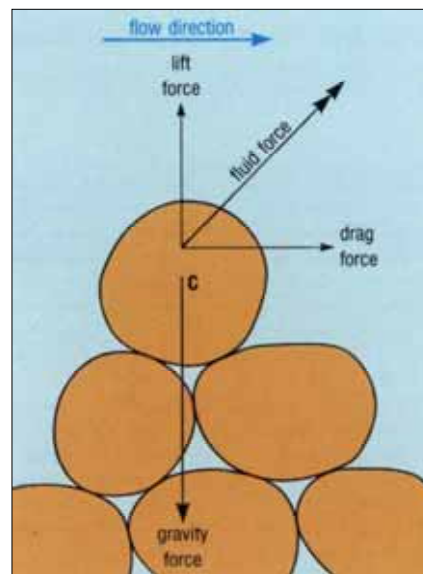


Trasporto solido marino

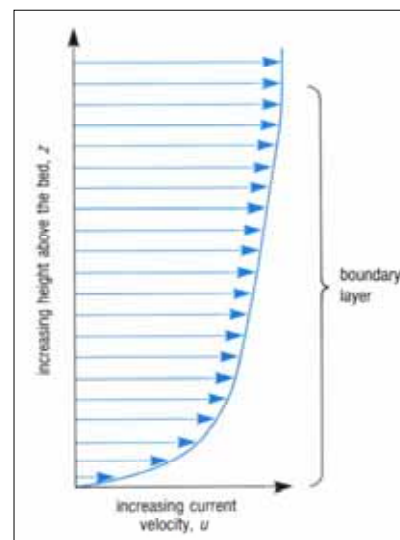
Meccanica del trasporto sedimentario

- Le forze che si oppongono al moto sono la forza peso e l'attrito tra le particelle
- 'c' è il baricentro del granulo
- Una volta che inizia il movimento, la componente tangenziale prevale sulla spinta verticale



Lo strato limite

- Esiste un attrito tra la parte inferiore della colonna di H_2O ed il fondo
- La parte più bassa del fluido viene quindi 'frenata' dall'attrito
- Il punto al di sopra del quale la velocità si stabilizza indica la fine dello *strato limite*





Lo sforzo di taglio

- Si può quindi suddividere la colonna d'acqua in una serie di strati infinitesimali che scorrono uno sopra l'altro
- Poiché due strati adiacenti sono soggetti ad attrito, si genererà alla loro interfaccia uno sforzo di taglio (τ)
- Il valore di questo sul fondo (τ_0) controlla la mobilità del sedimento
- $\tau_0 \propto du/dz$

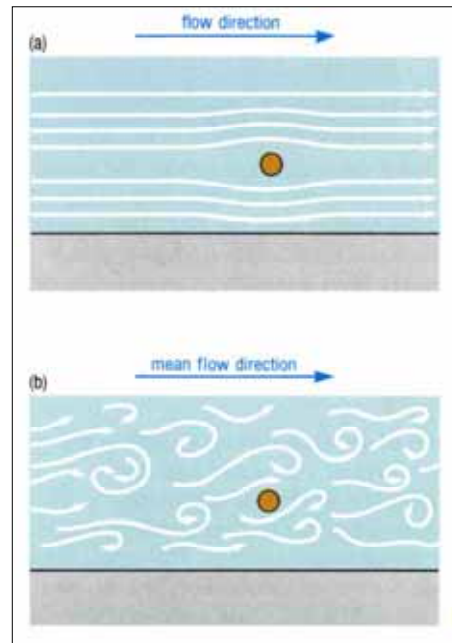
La viscosità del fluido

- Un altro fattore che controlla lo sforzo di taglio sul fondo è la viscosità molecolare del fluido
- Questa dipende dalla temperatura
- Possiamo riscrivere:

$$\tau_0 = \mu \times du/dz$$

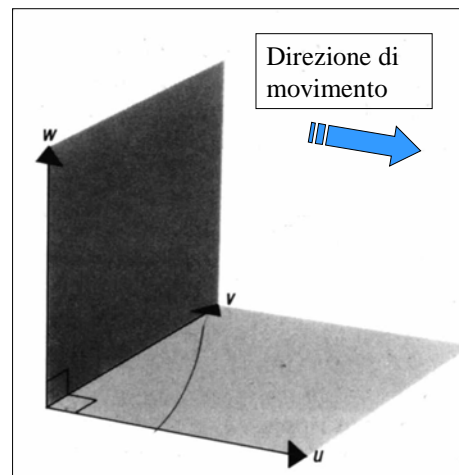
Moti laminari e turbolenti

- Su una superficie patta tutte le particelle seguono i filetti fluidi (moto laminare)
- All’aumentare della velocità, i filetti si trasformano in vortici (moto turbolento)
- I vortici generano una *viscosità effettiva* (η)



