PROCESSI COSTIERI
AA 2015-2016

Materiale in parte tratto dal Capitolo 4 del Manuale CEM (Coastal Engineering Manual) dell' USACE (US Army Corps of Engineers e da vari USACE Technical Report. Abbiamo utilizzato largamente appunti dei corsi dell'Università di Catania (Prof. Enrico Foti e Ing. Rosaria Musumeci) cui come al solito vanno i ringraziamenti per il prestito e le scuse per gli eventuali travisamenti
Di alcune figure non siamo riusciti a trovare l'origine. Preghiamo gli interessati a segnalarmele e provvederemo a riportare l'indicazione degli autori oppure a rimuoverle

Poiché in questo fascicolo sono molte le parti che non fanno parte del programma 2015-2016, chi vuole risparmiare carta, può eliminare le parti marcate prima della stampa

The Walrus and the Carpenter
Were walking close at hand;
They wept like anything to see
Such quantities of sand:
"If this were only cleared away,"
They said, "it would be grand!"

PREMESSA

Nel seguito si discutono brevemente i meccanismi di evoluzione delle coste sabbiose, che dipendono essenzialmente dall'interazione tra il moto ondoso e la spiaggia: il primo fornisce energia al sistema mentre la seconda assorbe tale energia attraverso cambiamenti della propria configurazione.

L'evoluzione della costa è strettamente legata al movimento dei sedimenti nella spiaggia, sia sommersa che emersa, essa dipende tuttavia dall'apporto di sedimenti che deriva in gran parte dal trasporto solido fluviale. Quest'ultimo aspetto non è studiato in questo corso, ma è necessario dare almeno un'occhiata globale al bilancio complessivo dei sedimenti. Successivamente si affronteranno i fenomeni litorali in senso stretto.

La linea di spiaggia, punto di intersezione tra terra e mare, è il punto dove i fenomeni anzidetti "attaccano" le terre emerse. Non si trattano in questo corso le coste alte, dove una parete rocciosa insite direttamente sul mare.
A causa della complessità dei processi considerati, e delle diverse nomenclature utilizzate è opportuno introdurre una definizione circa i termini che verranno adottati nel presente ambito (per alcuni termini viene mantenuta la nomenclatura inglese a causa dell'uso diffuso)

AREA COSTIERA	comprende sia la costa che un tratto di mare;
SPIAGGIA	zona costituita da materiale sciolto che viene interessata dal moto ondoso, sia al di sopra che al di sotto del livello del mare
SPIAGGIA EMERSA	zona della spiaggia al di sopra del livello del mare
SURFZONE	zona interessata dal frangimento;
BERMA	zona costituita da gradini relativamente orizzontali modellati in parte per
BARRA	erosione ed in parte per accumulo verso terra rispetto alla battigia; rialzo (zona di minore profondità) della spiaggia sommersa parallela alla riva

I sedimenti variano in modo notevole sia per quanto riguarda le dimensioni che per quanto attiene alla forma e alla composizione.. E' possibile trovare sabbie di quarzo (silice), carbonati (provenienti dalla disgregazione di coralli e conchiglie) calcite, materie organiche, limo e argilla etc . Ovviamente a seconda della composizione questi materiali sono caratterizzati da pesi specifici diversi. La densità comunque in genere non si distacca molto da 2000 kg/m^3
E' importante comprendere che esiste una relazione tra diametro e velocità di sedimentazione w ; SI hanno diagrammi del tipo di quello che segue,

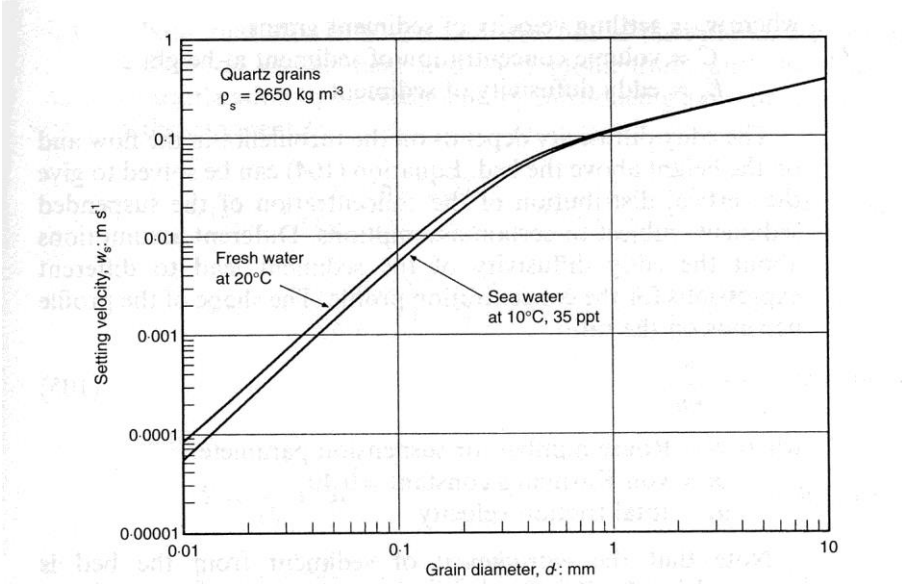
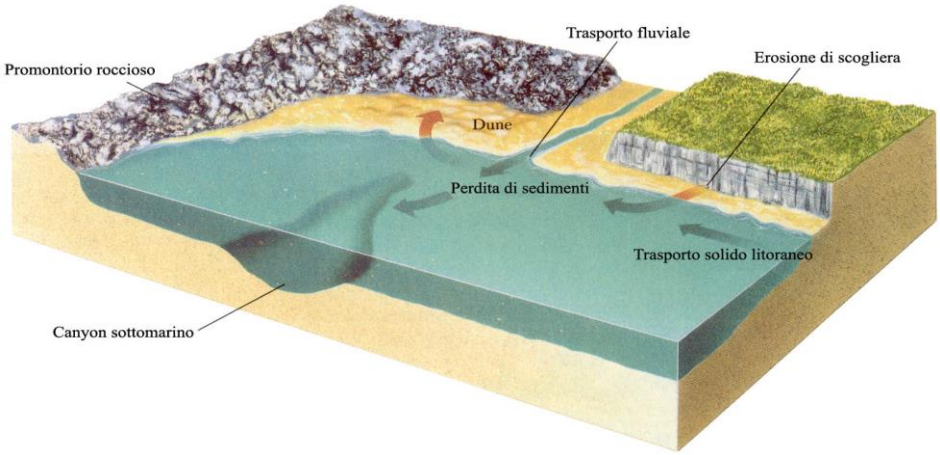


