

# SEDIMENTOLOGIA

*Presentazione a cura di Ester Colizza*



La **sedimentologia** è lo studio dei processi di formazione, trasporto e deposizione di materiale che si accumula come sedimento in ambienti marini e continentali ed eventualmente poi si trasforma in roccia

formazione, trasporto e deposizione di materiale

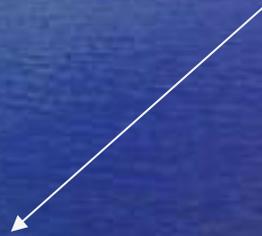
La deposizione si ha quando il mezzo che trasporta rallenta il suo movimento fino a che non riesce più a sostenere il carico che trasporta – o cessa del tutto.

**Struttura sedimentaria** → l'insieme dei granuli che costituiscono una roccia si sedimenta in modo diverso a seconda delle diverse condizioni fisiche. I diversi modi di sedimentarsi si traducono in differenti tipi di stratificazione. La stratificazione è la più tipica struttura delle rocce sedimentarie. Per interpretare le strutture sedimentarie che caratterizzano le rocce ricorriamo all'osservazione dei processi di sedimentazione che agiscono attualmente (applicazione dell'**Attualismo**).

Strutture deposizionali – erosionali – fisiche – chimiche - biogeniche

# STRUTTURE SEDIMENTARIE DEPOSIZIONALI

- Storia deposizionale del sedimento



- Processo o agente dinamico per la "messa in posto"



Correnti – onde – frane – organismi .....

SCOPO: RICOSTRUIRE LE MODALITA' IN CUI VENTO, ACQUA  
ECC HANNO TRASPORTATO E DEPOSTO IL MATERIALE

# IL TRASPORTO SEDIMENTARIO

Molto del trasporto di sedimenti (la così detta frazione clastica) è di tipo **meccanico** (essenzialmente sospensione, rotolamento, saltazione).

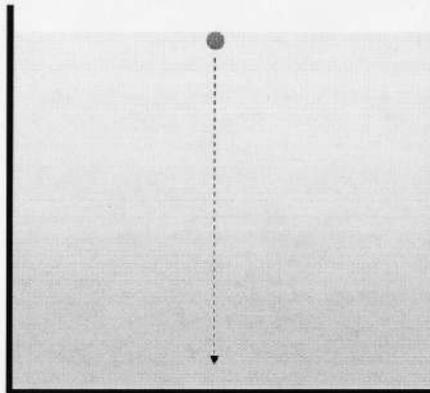
Il trasporto meccanico è regolato dalla **meccanica dei fluidi**

Il problema del trasporto è complesso ed ha due aspetti fondamentali: la **meccanica dei fluidi** e **l'interazione fluido-sedimento** (comportamento di un sistema misto).

# DINAMICA DEI FLUIDI (CENNI)

Come si comporta una particella solida all'interno di un fluido in condizioni  
**STATICHE ?**

(senza movimento del fluido stesso)

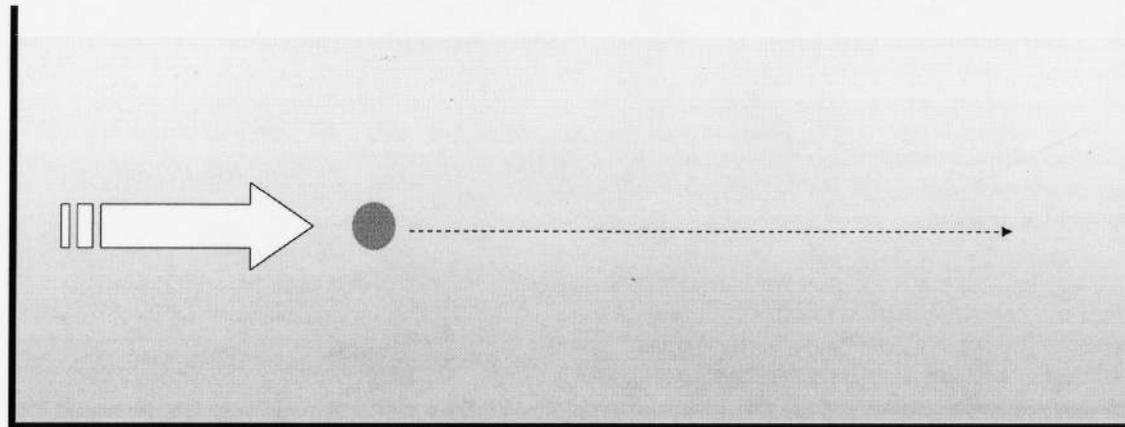


Il moto della particella è regolato dalla **LEGGE di STOKE**, che recita:

*Una sfera immersa in un fluido viscoso, fermo ed indefinito, e abbandonata a se stessa senza velocità iniziale, per effetto della gravità cade con moto inizialmente accelerato. Se il diametro della sfera è abbastanza piccolo così che nella sua caduta essa non provochi la formazione di scie vorticose (regime lamellare), la sfera raggiunge una velocità di regime alla quale si equilibrano la resistenza del mezzo e la forza motrice, proseguendo la sua caduta con moto uniforme.*

Tale condizione è fondamentale per le particelle molto fini ( per esempio particelle pelitiche in momentanea sospensione in colonne d'acqua in assenza di idrodinamismo; es.: zone lacustri o paludi)

**Come si comporta una particella solida all'interno di un fluido in condizioni DINAMICHE ?**  
(fluido in movimento)



Il moto della particella è regolato dalla combinazione di due principali forze:

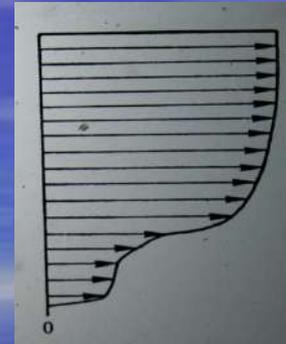
La **FORZA INERZIALE** ( $F_r$ ) e la **FORZA VISCOSA** ( $F_\mu$ )

Il rapporto tra questi due fattori si chiama **NUMERO DI REYNOLD** ( $Re$ )

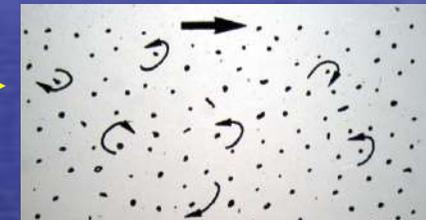
$$Re = F_r / F_\mu$$

Il moto dei fluidi avviene in due modi differenti

Flusso laminare  
(laminar flow)



Flusso turbolento  
(turbulent flow)