Descrizione del campo di moto

- Si stabilisce uno spazio cartesiano
- Il vettore di flusso può essere scomposto in 3 componenti
- Generalmente ‘w’ è bassa, un suo aumento indica maggiore turbolenza



Lo sforzo di taglio in regime di turbolenza

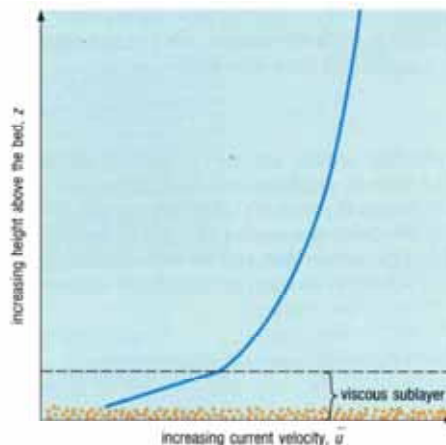
- Lo sforzo di taglio in regime di turbolenza è più alto che in regime laminare e sperimentalmente è stato calcolato come:

$$\tau_0 \propto \langle u^2 \rangle$$

dove $\langle \rangle$ indica che la velocità orizzontale è mediata su un intervallo di tempo che incorpora tutte le fluttuazioni istantanee dovute ai vortici

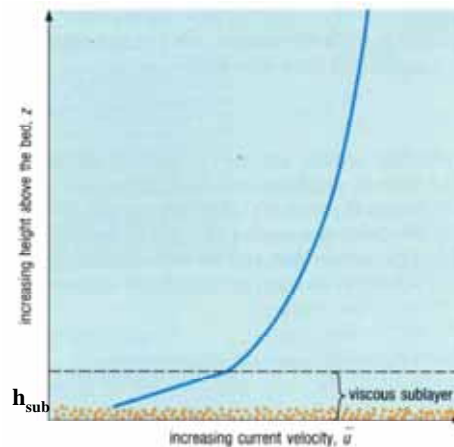
Regime turbolento “liscio” (1)

- L'acqua scorre su un fondo liscio e senza asperità
- In contatto con il fondo esiste uno strato (mm) in regime laminare (sottostrato ‘viscoso’)
- In questo strato la velocità cresce in maniera lineare allontanandosi dal fondo, τ è costante



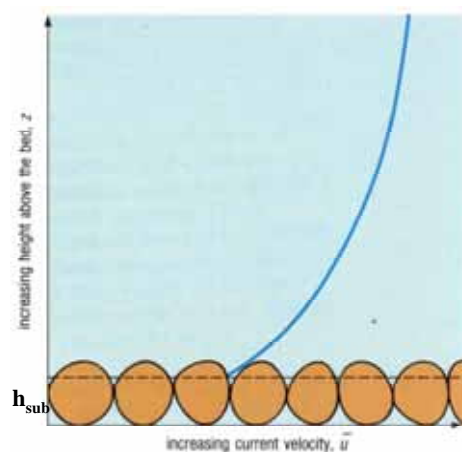
Regime turbolento “liscio” (2)

- Lo spessore del sottostrato viscoso (h_{sub}) varia a seconda della velocità
- Quando il diametro del sedimento di fondo (d_{50}) $< 1/3 (h_{sub})$ non vi è disturbo sul regime di flusso
- I granuli sul fondo restano immobili

