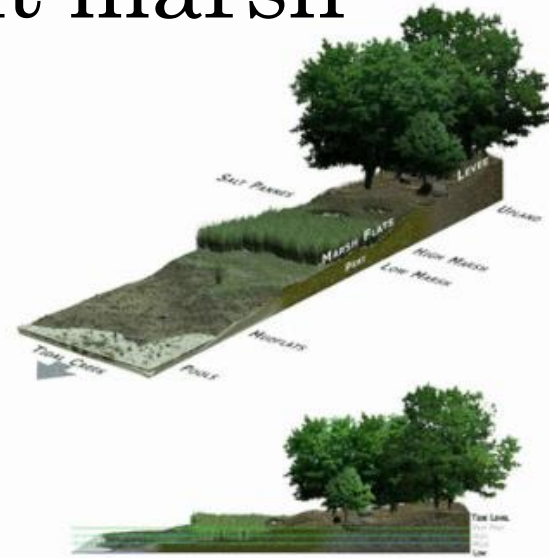


# Piane tidali, paludi salmastre, mangrovie

- Le correnti associate alle maree trasportano grandi quantità di sedimenti in aree di acqua bassa. Il flusso e riflusso delle correnti di marea modella una serie di forme costiere:
- **Piana tidale:** Banchi di fango o sabbia che sono esposti durante la bassa marea. Non sono piatte, ma si inclinano molto dolcemente verso il mare dal livello dell'alta marea fino a un po' sotto il livello della bassa marea.
- **Palude salmastra:** sono diffuse nelle regioni temperate e non sono rare ai tropici. Cominciano a formarsi quando le piane di marea sono abbastanza alte da permettere la colonizzazione da parte di piante terrestri alofile. A seconda del loro grado di esposizione, le paludi salmastre si estendono dal livello medio dell'acqua alta a un punto tra il livello medio e quello estremo dell'acqua alta, la marea di primavera.
- **Mangrovie:** Mangrovia è un termine generale per indicare una varietà di alberi e arbusti tropicali e subtropicali tolleranti al sale in zone intertidali. Sono comunità di mangrovie - arbusti e alberi con associate liane, palme e felci - che colonizzano le piane di marea nei tropici, e si presentano in ambienti costieri dominati dai fiumi, dalle maree e dalle onde (Woodroffe 1990).