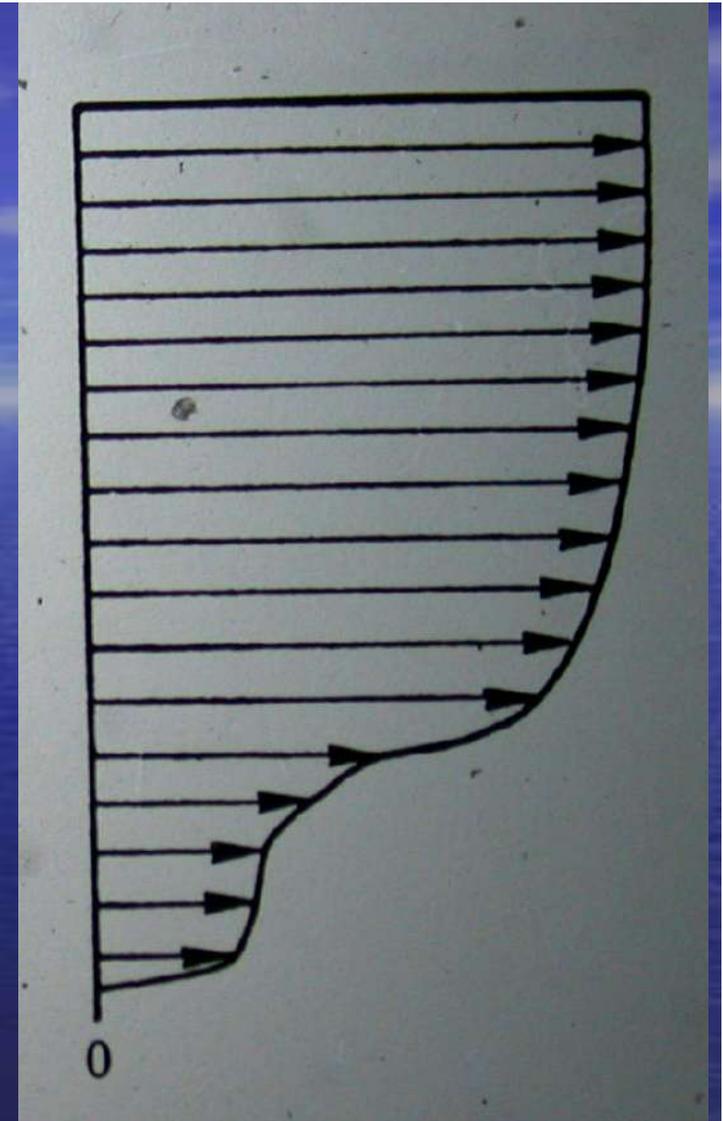
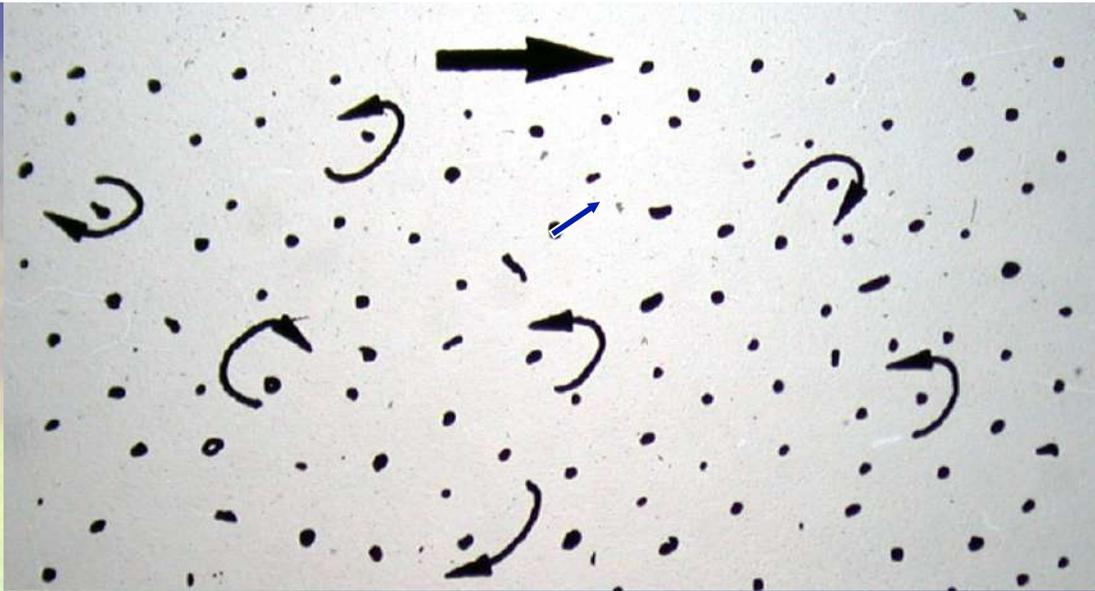


Il passaggio dal flusso laminare a quello turbolento è previsto dal numero di Reynolds  $Re = v \times L / \mu$  dove  $v$  è la velocità della corrente,  $L$  la profondità del condotto fluviale e  $\mu$  la viscosità del fluido. Tale numero esprime quindi il rapporto tra le forze inerziali ( al numeratore ) e quelle viscosi al denominatore. Con  $Re$  piccolo il flusso è laminare, quando  $Re$  raggiunge il valore critico (da 500 a 2000) comincia il flusso turbolento

- Tutti i flussi naturali di aria che possono trasportare in sospensione sono TURBOLENTI
- I flussi di acqua sono LAMINARI solo alle velocità molto basse o a profondità d'acqua ridotte →→ flussi TURBOLENTI sono più comuni nei processi di trasporto e deposizione di sedimenti in ambiente acquoso

Es di flussi laminari (flussi molto lenti o con profondità molto ridotte, viscosità molto più elevata dell'acqua): debris flow, movimento ghiacciaio, flussi di lava

La più parte dei fluidi di acqua e aria capaci di trasportare grandi volumi di sedimento sono turbolenti e quindi si considera quasi sempre il flusso turbolento



## Shear stress

sforzo di taglio critico; cioè la forza minima che debbo applicare alla particella per metterla in movimento

## Strato limite:

quella porzione del condotto in cui la velocità della corrente è sensibilmente rallentata dall' attrito con il fondo

Flusso laminare e turbolento possono essere  
“TRANQUILLO” con superficie di acqua liscia  
O “RAPIDO” con superficie di acqua rugosa  
(piccole creste di onde)

Questi stati della corrente vengono descritti  
con il

**NUMERO di FROUDE**



*Parametro adimensionale che mette in relazione  
velocità della corrente con  
velocità delle onde nella corrente*

Regime di flusso inferiore o

subcritico  $Fr < 1$  *(un'onda può propagarsi sopra la corrente perchè viaggia più veloce della corrente)*

Regime di flusso superiore o

supercritico  $Fr > 1$  *(la corrente è più veloce dell'onda)*

Dove  $Fr$  rappresenta il numero di Froude  $Fr = u / \sqrt{gh}$   
dove  $u$  è la velocità,  $g$  l'accelerazione di gravità e  $h$  la profondità dell'acqua.

$Fr = 1$  la corrente è sufficientemente forte da spianare le forme di fondo

riassumendo

Messa in posto del sedimento



processo o agente dinamico



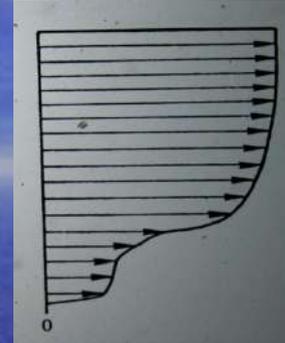
correnti (idriche o atmosferiche), onde, trasporti di massa, frane,  
pressione di carico, organismi, risalite di fluidi,  
risucchi di sedimento verso il basso, caduta di pioggia o grandine....

SCOPO:

**RICOSTRUZIONE MODALITA' DI MESSA IN POSTO**

# Il moto dei fluidi avviene in due modi differenti

Flusso laminare →



Movimento parallelo  
nella direzione del  
trasporto

Flusso turbolento →



Movimento caotico in  
tutte le direzioni ma un netto  
movimento nella direzione del  
trasporto