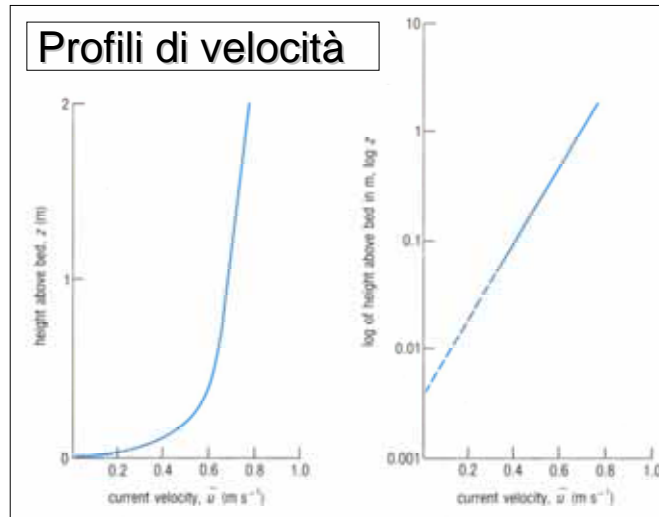


Regime turbolento “rugoso”

- Quando il diametro del sedimento di fondo è (d_{50}) $> 1/3 (h_{sub})$ vi è disturbo sul regime di flusso
- Qualora (d_{50}) = $7(h_{sub})$ la turbolenza si estende sino al fondo
- I vortici riescono ad insinuarsi tra i granuli favorendone il movimento



Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”



- Il profilo non ha forma lineare
- La soluzione è usare una scala log

La velocità di taglio

- Mentre lo sforzo di taglio ha unità di una forza per unità di area (ad es. Nm^{-2}), la corrente viene misurata come una velocità (ad es. ms^{-1})
- Possiamo convertire lo sforzo di taglio in una velocità di taglio (*shear velocity*):
$$u_* = (\tau_0 / \rho)^{1/2} \text{ oppure } \tau_0 = \rho u_*^2$$
- da notare ancora una volta che $\tau_0 \propto u_*^2$



La legge del “muro”

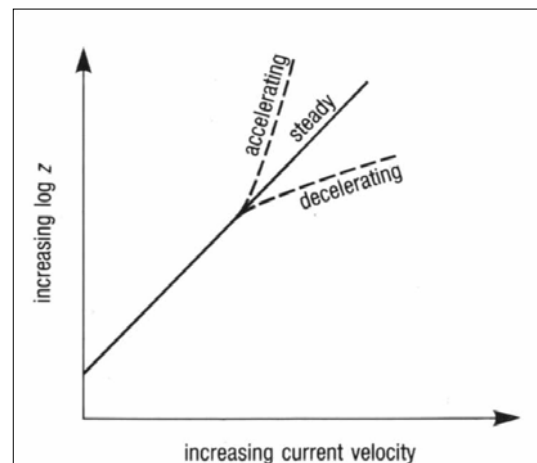
- La velocità ad una certa profondità è in relazione con il gradiente di velocità tramite la formula:

$$u_* = (d\langle u \rangle / d\log z)^{1/5.75}$$

per usarla si deve plottare la profondità su scala \log_{10}

Esistono i profili logaritmici ?

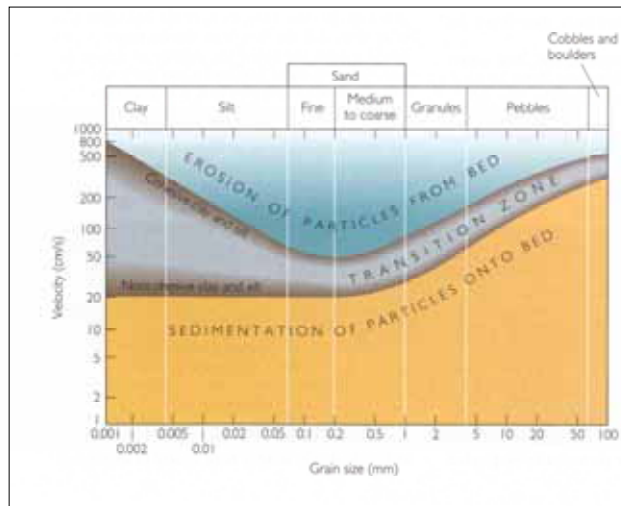
- Dipende se le correnti non sono stazionarie
- Dipende dalla ‘rugosità’ del fondo
- Dipende se c’è stratificazione di H_2O





Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Mobilità del sedimento

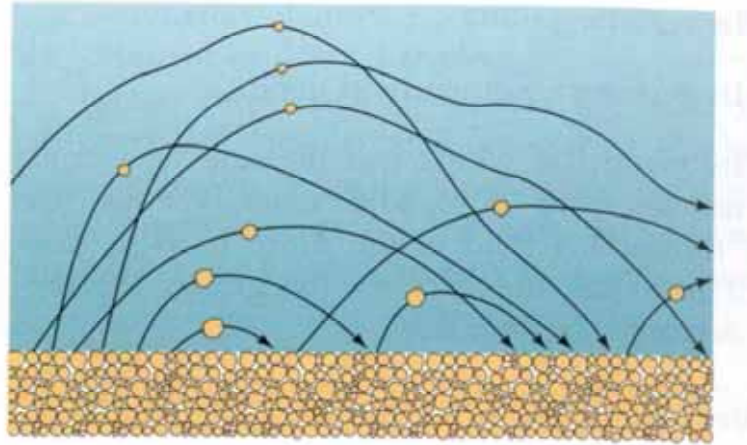


Le scale granulometriche

- Dimensioni in mm
- Dimensioni in ϕ dove $\phi = -\log_2(\text{mm})$
- Scala di Wentworth (ghiaia, sabbia, fango)

| MILLIMETRI | MICRON | SCALA ϕ | CLASSI GRANULOMETRICHE (Wentworth) | |
|------------|--------|--------------|------------------------------------|-------------|
| 4096 | | -12 | | |
| 256 | | -8 | Blocchi | GHIAIA |
| 64 | | -6 | Ciotoli | |
| | | | Ciotoletti | |
| 4.00 | | -2 | Granuli | SABBIA |
| 3.36 | | -1.75 | | |
| 2.83 | | -1.50 | | |
| 2.38 | | -1.25 | | |
| 2.00 | 2000 | -1 | | |
| 1.68 | | -0.75 | Sabbia molto grossa | |
| 1.41 | | -0.50 | | |
| 1.19 | | -0.25 | | |
| 1.00 | 1000 | 0 | Sabbia grossa | |
| 0.84 | | 0.25 | | |
| 0.71 | | 0.50 | | |
| 0.59 | | 0.75 | | |
| 0.50 | 500 | 1 | Sabbia media | |
| 0.42 | 420 | 1.25 | | |
| 0.35 | 350 | 1.50 | | |
| 0.30 | 300 | 1.75 | | |
| 0.25 | 250 | 2 | Sabbia fine | |
| 0.210 | 210 | 2.25 | | |
| 0.177 | 177 | 2.50 | | |
| 0.149 | 149 | 2.75 | | |
| 0.125 | 125 | 3 | Sabbia molto fine | |
| 0.105 | 105 | 3.25 | | |
| 0.088 | 88 | 3.50 | | |
| 0.074 | 74 | 3.75 | | |
| 0.0625 | 62.5 | 4 | | |
| 0.053 | 53 | 4.25 | Silt grosso | SILT (fine) |
| 0.044 | 44 | 4.50 | | |
| 0.037 | 37 | 4.75 | | |
| 0.031 | 31 | 5 | Silt medio | FANGO |
| 0.0156 | 15.6 | 6 | Silt fine | |
| 0.0078 | 7.8 | 7 | Silt molto fine | |
| 0.0039 | 3.9 | 8 | | |
| 0.0020 | 2 | 9 | | |
| 0.00098 | 0.98 | 10 | ARGILLA | |
| 0.00049 | 0.49 | 11 | | |
| 0.00024 | 0.24 | 12 | | |