Figure 27. Settling velocity of quartz grains of sieve diameter d at low concentration in still water

Velocità di sedimentazione (= di caduta) per sabbia di quarzo (Da: Dynamics of marine sands" – R. Soulsby, Hr Wallingford-Thomas Telford Publications)

LA CELLA SEDIMENTARIA – IL BILANCIO DEI SEDIMENTI

Uno schema indicativo dei processi che determinano l'evoluzione dei litorali è riportato nella figura che segue.

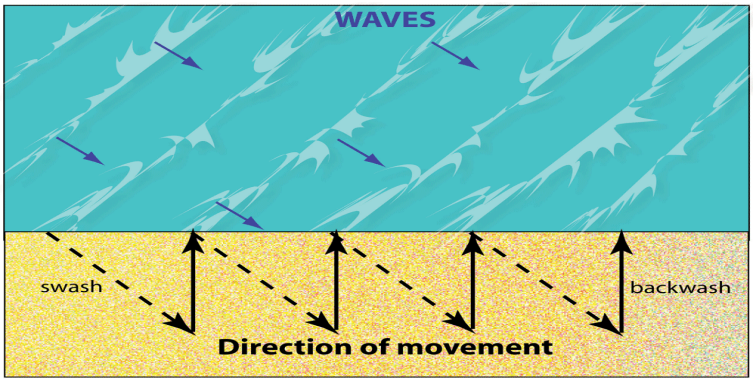


Una tratto costiero in cui il trasporto di sedimenti sia isolato dal resto a causa di ostacoli naturali (promontori) o artificiali (pennelli) si chiama "cella sedimentaria) "unità fisiografica" (sediment cell). Ad essa si riferisce normalmente l'applicazione del bilancio dei sedimenti con cui, attraverso la valutazione degli apporti e delle perdite di materiale che intervengono nel sistema spiaggia, si possono stimare i processi di deposito o di erosione.
Il bilancio dei sedimenti è semplicemente l'applicazione del principio di continuità o di conservazione della massa ai sedimenti litoranei: la differenza tra la quantità di sabbia apportata e quella perduta. La difficoltà nell'effettuare tale bilancio risiede nella comprensione e nella stima dei contributi e delle perdite nei processi che influenzano.

APPORTI	PERDITE
Trasporto litoraneo (entro l'area di interesse)	**Trasporto litoraneo (fuori dall'area di interesse)**
Apporti fluviali	**Presenza di canyon sottomarini (trasporto off-shore)**
Ripascimento artificiale	**Prelievo artificiale di materiale**
Trasporto verso la costa dovuto al vento	**Trasporto verso il mare dovuto al vento**
Erosione di scogliere	**Abrasione e soluzione**

Il bilancio di sedimenti è un utile strumento, soprattutto per la stima degli effetti causati dalle alterazioni della costa, come ad esempio la realizzazione di un porto o di ostruzioni quali i pennelli o le barriere di protezione.