# Salt marsh

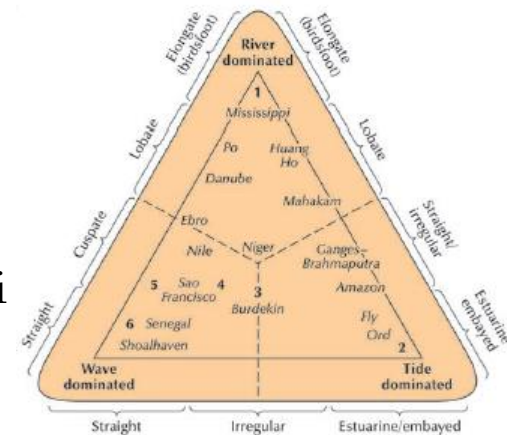


# Mangrovie



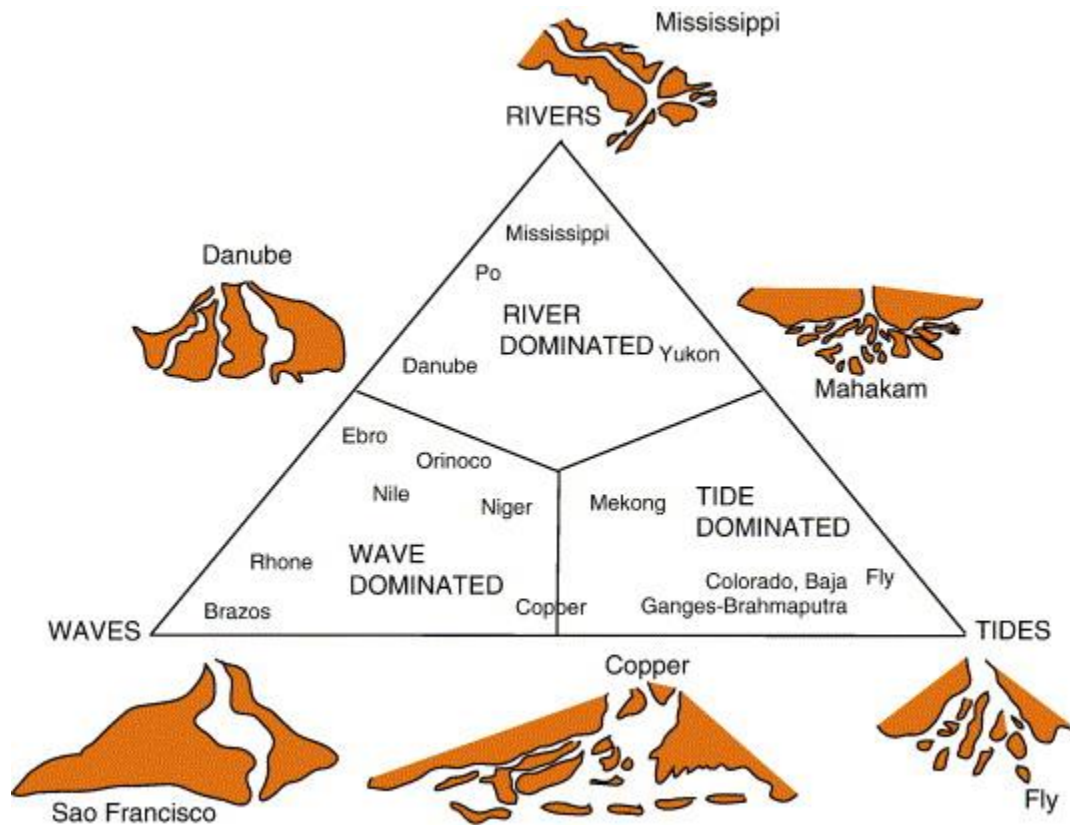
# Delta marini

- I delta marini si formano per deposizione dove i fiumi sfociano nel mare. Il delta cresce finché il tasso di deposizione supera il tasso di erosione.
- Alcuni delta si formano lungo le coste a bassa energia con basse maree e onde deboli. Altri si formano in coste ad alta energia con grandi intervalli di marea e onde potenti.
- Le coste di bordo dei continenti (margini passivi) e le coste che si affacciano su mari marginali sembrano favorire la crescita di grandi delta.
- Alcuni delta sono a pianta triangolare, come la lettera greca delta, da cui presero il nome quasi 2500 anni fa da Erodoto.
- I delta si presentano in una molteplicità di forme, la loro forma precisa dipende dalla capacità delle onde di rielaborare e ridistribuire il flusso in arrivo di sedimenti trasportati dal fiume.
- Sei tipi di base sono riconosciuti

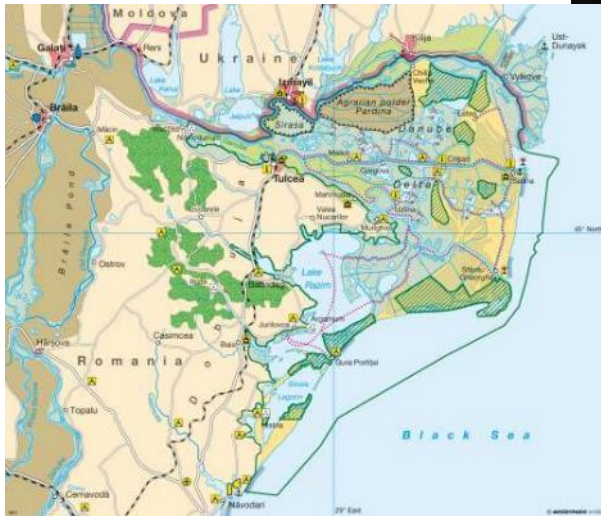
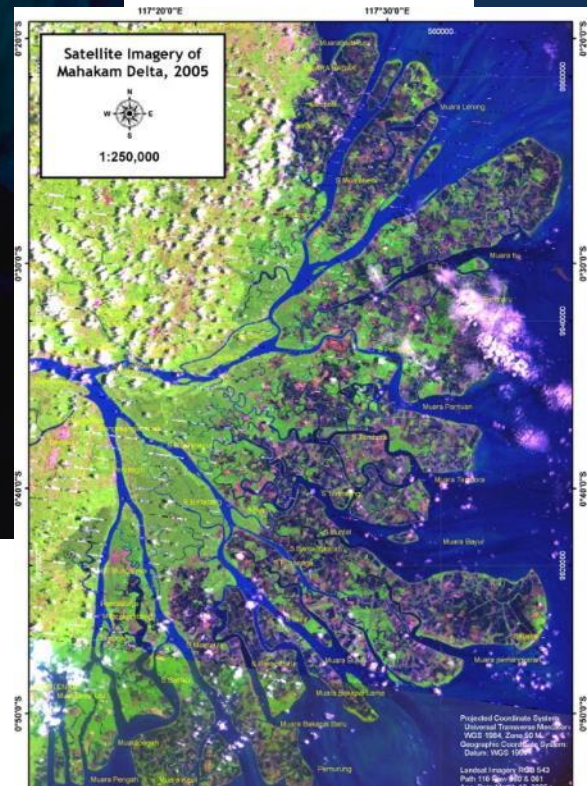