Tipo di trasporto di fondo



La legge di caduta verticale o legge di Stokes

$$v = CD^2$$

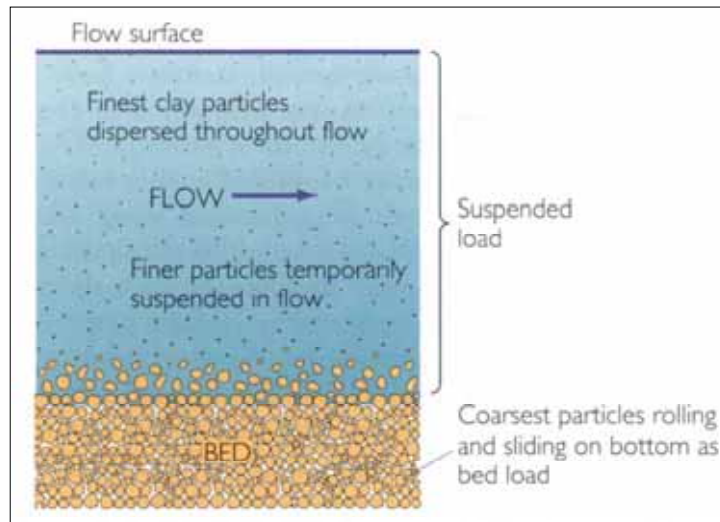
$$C = (d_s - d_f)g / 18\mu$$

- $d_s = 2.65 \text{ g/cm}^3$ (nel caso di quarzo)
- d_s = densità dell'acqua distillata (dipende dalla temperatura)
- μ = viscosità dell'acqua distillata (dipende dalla temperatura)
- D = diametro della sfera in cm

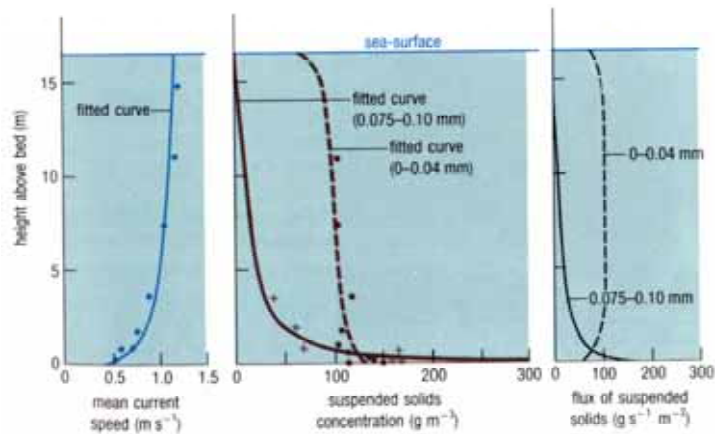


Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Trasporto sulla colonna d'acqua



Tassi di trasporto sedimentario





Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Sedimento



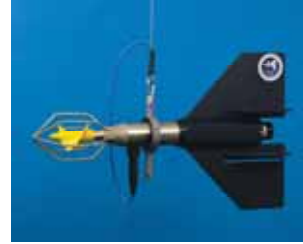
Correntometri elettromagnetici



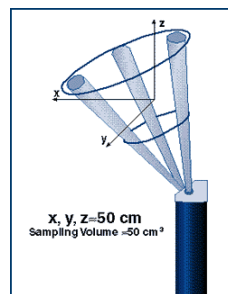


Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Correntometri meccanici



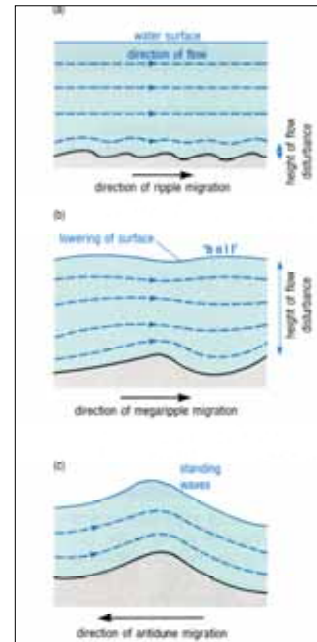
Correntometri acustici



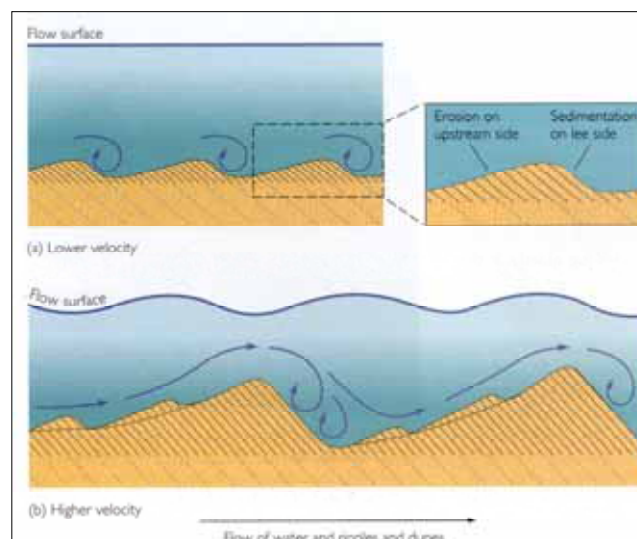
Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Forme di fondo: mobilità