MOVIMENTO DEI SEDIMENTI

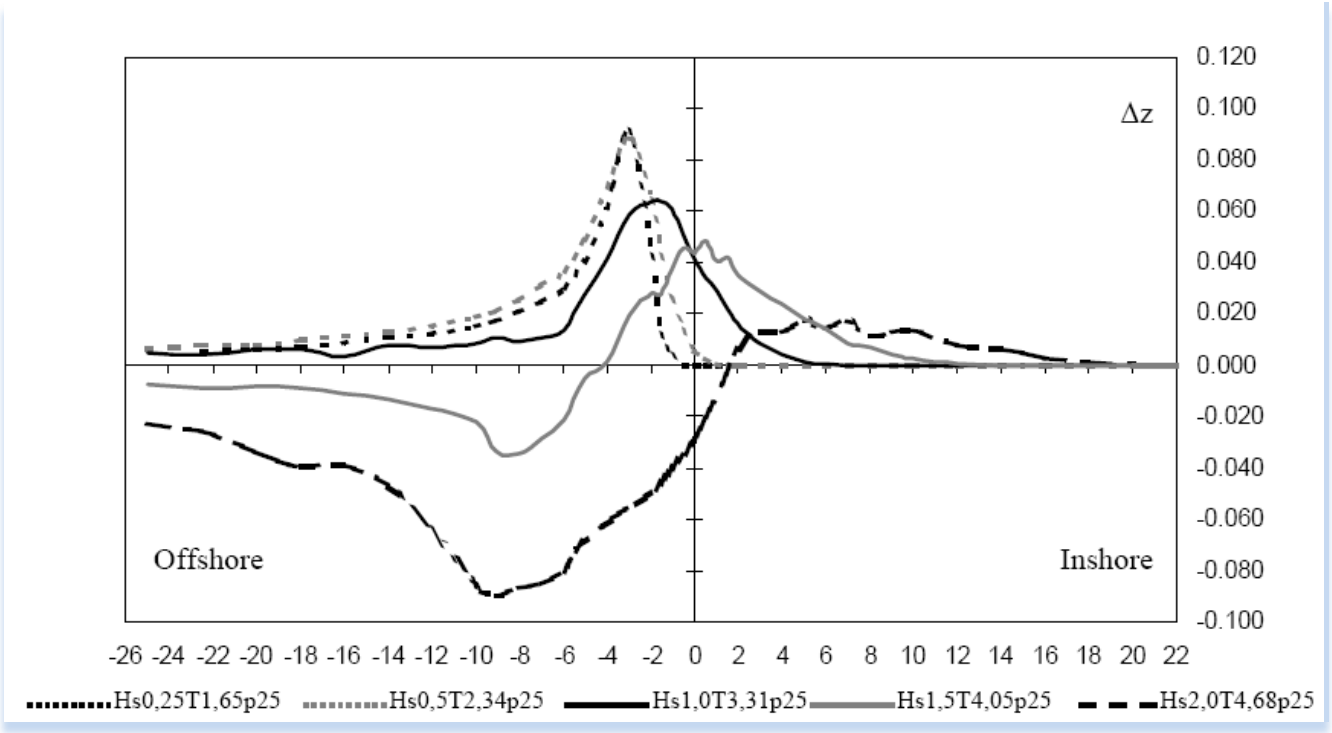


Nello studio dei processi costieri è pratica comune quella di distinguere tra:

Trasporto cross-shore, (trasversale) che avviene in direzione perpendicolare alla linea di costa, determinato innanzitutto dalla ripidità dell'onda, dalla dimensione dei sedimenti e dalla pendenza del profilo di spiaggia.
Trasporto long-shore, (longitudinale, lungo costa) diretto parallelamente alla linea di costa.
E' conveniente dare prima uno sguardo al trasporto trasversale, poi a quello longitudinale.

TRASPORTO CROSS-SHORE (TRASVERSALE)

Le variazioni di breve termine nella configurazione del profilo di una spiaggia sono solitamente dovute al trasporto di sedimenti in direzione normale alla costa (trasporto cross-shore): se si effettuano successive misurazioni di un profilo di spiaggia si riscontrano facilmente variazioni correlate all'azione del mare. E' un fatto abbastanza evidente che le forti mareggiate causano forti perdite di sedimenti (erosione); meno evidente, ma ben osservabile in pratica, è il fatto che gli stati di mare meno intensi e con onde piu' lunghe favoriscono la ricostruzione del profilo. Per tempi intermedi (=un anno, alcuni anni) però, si suppone che i processi erosivi traversali bilancino quelli ricostruttivi, cosicchè le variazioni della linea di spiaggia derivino unicamente dal trasporto longshore e tale effetto nel bilancio totale dei sedimenti viene addirittura trascurato. Naturalmente, considerando i processi per tempi ancora più lunghi, questa ipotesi è poco credibile, ma il problema della previsione degli effetti trasversali a lungo termine è tuttora non risolto.
Il modellamento (la variazione del fondo) può essere interpretato attraverso due processi fondamentali: il trasporto di fondo ed il trasporto in sospensione.
Un criterio per la stima del trasporto di fondo è quello di utilizzare lo sforzo tangenziale sul fondo.
La figura che segue mostra appunto il valor medio di tale sforzo – e perciò, a meno di una costante, del trasporto di fondo - calcolati sulla base con un modello numerico basato sulle equazioni delle acque basse (NLSW Non Linear Shallow water, Giarrusso et al. 2001 - 2003).



Si evince l'efficacia del modello utilizzato nel riprodurre sia la tendenza alla ricostruzione sia quella all'erosione, in dipendenza del periodo T e dell'altezza d'onda dell'onda incidente: in linea di massima le onde ripide (H/L alto) tendono a trasportare i sedimenti verso il largo e provocano erosione, quelle lunghe tendono a trasportare i sedimenti verso la riva e quindi ricostruiscono. Il quadro però non è del tutto chiaro, e c'è sempre qualche incongruenza, specialmente per le altezze d'onda molto basse.

Nell'uso comune esistono vari modelli, anche complessi, implementati in software disponibile liberamente (ad es: SBEACH, dell'usace -http://chl.erdc.usace.army.mil/cem) Essi però sono sistematicamente carenti nella valutazione della ricostruzione dovuta alle mareggiate con onde basse e lunghe.

Esistono altri criteri, più speditivi, quali quello di correlare lo spostamento di materiale onshore - offshore con parametri sintetici quali ad esempio la pendenza dell'onda (parametro di Irribarren), la velocità di sedimentazione, etc., ma in sostanza – fermo il principio che gli stati di mare forti erodono - dal punto di vista operativo non esistono criteri certi e riconosciuti per prevedere se una mareggiata avrà effetto erosivo o ricostruttivo. Nel seguito si riporta un criterio (1988) che puo' servire per analisi di tipo statistico sulla vulnerabilità all'erosione. Esso è riportato in una pubblicazione dell'USACE: CETN-II-2 http://chl.erdc.usace.army.mil/cem
(E' in inglese, un utile esercizio).