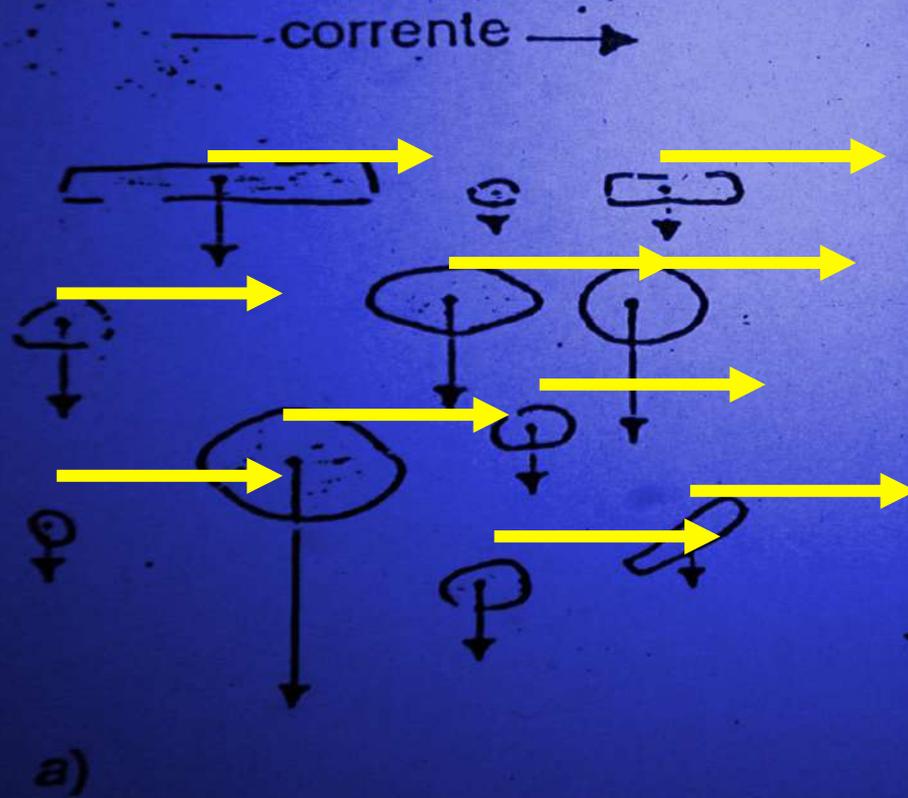
La più parte dei fluidi di acqua e aria capaci di trasportare grandi volumi di sedimento sono turbolenti e quindi si considera quasi sempre il flusso turbolento

A ciascuna tipologia di flusso sono riferibili specifiche forme di fondo.

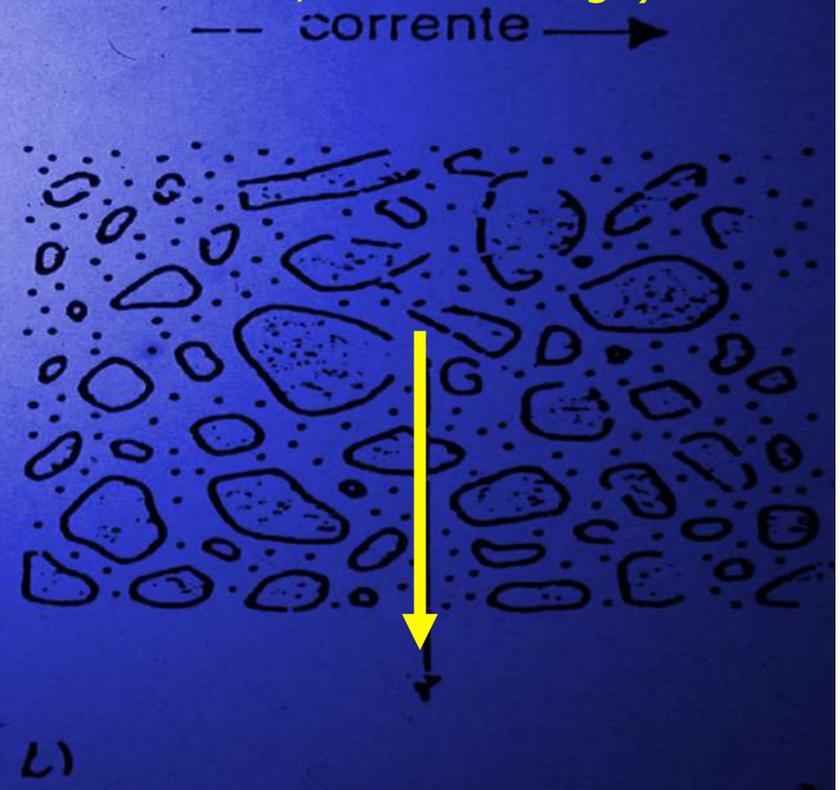
# RAPPORTO FLUIDO - SEDIMENTO

- fluido e granuli in esso contenuti si comportano come fasi distinte (→ flusso tipico o normale): la deposizione avviene come semplice separazione delle particelle solide → **trasporto particellare, selettivo** (granulo per granulo)
- solido e liquido hanno un comportamento d'insieme, come se si trattasse di un'unica fase fisica (*dispersione concentrata*) (→ flusso reologico): siamo davanti già ad uno “strato di sedimento in movimento” che si deposita semplicemente arrestandosi → **trasporto e deposito in massa.**

**Trasporto selettivo: deposito organizzato**  
(correnti marine; moto ondoso; correnti fluviali)



**Trasporto in massa: deposito massivo**  
(frane subaree e sottomarine, colate di fango)



Il trasporto sedimentario e sue  
modalità

# TRASPORTO SELETTIVO

- **CARICO DI FONDO** (ROTOLAMENTO, SALTAZIONE) → in genere per ghiaie e sabbie (**TRAZIONE**),
- **CARICO SOSPESO** (SOSPENSIONE) → solitamente silt e argilla (**DECANTAZIONE**)

processi selettivi suddivisi in **trattivi e decantativi**

trattivi

- **ROTOLAMENTO - TRASCINAMENTO** : le particelle si muovono rotolando/trascinate sul fondo del flusso di aria o di acqua senza perdere contatto con la superficie del letto (bed surface).

- **SALTAZIONE** : le particelle si muovono attraverso una serie di balzi (jumps), staccandosi quindi periodicamente dalla superficie e percorrendo un piccolo tratto nel corpo del fluido prima di ritornare a contatto con il letto.

decantativi

- **SOSPENSIONE** : quando la turbolenza entro il fluido produce sufficiente movimento le particelle si muovono nel fluido più o meno in modo continuato senza toccare il fondo.

# PROCESSI TRATTIVI

## CORRENTI TRATTIVE

(UNIDIREZIONALI UNISENSORIALI e UNIDIREZIONALI BISENSORIALI)