# Tipi di delta fluviali

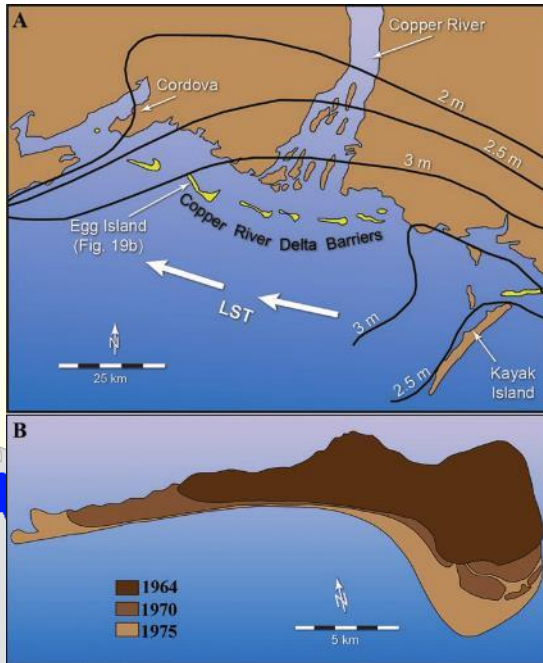


# Delta



Annual average discharge of Rhine and Maas 2000 – 2011

— disconnected from the discharges of Rhine and Maas



# Barriera corallina

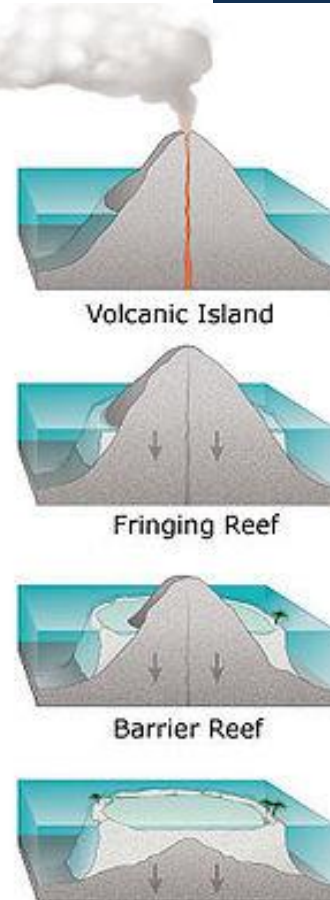
- Una barriera corallina è una struttura costruita con i resti scheletrici di generazioni di animali corallini, su cui crescono polipi di corallo vivi.
- Le barriere coralline si sviluppano in acque poco profonde e trasparenti degli oceani tropicali.
- La Grande Barriera Corallina, nel Mar dei Coralli al largo della costa nord-est dell'Australia è, con oltre 2.600 km lunga, la più grande barriera corallina vivente del mondo, e in effetti il più grande elemento organico vivente.
- Essa comprende più di 3.000 scogliere individuali e centinaia di piccole isole coralline, di dimensioni variabili da circa 10 ettari a 10.000 ettari, formate lungo il bordo della piattaforma continentale.

# Alcuni esempi



# Atollo

- Un atollo è un anello di barriera corallina e piccole isole sabbiose che circonda una laguna poco profonda.
- Gli atolli sono comuni nell'Oceano Pacifico tropicale, dove gruppi di isole come le Isole Marshall e Kiribati sono catene di atolli.
- Si formano spesso sulle isole vulcaniche, come sulle isole Hawaii, e cominciano a sprofondare sotto il livello del mare.
- Le barriere coralline si formano inizialmente come una frangia nelle acque poco profonde intorno a un'isola vulcanica, come a Tahiti.
- Con il tempo, l'isola si erode e si ritira. Tuttavia, la barriera continua a crescere verso l'alto per creare una barriera corallina al largo separata dall'isola principale da una laguna (Bora Bora nelle Isole della Società).
- Il sollevamento di una barriera corallina sopra il livello del mare crea un atollo rialzato. Questi spesso danno luogo a spettacolari paesaggi di grotte.



# Alcuni esempi



TAHITI

# Variazioni del livello del mare