BACKGROUND: The term "erosion" usually describes subaerial erosion, i.e., removal of material from the visible beach, often to produce a gentle slope in the surf zone and one or more large longshore bars in the offshore. The term "accretion" *(accrescimento, ricostruzione, formazione)* usually describes sand accumulation in the form of one or more berms (*berme)* on the visible beach and, typically, a steep profile in the surf zone with relatively small offshore bars (**barre**). Although erosion and accretion commonly refer to the response of the subaerial (**subaerea,emersa**) beach, material may not be lost or gained in the total system, but only displaced and rearranged. Surveys (**rilievi**) of wide longshore and cross-shore extent are needed to determine if a beach has actually lost or gained material.
In the early days of coastal engineering, it was thought that wave steepness was a sufficient predictor of erosion or accretion, with waves of large steepness producing erosion and small steepness producing accretion . --It was later realized that the height of the waves was also important, as well as the median grain size of the beach; fine-sand beaches typically undergo greater variations than coarse-sand

beaches. For beaches comprised of particles of different densities and shapes, however, the sediment particle fall velocity w (*velocità di caduta,di sedimentazione)* is believed to be a more valid representation of "hydraulic grain size."
Laboratory and field measurements have indicated that the following variables determine in great part whether a beach will erode or accrete:
wave steepness: Ho/Lo **(ricordare il parametro di Irribarren)**
wave height: Ho
median grain size: d50 (or, equivalently, sand fall velocity,**velocità di caduta** w)
In the above, wave height H and wavelength L are evaluated in deep water, denoted by the subscrit "0" The deepwater wavelength is given by linear wave theory as Lo = g/(2Π) To^2, Thus, wave period is also a factor controlling beach erosion and accretion.

PREDICTION METHODS: Three criteria are presented for estimating whether a beach of known median grain size will erode or accrete due to cross-shore transport produced by incident waves of specified characteristics. These criteria were developed based on two sets of laboratory data (labeled CE and CRIEPI in figures given below) involving wave and beach dimensions of prototype scale and monochromatic waves (Larson and Kraus 1988). In the evaluation of **a** representative wave height and period in applications, significant wave height and peak spectral period should be used
-_
Criterion 1: This criterion uses the deepwater wave steepness and dimensionless fall velocity, defined as H,/wT, and is expressed as

$$H_o/L_o \leq 0.00070\,(H_o/wT)^3\,, \quad \text{erosion}$$

$$H_o/L_o > 0.00070\,(H_o/wT)^3\,, \quad \text{accretion} \qquad (2)$$

Criterion 2: This criterion is expressed in terms of the deepwater wave steepness and the ratio of deepwater wave height and median grain size, as shown by the diagonal line in Fig. 2, and is given by

$$H_o/L_o < 4.8\cdot10^8\,(H_o/d_{50})^{-3.05}\,, \quad \text{accretion}$$

$$H_o/L_o \geq 4.8\cdot10^8\,(H_o/d_{50})^{-3.05}\,, \quad \text{erosion} \qquad (3)$$

Eq. 3 ~~is easy to apply since it is expressed in terms of readily available variables; however, it is strictly limited to quartz sand and water temperatures well above freezing.~~

~~Criterion 3: This criterion is expressed in terms of deepwater wave steepness and Dean's (1973) parameter πw/gT, which is formed with the grain fall velocity and wave period. The criterion is expressed by~~

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

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

DISCUSSION: The three criteria defined by Equations 2, 3, and 4 for predicting whether a beach will tend to erode or accrete were developed from the same data base. Therefore, empirically the criteria are equivalent. ~~From a theoretical viewpoint, Eq. 2, which incorporates the magnitude of wave height and grain fall velocity, is superior. However, for applications involving quartz beach~~

~~sands and typical water temperatures, any of the three criteria may be applied~~.
Finally, it is emphasized that the material and procedures described here pertain to beach change produced by cross-shore sand transport under wave action. Erosion and accretion may also be caused by longshore sand transport related processes.

Il crierio (1) (relazione 2) riportato sopra è il più noto, e l'unico che verrà impiegato negli esercizi, anche perché è incorporato nel modello SBEACH.

Puo essere anche utile il diagramma seguente, tratto da "USACE Technical Report CERC 89-9 , Larson & Kraus 1989 "Storm Induced Beach Change""
Figure 6 is a plot of the LWT data on profile response as bar or berm (erosion or accretion) together with a line drawn by inspection to best separate the erosional and accretionary cases. This line defines an empirical criterion in terms of the two parameters given by the following equation:

$$\frac{H_o}{L_o} = M \left[\frac{H_o}{wT} \right]^3$$

in which the empirical coefficient M = 0.00070.