- All'aumentare delle velocità aumenta il disturbo sul livello medio dell'acqua
- Si può arrivare alla formazione di un'onda stazionaria sulla forma di fondo che comincia a migrare in senso opposto alla direzione di flusso



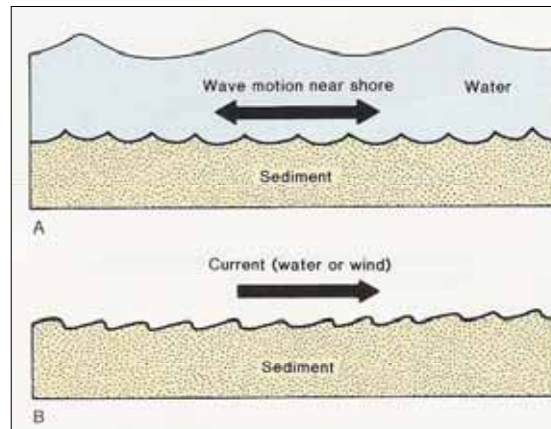
Forme di fondo: scale e X-stratificazione



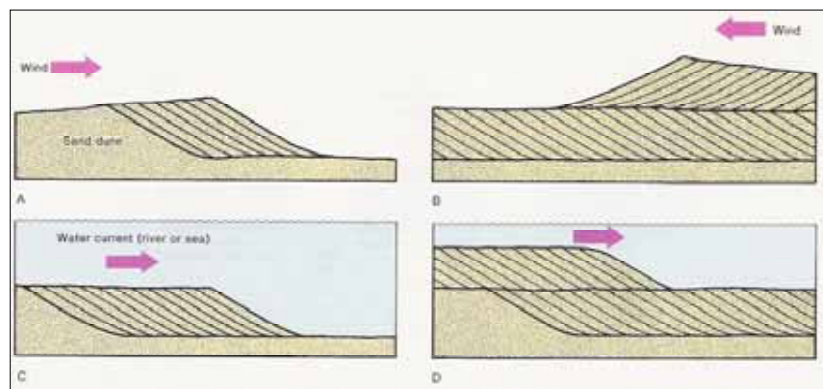


Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Ripples da onda e da corrente



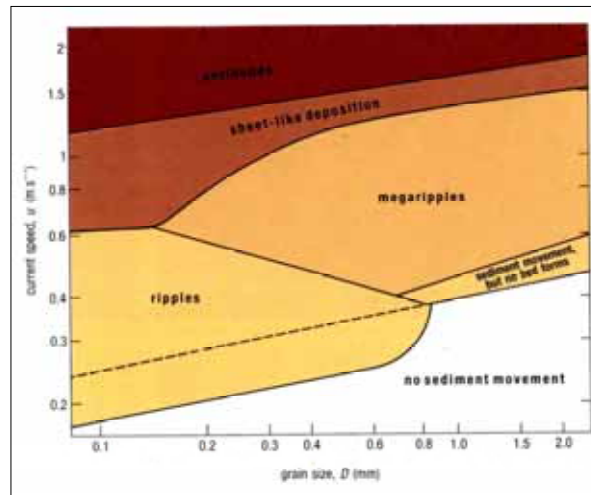
Stratificazione incrociata





Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Forme di fondo: granulometria



Correnti costiere e deriva litoranea



Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Introduzione

- Schematicamente possiamo immaginare che il segnale di corrente nella zona del surf sia risultante dall'interazione di più componenti

$$u = u_w + u_t + u_a + u_o + u_i$$

Dove:

u_w = componente stazionaria generata dalla frangenza delle onde

u_t = corrente generata dalla marea

u_a = corrente generata dal vento

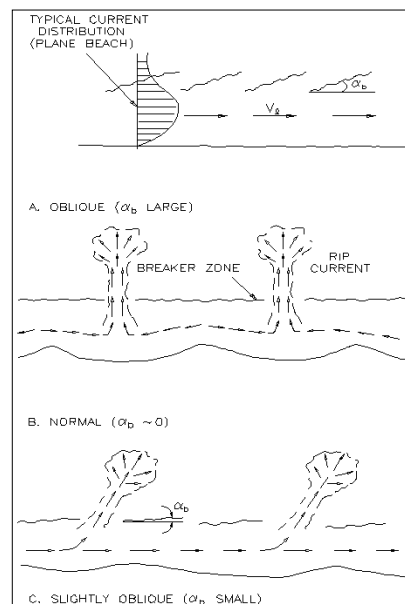
u_o = corrente generata dall'onda da vento incidente