↙  
Es: fiume

↘  
Es: marea

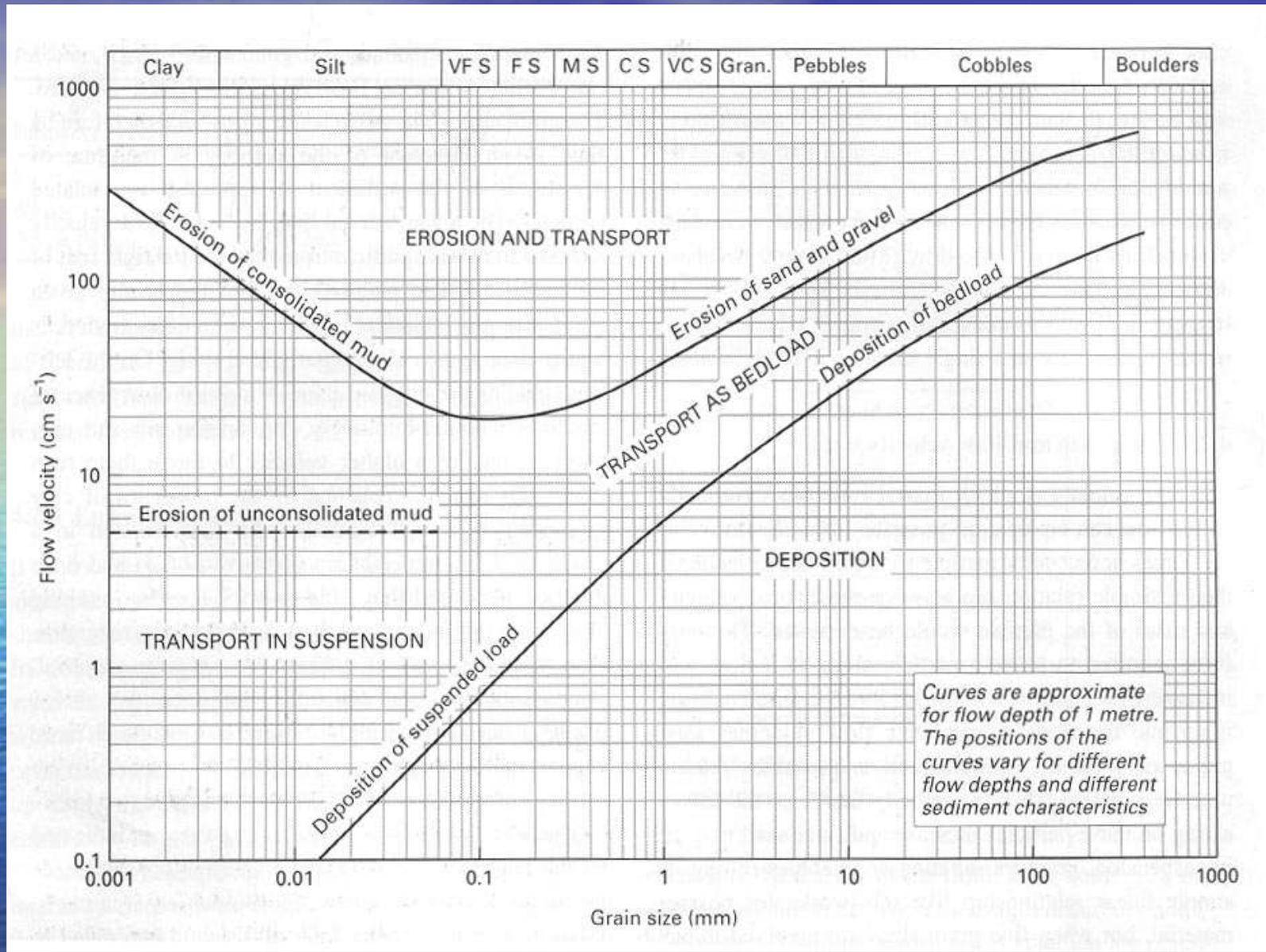
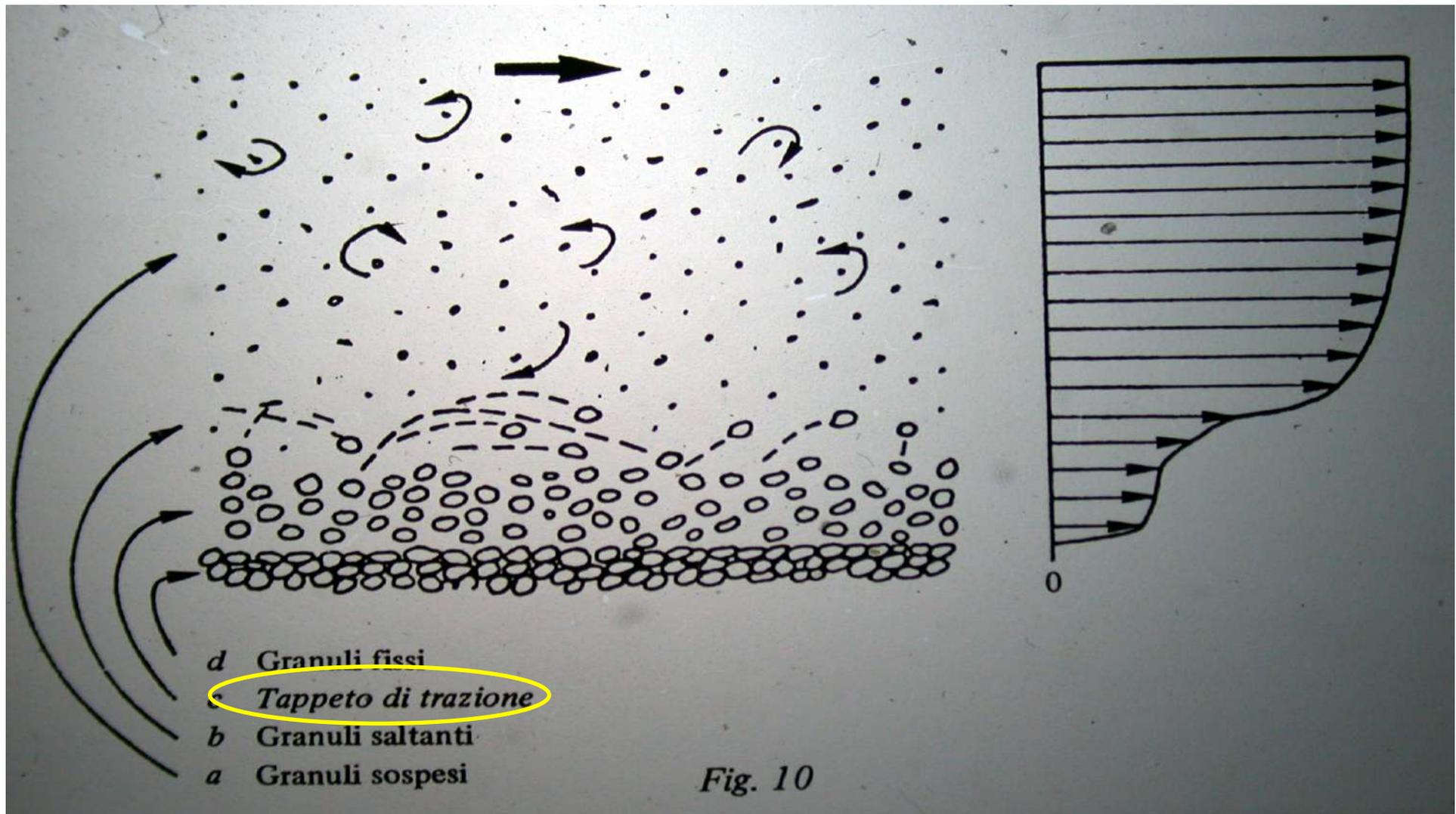


Diagramma di Hjulstrom e velocità critica d'erosione



## Modalità del trasporto sedimentario

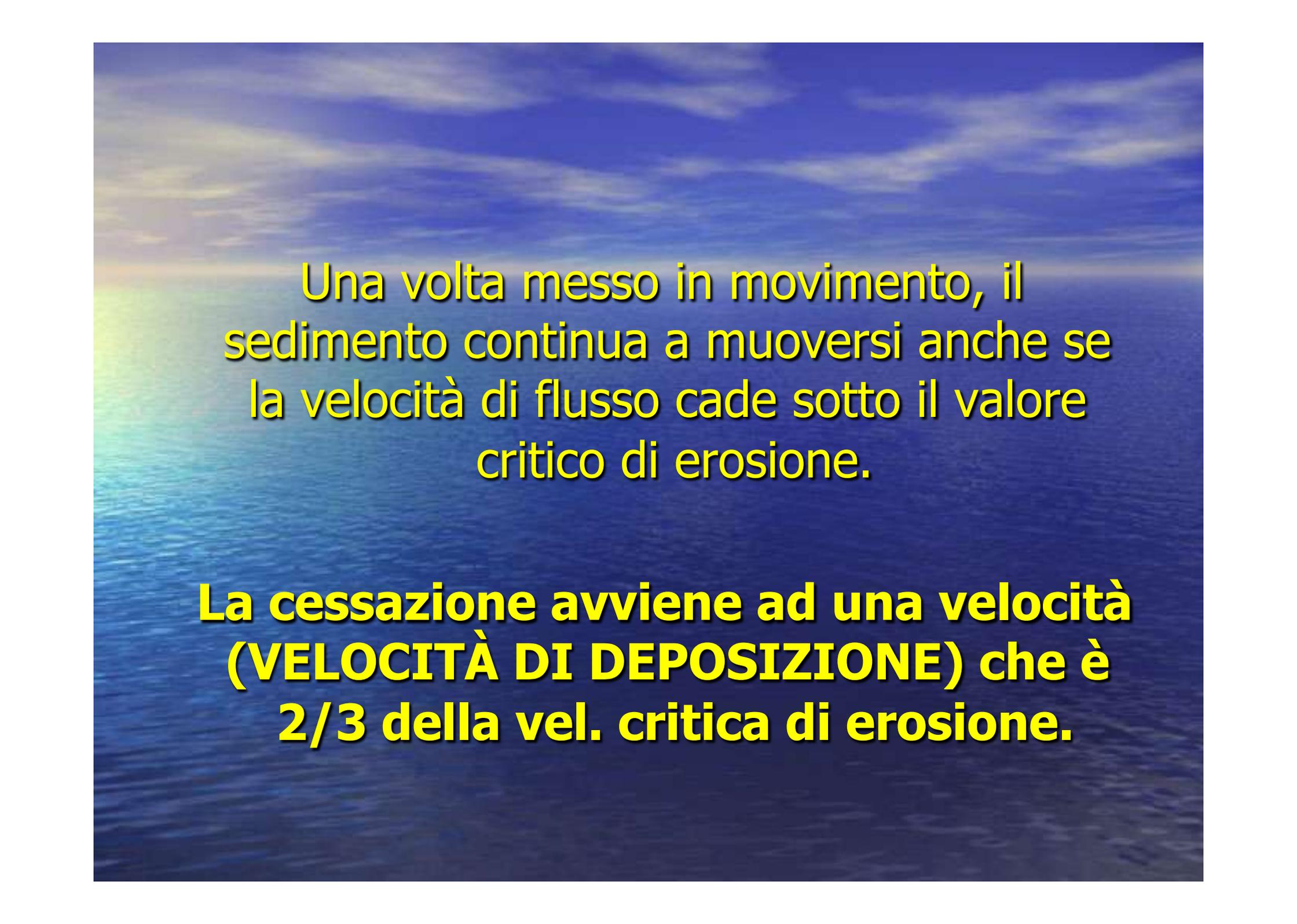
Le forme di fondo sono l'espressione di un processo trattivo che organizza i granuli in sottili "livelli" in movimento, che nell'insieme prendono il nome di **tappeto di trazione**.