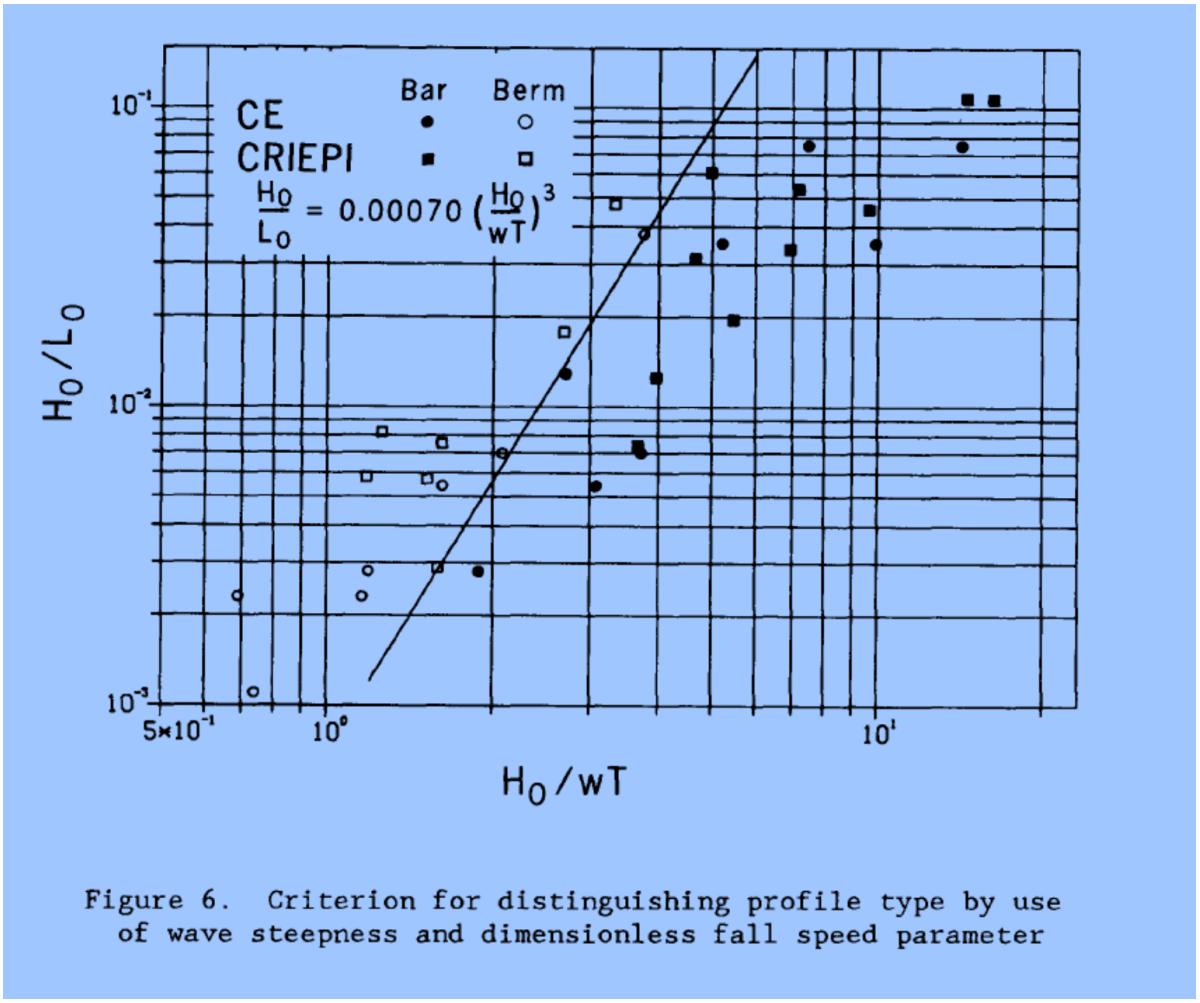


Figure 6. Criterion for distinguishing profile type by use of wave steepness and dimensionless fall speed parameter

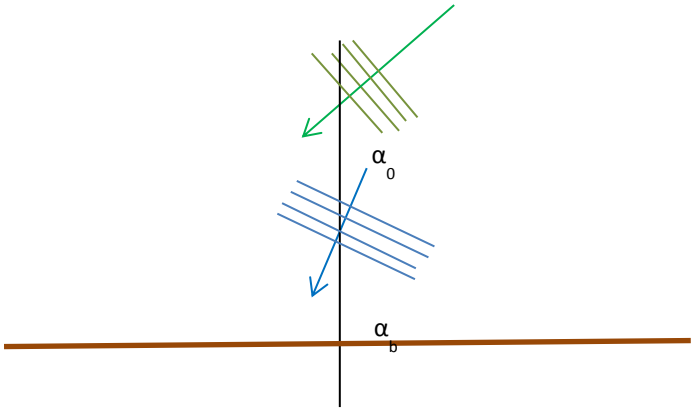
Bar = A barre , erosivo; Berm: con berma, accrescitivo

Trasporto long-shore (lungo costa, longitudinale)

Il trasporto long-shore puo' essere visto come il risultato di due processi: e cioè del frangimento dell'onda, che porta in sospensione i sedimenti ed il trasporto vero e proprio dovuto alle correnti litoranee (di cui un esempio schematico è stato visto prima). Esso interessa una fascia ristretta della costa e la sua intensità e direzione dipendono principalmente dall'altezza, dal periodo e dalla direzione delle onde.
La portata solida in direzione longshore Ql di materiale solido lungo la costa dipendere dal flusso di energia litoranea: esistono molte formule per la sua valutazione, tutte con una struttura molto simile alla seguente, che è nota come "CERC"

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

dove il pedice b si riferisce alle condizioni alla rottura ed α è l'angolo tra la direzione di propagazione e la normale alla costa nel verso entrante (ovvero tra il fronte d'onda e la linea di spiaggia).