u_i = corrente generata dall'onda dalle onde infragravitazionali

- La media di un segnale campionato dà la componente stazionaria, la variazione oscillatoria su breve periodo dà la componente da moto ondoso incidente, quella di lungo periodo dà la componente infragravitazionale

Sistemi di circolazione nearshore

- a) Sistema con dominante corrente lungocosta (fronti d'onda obliqui)
- b) Sistema a celle simmetriche, con correnti lungocosta e con generazione di rip-currents verso mare (fronti d'onda paralleli a riva)
- c) Sistema a celle asimmetriche, con generazione di rip-currents verso mare con inclinazione laterale (fronti d'onda obliqui)



Corso di formazione in “Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche”

Il concetto dello sforzo radiale (radiation stress)

- Se assumiamo che esista un'omogeneità lungocosta e un effetto del vento trascurabile applicando la teoria d'onda lineare si può calcolare:

$$S_{rp} = \frac{\rho}{8} g H^2 \cos \alpha \sin \alpha$$

n esprime il rapporto tra la velocità di gruppo e la celerità

- La prima soluzione analitica al problema è venuta da Longuet-Higgins nel 1970 con:

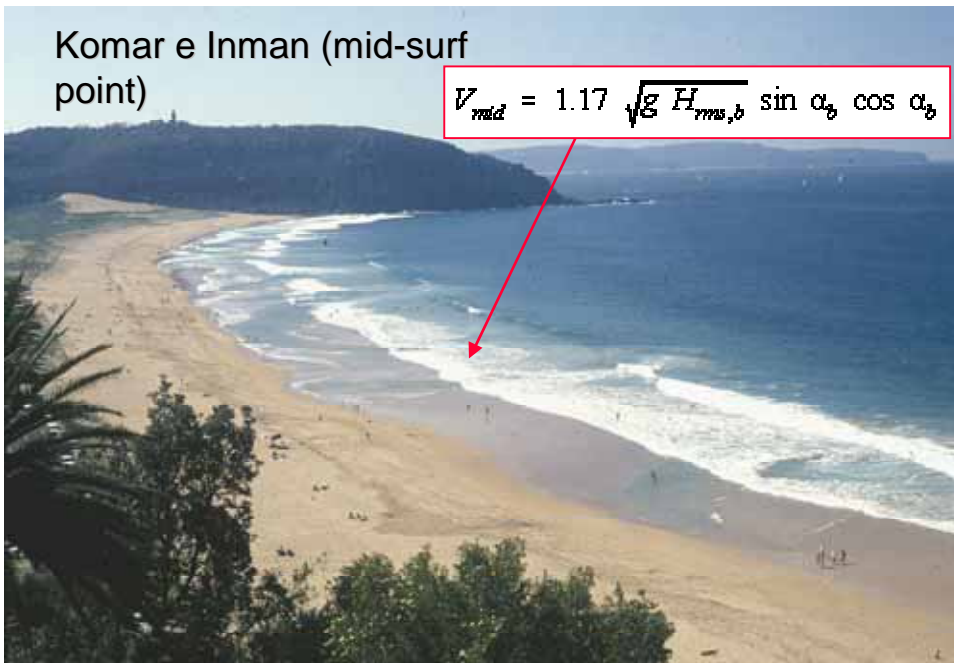
$$V = \frac{5\pi}{16} \frac{\tan \beta^*}{C_f} \gamma_b \sqrt{gd} \sin \alpha \cos \alpha$$



V = velocità corrente lungocosta
 $\tan \beta^*$ = pendenza della spiaggia considerando il set-up = $\tan \beta / (1 + (3\gamma_b^2/8))$
 C_f = coefficiente di attrito col fondo (0.005-0.01)
 α = angolo tra la cresta e l'isobata

Komar e Inman (mid-surf point)

$$V_{mid} = 1.17 \sqrt{g H_{rms,b}} \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