**“evoluzione”** del movimento per correnti trattive  
a regime crescente (Kramer, 1932):

- trasporto nullo
- trasporto debole: un piccolo numero di granuli è messo in movimento
- trasporto moderato: granuli di dimensioni medie sono messi in movimento quasi ovunque sul fondo (la vel. critica di erosione di Hjulstrom)
- trasporto generale: tutti i granuli presenti sono in movimento



**cambiamento relativamente rapido nell'aspetto  
del fondo.**



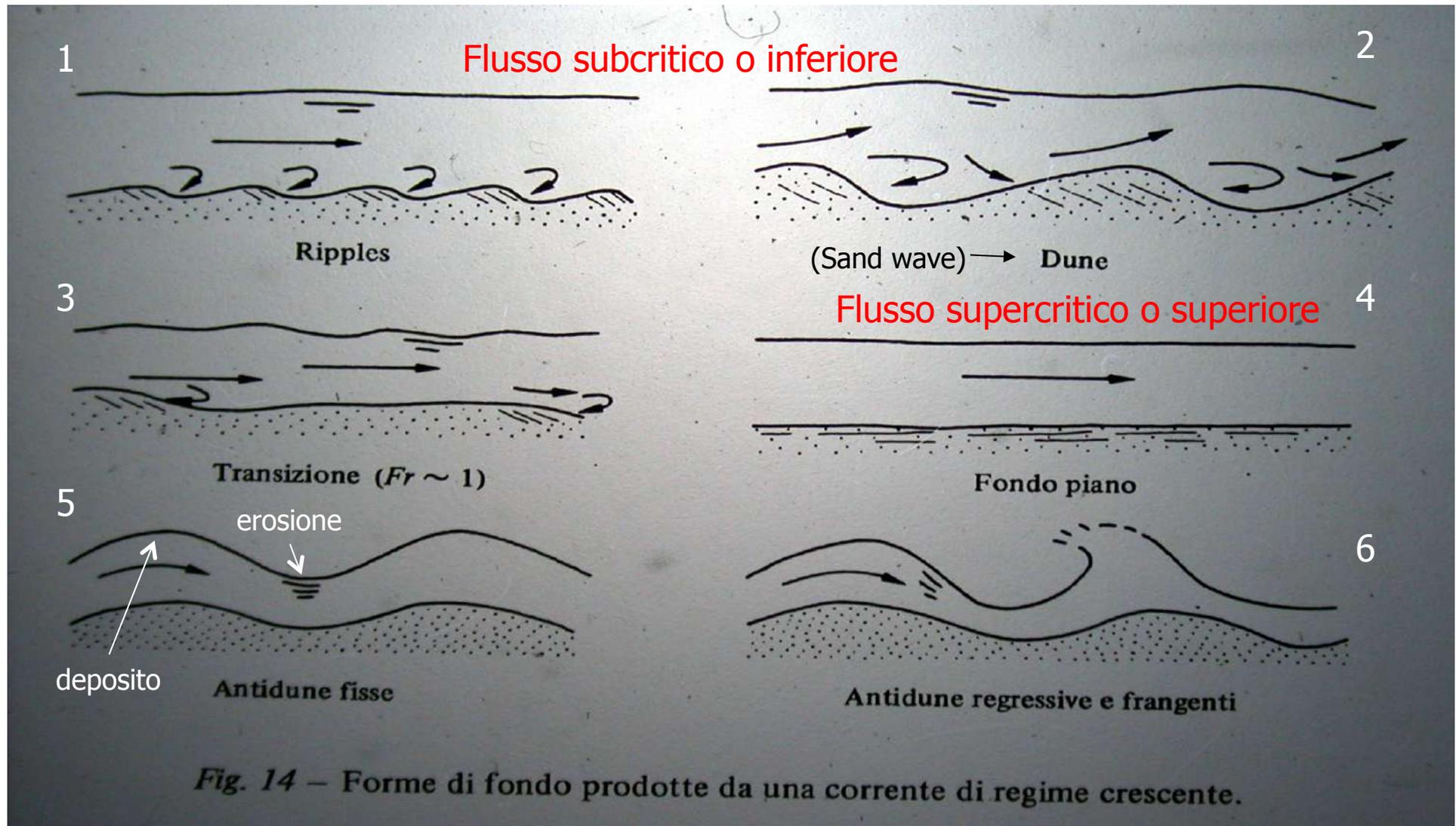
Una volta messo in movimento, il sedimento continua a muoversi anche se la velocità di flusso cade sotto il valore critico di erosione.

**La cessazione avviene ad una velocità (VELOCITÀ DI DEPOSIZIONE) che è  $2/3$  della vel. critica di erosione.**

L'azione trattiva provoca trasporto, ma anche modellamento del sedimento al fondo. Questo determina configurazioni o **forme di fondo (bedform)**

**FORMA DI FONDO (BEDFORM)** = struttura morfologica superficiale formata dall'interazione fra corrente (aria o acqua) e sedimento sul fondo

**STRUTTURA ASSOCIATA** = rapporto fra i sedimenti legato alla forma di fondo, cioè la struttura interna (per esempio stratificazione incrociata).