La variante della formula CERC riportata sopra ha come dato di ingresso soltanto le caratteristiche dell'onda incidente; ciò non sembra essere sufficientemente realistico in quanto ci si aspetta che il trasporto longitudinale dipenda anche dalle caratteristiche dei sedimenti e dall'andamento del profilo trasversale della costa.
Esistono numerosissime formule di trasporto long-shore, e alcune sono elencate nel seguito: esse NON devono essere imparate a memoria; è solo necessario capirne la forma struttura e *saperle usare*
Anche la seguente formula (da Dean) considera la granulometria e la porosità
(non a memoria)

$Q1 = [K * Hs_b^{(5/2)} * \text{sen}(2\,\alpha_b) * ((g/k)^{0.5})]/[16*(1-p)*(s-1)]$ **
dove
K è funzione della granulometria del materiale
p = porosità
s = rapporto tra il peso specifico del solido e dell'acqua
k = rapporto tra l'altezza d'onda e la profondità al frangimento

Un'utile discussione è riportata in: "Dynamics of marine sands" – R. Soulsby, Hr Wallingford-Thomas Telford Publications", che ne fornisce inoltre una variante che tiene esplicitamente conto della densità del sedimento

Due esempi (anch'essi CERC) sono riportati nel seguito *(In inglese, un utile esercizio).*

Methods to calculate Q_{LS} are given below.

The CERC formula is the most widely used method to calculate the total sediment transport Q_{LS} integrated across the width of the surf zone. The formula, originally given in *Shore Protection Manual* (CERC, 1984) in US units, can be converted to a dimensionally consistent form (e.g. Fredsøe and Deigaard, 1992). A variety of versions have been used by practitioners, differing chiefly in their treatment of the wave group velocity c_g and the wave breaking criterion. Taking these as $c_g = (gh)^{1/2}$ and $H_{bk} = 0{\cdot}8h$ in the surf zone, together with $H_s = \sqrt{2}H_{rms}$, leads to the simple formula:

$$Q_{LS} = \frac{0{\cdot}023 g^{1/2} H_{sb}^{5/2} \sin(2\alpha_b)}{(s-1)} \qquad \text{SC (138)}$$

where

Q_{LS} = sediment transport rate ($m^3\ s^{-1}$) integrated across the surf zone, in volume of sediment (excluding pore space) per unit time
g = acceleration due to gravity
H_{sb} = significant wave height at breaker line
α_b = angle between wave crests and shoreline at breaker line
s = relative density of sediment.

Equation (138) is the simplest form of the CERC equation, obtained by applying shallow-water linear wave theory to the full expression. It appears to indicate that the transport rate Q_{LS} is independent of grain size and beach slope. Modifications to Equation (138) have been proposed by various researchers (e.g. Kamphuis, 1991; Ozasa and Brampton, 1980) to take account of:

- grain size of sediment (coefficient 0·023 becomes a decreasing function of grain size)
- beach slope (coefficient increases with beach slope)
- higher-order wave theories
- the along-shore variation in wave height (drives sediment from area of high waves to area of low waves)

..

La densità relativa nominata sopra è data dal rapporto della densità del sedimento divisa per quella dell'acqua s= ρ_s / ρ_w

Ancora (da ERDC/CHL CHETN-II-46, March 2002, "Longshore Sand" by Ping Wang, Bruce A. Ebersole, and Ernest R. Smith)

Based on similar field data, Kamphuis et al. (1986) developed an empirical formula that includes the beach slope and sediment grain size,

$$Q = 1.28 \frac{H_{sb}^{3.5} m}{d} \sin(2\theta_b) \qquad (2)$$

where, d is sediment grain size, and m is beach slope. Based on a series of laboratory studies and re-examination of existing field data, Kamphuis (1991) suggested an empirical formula for the prediction of total longshore sediment transport rate, modifying the 1986 formula and adding the influence of peak wave period, T_p

$$Q = 6.4 \times 10^4 H_{sb}^2 T_p^{1.5} m^{0.75} d^{-0.25} \sin^{0.6}(2\theta_b) \qquad (3)$$

It is noted that the dependence on grain size and wave height are greatly reduced as compared to Equation 2. The influences of beach slope and incident wave angle are also reduced. The coefficients in the preceding Kamphuis-86 and -91 formulas were determined using metric units.

Esistono dunque molte varianti di queste formule, di struttura abbastanza simile. E' evidente l'analogia tra queste formule e quella del radiation stress trasversale, cui è dovuta la presenza del termine sen(2 α_b) = 2 sen(α_b) cos(α_b) valutato lungo la linea di rottura. Si consideri per esempio una striscia compresa tra la linea dove frangono le onde la riva. Su tale striscia agisce un radiation stress con questa forma:

$$S_{xy} = \left(\frac{1}{8}\rho g H_b^{\ 2}\right) \ \mathrm{n}\cdot\cos(\alpha_b).\sin(\alpha_b) = E_b.\mathrm{n}\cdot\cos(\alpha_b).\sin(\alpha_b)$$