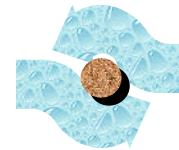




Il tasso di trasporto “immerso”

- Inman and Bagnold (1963) hanno espresso il tasso di trasporto ricordandoci che ci troviamo in un fluido:

$$I_l = g(\rho_s - \rho)(1-p)Q$$



dove ρ_s la densità della sabbia, ρ è la densità dell'acqua marina, p è la porosità della sabbia (0.4) e Q è il trasporto espresso come volume. Se usiamo le unità del sistema MKS per la densità [kg m^{-3}] ed il volume [m^3], (I_l) risulterà in [Newton sec^{-1}].

Tasso di trasporto “potenziale”

- Energia Totale di Bagnold (1963)
- Del flusso di energia CERC (1984)

$$I_l = K'(ECn)_b \cos \alpha V_l u_m^{-1} \quad I_l = K(ECn)_b \sin \alpha_b \cos \alpha_b$$

dove (E) è l'energia totale dell'onda ($1/8\rho gH^2$), (Cn) la velocità di gruppo delle onde, (α) l'angolo di incidenza dell'onda, (V_l) la velocità media della corrente lungocosta, (u_m) la massima velocità orbitale dell'onda.

N.B. Tutto è riferito ai frangenti



Corso di formazione in "Analisi e gestione della fascia costiera della Regione Marche"

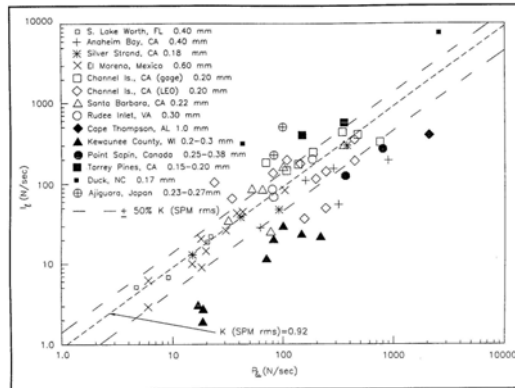
Che calibrazione usare?

CERC (1984)

- Se usiamo l'onda quadratica media H_{rms}
- $K=0.77$

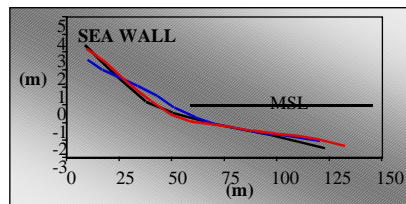
CERC (1998)

- $\pm 50\%$ errore
- $K=0.92$ per H_{rms}
- Importanza della granulometria ?



Come misurare ?

•Profili



•Trappole



•OBS

•Variazioni volumetriche



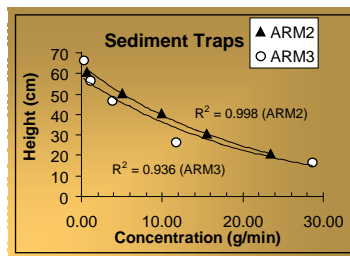
•ABS



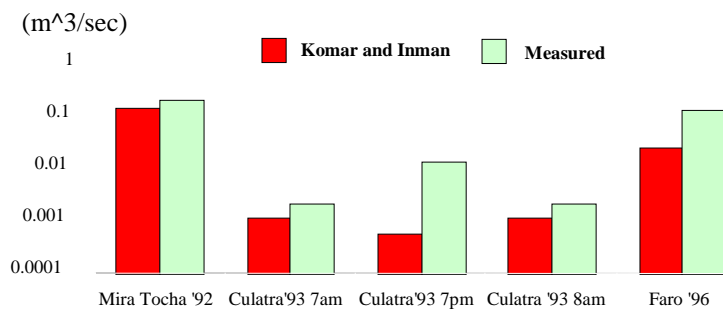
•Traccianti

Trappole per sedimento

- Informazioni dirette sulla quantità di sedimento
- Misura granulometrie



La formula del CERC



- Per condizioni di energia da bassa a media il valore di K_{rms} è maggiore di 0.77 (SPM 1984). Un valore di $0.92 \pm 50\%$ sarebbe più corretto (SPM 1998).
- Per condizioni di alta energia mancano dati.