**Forme di fondo e regime della corrente  
(corrente trattiva a regime crescente)**

**SONO in genere FORME ASIMMETRICHE**

- **Current ripples:** sono le forme subacquee più piccole : regime subcritico

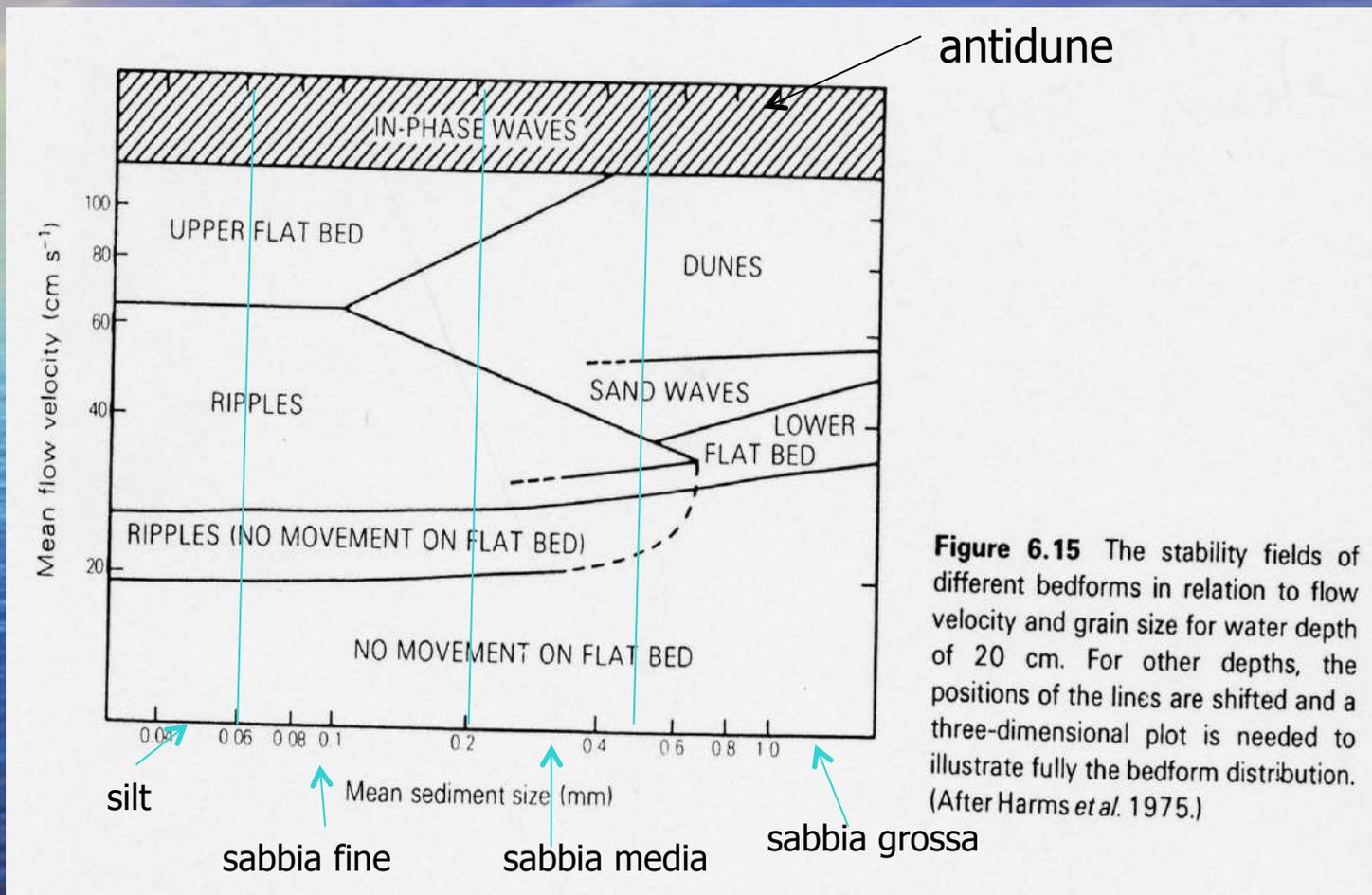
In proiezione orizzontale possiamo distinguere creste diritte (ripples bidimensionali, 2D) e creste irregolari (ripples tridimensionali, 3D).

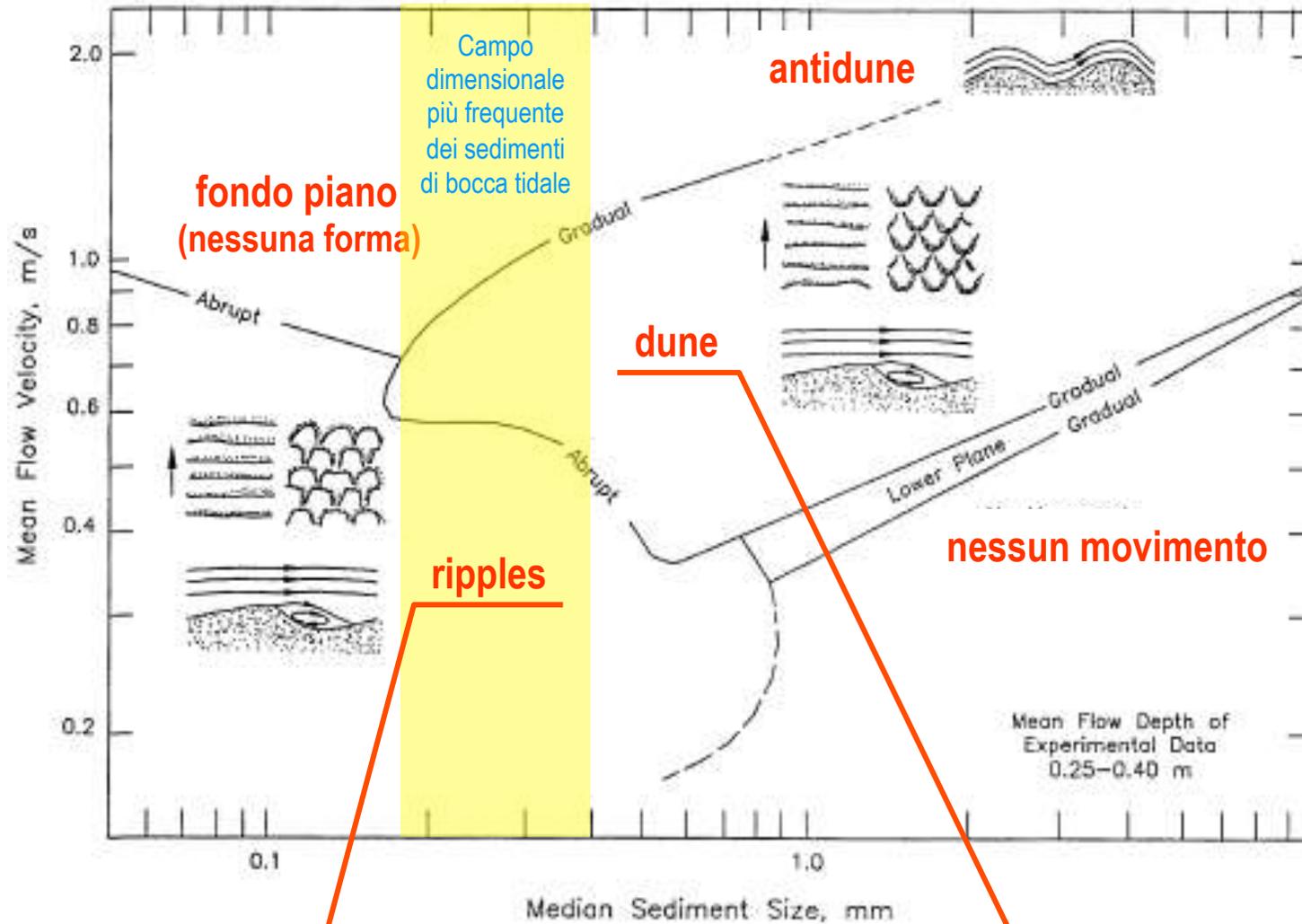
- **Sand wave:** Sono forme più grandi dei ripple: sono meno rilevate ed hanno creste più diritte. **Dune:** simili alle sand waves ma con cresta ondulata. Le dune sono di regime superiore rispetto alle sand waves (ma sempre subcritico)
- **Antiduna:** Sono simmetriche in sezione verticale con creste arrotondate. Si muovono in direzione opposta alla corrente e si sviluppano con correnti molto veloci e poco profonde e sono in fase con le onde di superficie. Si conservano molto difficilmente perché appena la velocità della corrente diminuisce tendono a trasformarsi in forme piane (**plane bed**) – regime supercritico
- **Plane beds:** Quando la corrente la superficie della sabbia diventa appiattita ed orizzontale. Questa forma è chiamata **plane bed o flat bed** e si ottiene con correnti molto veloci con conseguente rapido trasporto di sedimenti – regime supercritico