Va però notato che, a differenza del radiation stress, che è un flusso di quantità di moto, in questo caso va considerato un flusso di energia che, come dovrebbe essere chiaro, si ottiene moltiplicando l'energia specifica dell'onda E, per la celerità. C'è quindi da aspettarsi qualcosa del tipo:

$$Ql = Coeff.C.E.\mathrm{n}\cdot\cos(\alpha).\sin(\alpha)$$

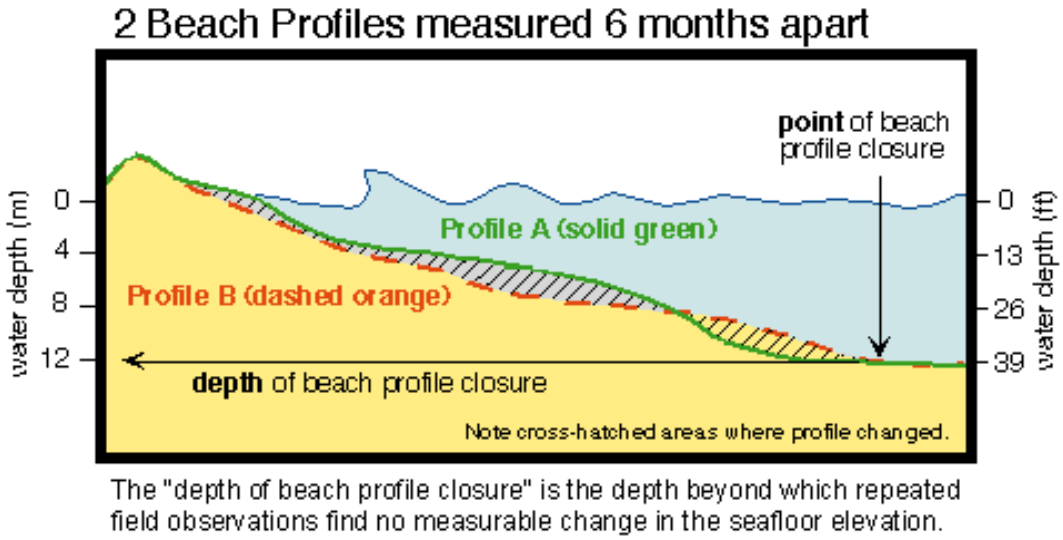
Dove il coefficiente deve tener conto di tutte le costanti e di tutti gli effetti legati al trasporto solido, nonché evidentemente, delle unità di misura adottate. Ricordando il valore di C_g per acque basse si capisce anche il perché dell'esponente 5/2 (anziché 2) per l'altezza d'onda alla rottura presente nelle formule originali; alcune varianti - puramente empiriche - presentano come si è visto, valori diversi per gli esponenti.

I valori delle costanti non sono universali: in particolare, impiegando i valori riportati il trasporto solido risulta spesso alto in maniera assolutamente irrealistica. Questo è il motivo per cui le costanti vanno adattate alle circostante ed ai dati empirici disponibili (=calibrazione).

Un utile esercizio è quello di calcolare, a partire dai valori Ho Tm e Direzione al largo il trasporto solido lungocosta su una spiaggia, con batimetriche rettilinee e parallele.

Profondita' di chiusura

Un concetto importante per la comprensione della dinamica dei litorali è quello di "profondità di chiusura" h_c: il limite verso il largo delle variazioni effettive di profilo sul lungo termine (anni). (Da. http://chl.erdc.usace.army.mil/cem)



The "depth of beach profile closure" is the depth beyond which repeated field observations find no measurable change in the seafloor elevation.

Essa è un concetto di essenzialmente statistico, e dipende dalle altezze d'onda più alte che possono verificarsi in un sito; dove "più alte" vuol dire quelle che si verificano poche ore ogni anno. Esistono molte formule empiriche per la valutazione della profondità di h_c , che non è necessario conoscere a memoria
Essa è stimabile attraverso varie espressioni quali.

$h_c = 2.28\ Hs_{12h/y} - 68.5\ (H^2 s_{12h/y}) / (g\ Ts^2)$

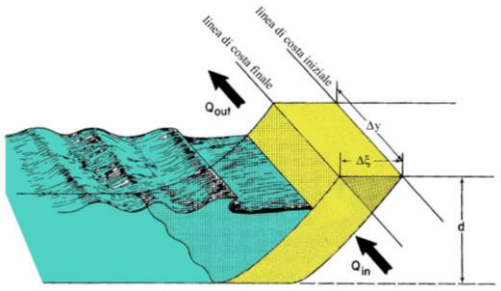
dove $Hs_{12h/y}$ è l'altezza significativa effettiva, superata mediamente 12 ore l'anno (l' 1,4 per mille del tempo), e Ts il corrispondente periodo. *(calcolare per esercizio a quante ore l'anno corrisponde, e determinalo sulla base dei dati onda metrici negli esercizi)*

Altre formule e criteri empirici si trovano su:

(EM 1110-2-1100 (Part III) Cross-Shore Sediment Transport Processes III-3-21
e su:
http://www.coastalwiki.org/coastalwiki/Closure_depth

Modelli ad una linea

Per valutare l'evoluzione nel tempo di un litorale è pratica comune implementare un modello numerico del tipo "ad una linea". Tale modello si basa sull'equazione di continuità dei sedimenti in direzione parallela alla costa, accoppiata alla formula di trasporto solido sopra riportata.
Considerando una sezione della linea di costa avente larghezza Δy,



se con Q_{lin} si indica la portata di sedimenti entranti in direzione long-shore, con Q_{lout} la portata uscente, l'accumulo netto o l'erosione ΔV nel tempo Δt è dato dalla seguente espressione

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

Indicando con Δξ la variazione dalla posizione iniziale in direzione offshore - inshore della linea di costa in un intervallo di tempo Δt, si può scrivere che:

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

in cui **d** è la profondità della sezione interessata al movimento dei sedimenti che può essere data dalla **"profondità di chiusura h_c** descritta sopra. Un altro possibile modo di ragionare è che la zona interessata al movimento dei sedimenti vari per ciascun singolo stato di mare e quindi ad ogni passo di calcolo si debba assumere **$d=h_b$** e cioè la profondità del frangimento per quel determinato stato di mare**.**