**Megaripple = correnti bisensoriali (onde)**

**Duna = correnti unisensoriali**

# granulometria - velocità della corrente - forma di fondo





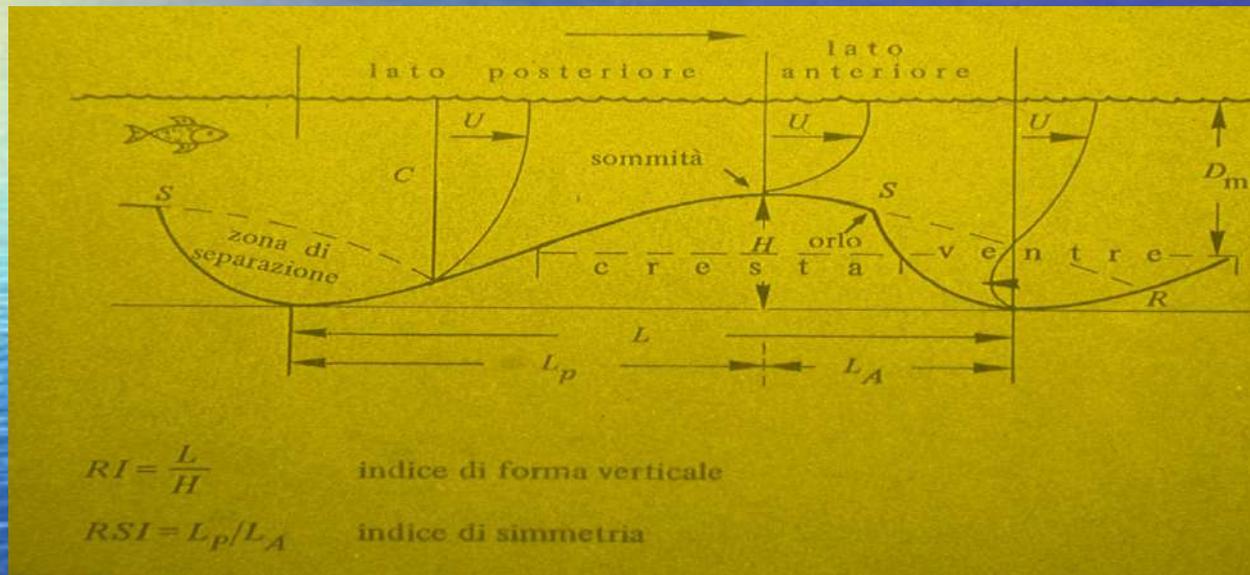


Forme di fondo  
ripples  
dune  
sand waves

# RIPPLES

forme trattive di piccole dimensioni che si formano in regime unidirezionale unisensoriale; comunemente sabbia medio fine e silt grossolano (<0.6 mm).

La forma è asimmetrica: la parte sopracorrente è più dolce (TRAZIONE e TRASPORTO), mentre la parte sottocorrente è più ripida (DEPOSITO).  $L/H$ = indice di forma verticale (tipo di flusso; granulometria)

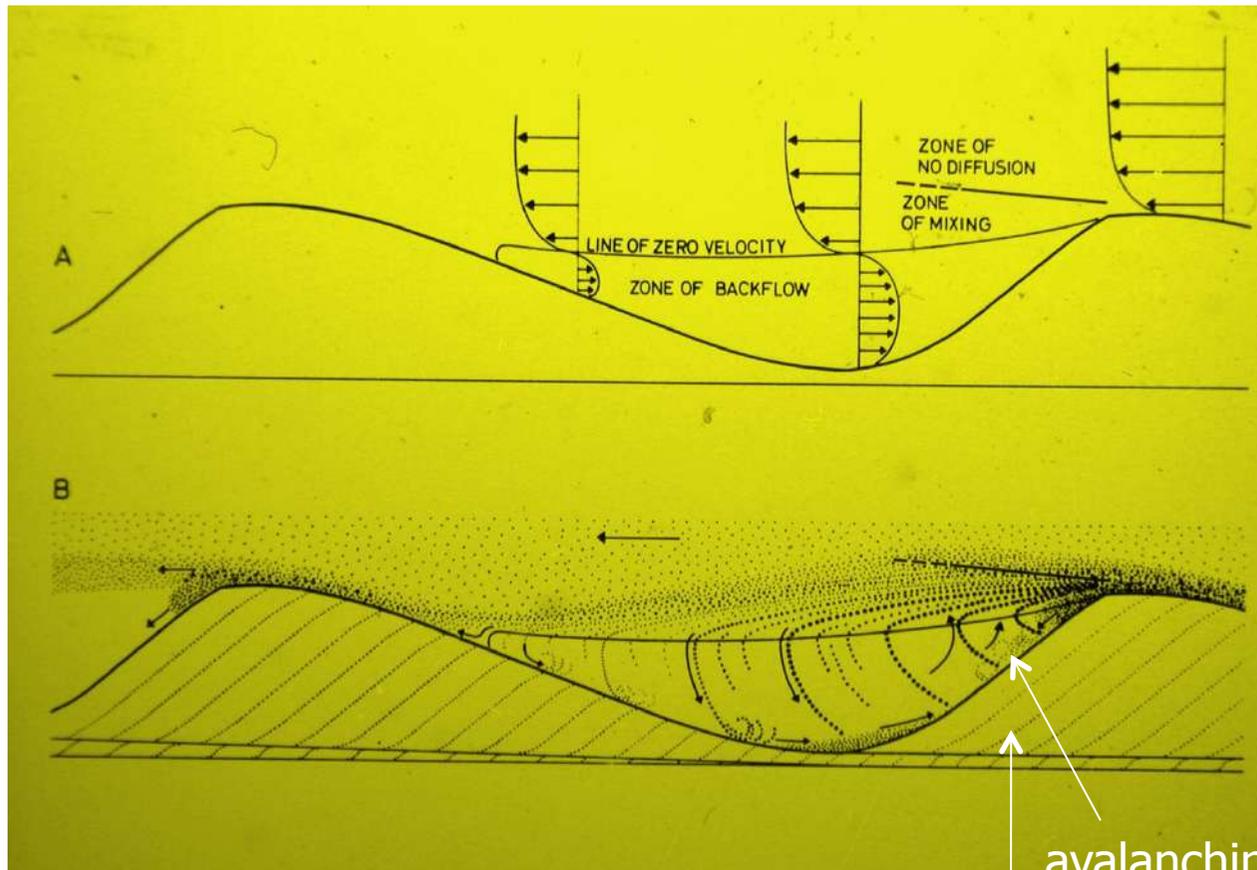


# DUNE

forme trattive  
asimmetriche; cresta  
ondulata; sabbia da  
fine a grossolana  
(>0.2 mm) . Spessore  
dei sets > 5 cm; L da  
60 cm a centinaia di  
metri; H 5 cm-10m

# SAND WAVES

forme trattive asimmetriche; cresta rettilinea; sabbia da fine a grossolana



Il lato frontale e l'intera struttura si accrescono e avanzano o migrano sottocorrente. Risultato di questa corrente trattiva è la messa in posto di laminae frontali → **FORESETS** (avanzamento dei ripples).

avalanching

laminae frontali (foresets): laminae oblique secondo un angolo di attrito legato a granulometria, forma e angolo di attrito interno

il nuovo angolo di riposo è quello più stabile per gravità e coincide con l'angolo della **stratificazione incrociata** che si vede in affioramento