Ancora, è ragionevole assumere che anche una parte della spiaggia emersa sia interessata al processo; in questo caso si puo' assumere **$d= h_c + h_b$** , dove **h_b** è la quota della berma[1]

L'area della sezione trasversale di spiaggia è dunque $d \cdot \Delta\xi$

Combinando le equazioni (11) e (12) si trova che:

$$\Delta\xi = (Q_{lin} - Q_{lout})\frac{\Delta t}{d\Delta y}$$

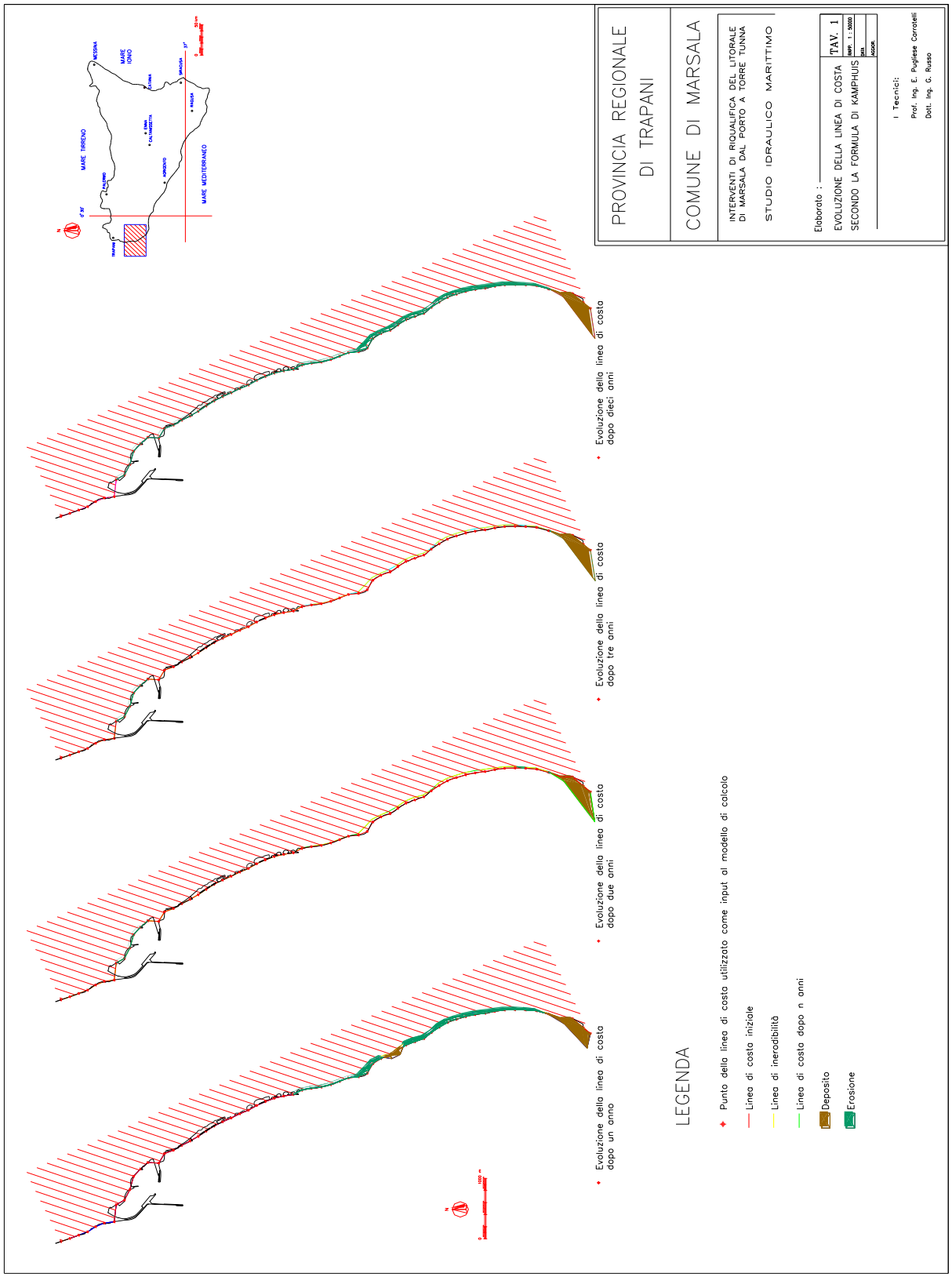
Ponendo DQ = (Q_{lout} - Q_{lin}) e passando in termini infinitesimi si trova in forma differenziale l'equazione del modello C.E.R.C.

$$\frac{d\xi}{dt} = -\frac{1}{d}\frac{dQ_l}{dy}$$

Le Qin e Qout vanno naturalmente calcolate con le formule di trasporto litoraneo discusse sopra.

L' immagine seguente mostra l'impiego di un modello ad una linea per lo studio della possibile evoluzione di un litorale (Carla Faraci per la Provincia di Trapani)

[1] Non deve stupire la vaghezza e l'incertezza di queste definizioni. Le formule sono comunque molto approssimative, al punto che un fattore di incertezza di 2 o 3 è già un buon risultato



Questo tipo di approccio è diffusissimo, al punto che è considerato quasi obbligatorio nelle relazioni di progetto di opere costiere su litorali sabbiosi. Non va però sopravvalutato: l'unico effetto di cui esso tiene conto è la variazione di orientamento della costa che come si è visto influenza fortemente il trasporto litoraneo.