# Geometria delle creste dei ripples

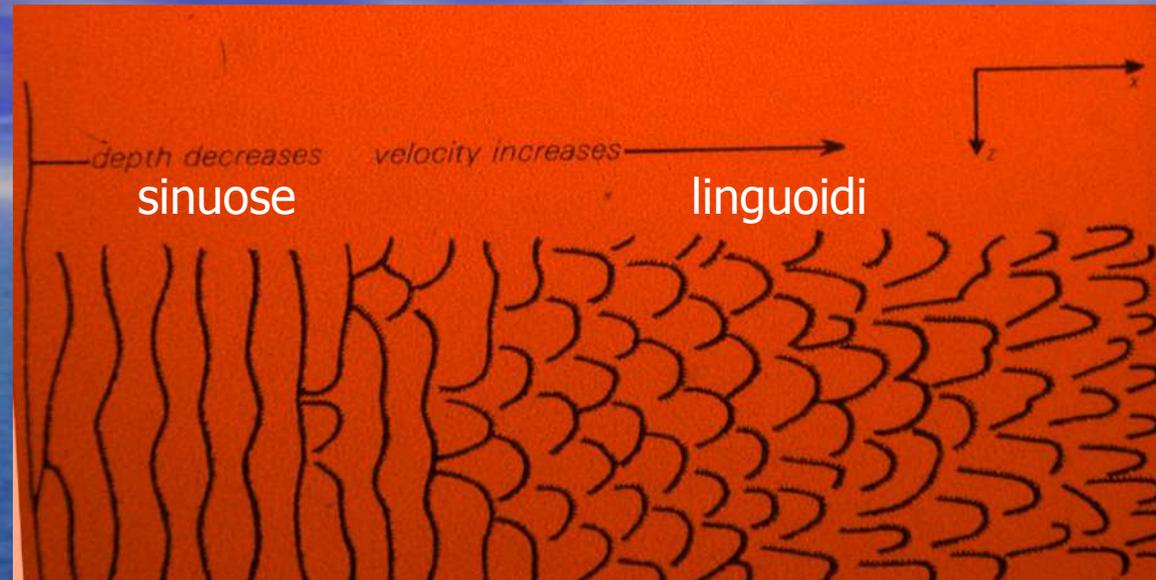


Fig. 43. Strongly undulatory small-current ripples, almost resembling the linguoid type. North Sea tidal flats

ripples



# Il lato sottovento di una duna



# Il lato sottovento di una duna



Campo di sand waves del Mare del Nord a creste rettilinee + ripples a 90°



# Dune del Mare del Nord a creste sinuose



# Dune gessose del Nuovo messico





**STRUTTURE ASSOCIATE**

La **stratificazione incrociata (CROSS BEDDING)** o **laminazione incrociata** (nel caso dei ripples) è la struttura sedimentaria che deriva dal “congelamento” di queste forme (generata quindi dalla migrazione frontale - **progradazione**)

PS: stratificazione incrociata perché c'è una discordanza angolare fra gli strati



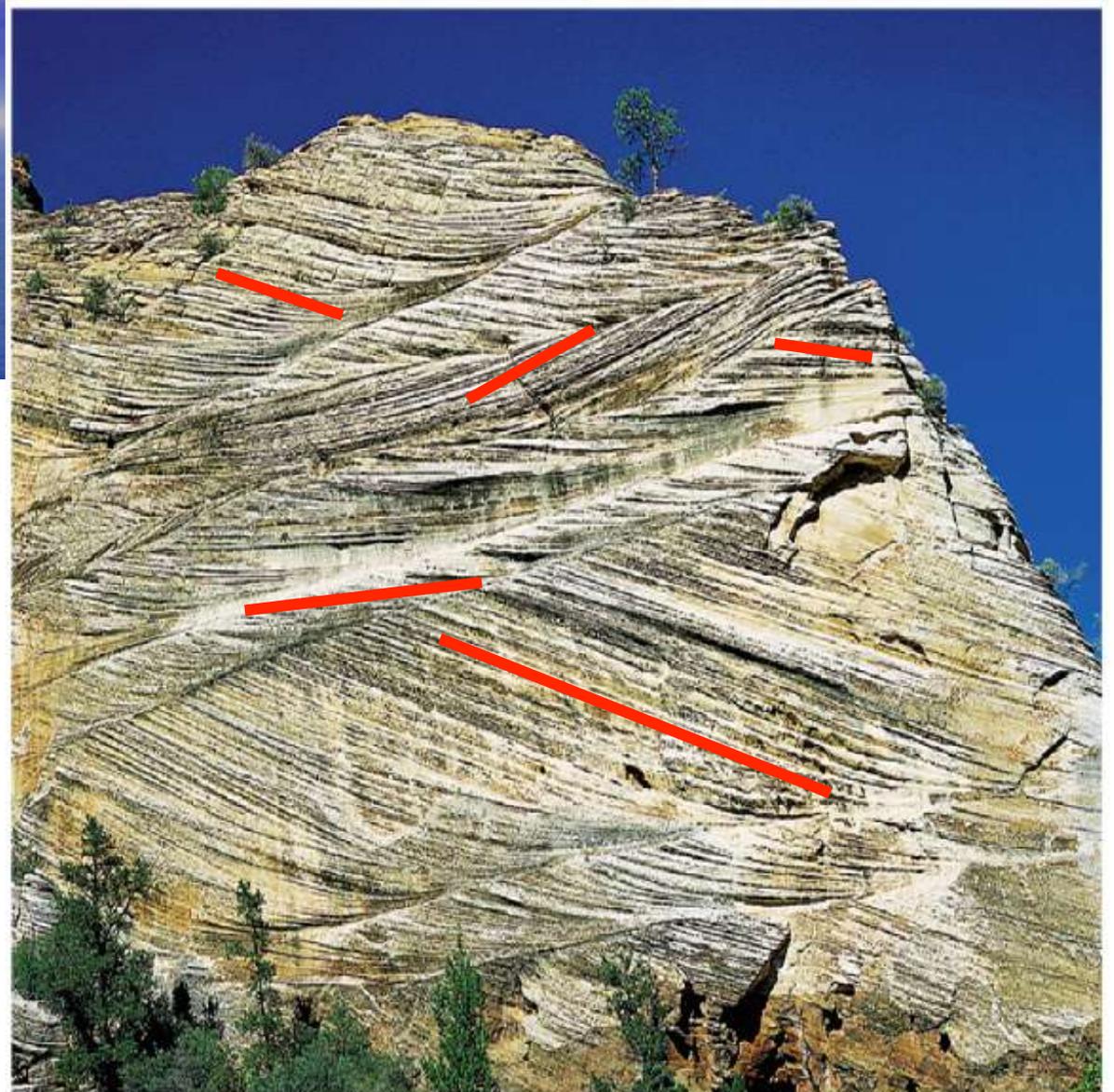
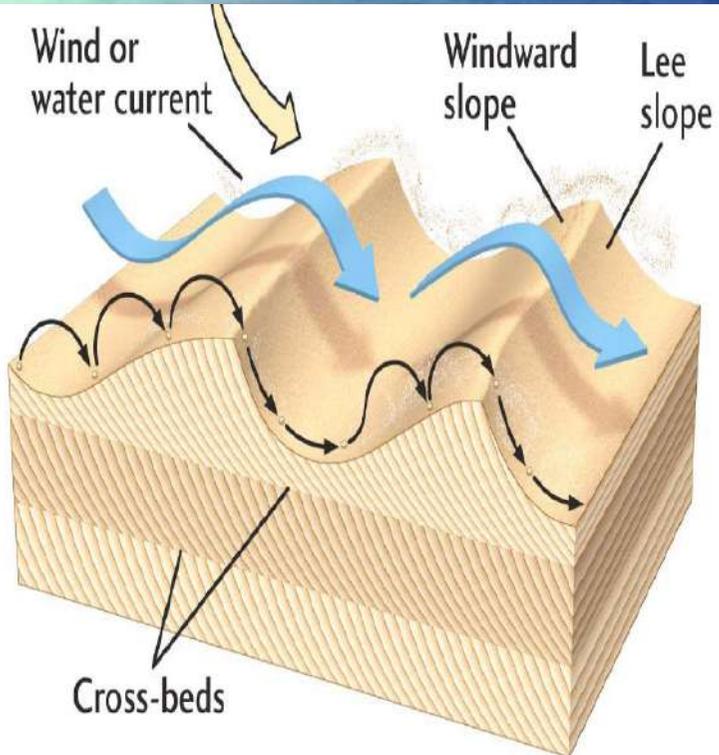
# Stratificazione incrociata **tabulare**

Cresta rettilinea; lamine frontali piatte;  
contatto basale NON erosivo;

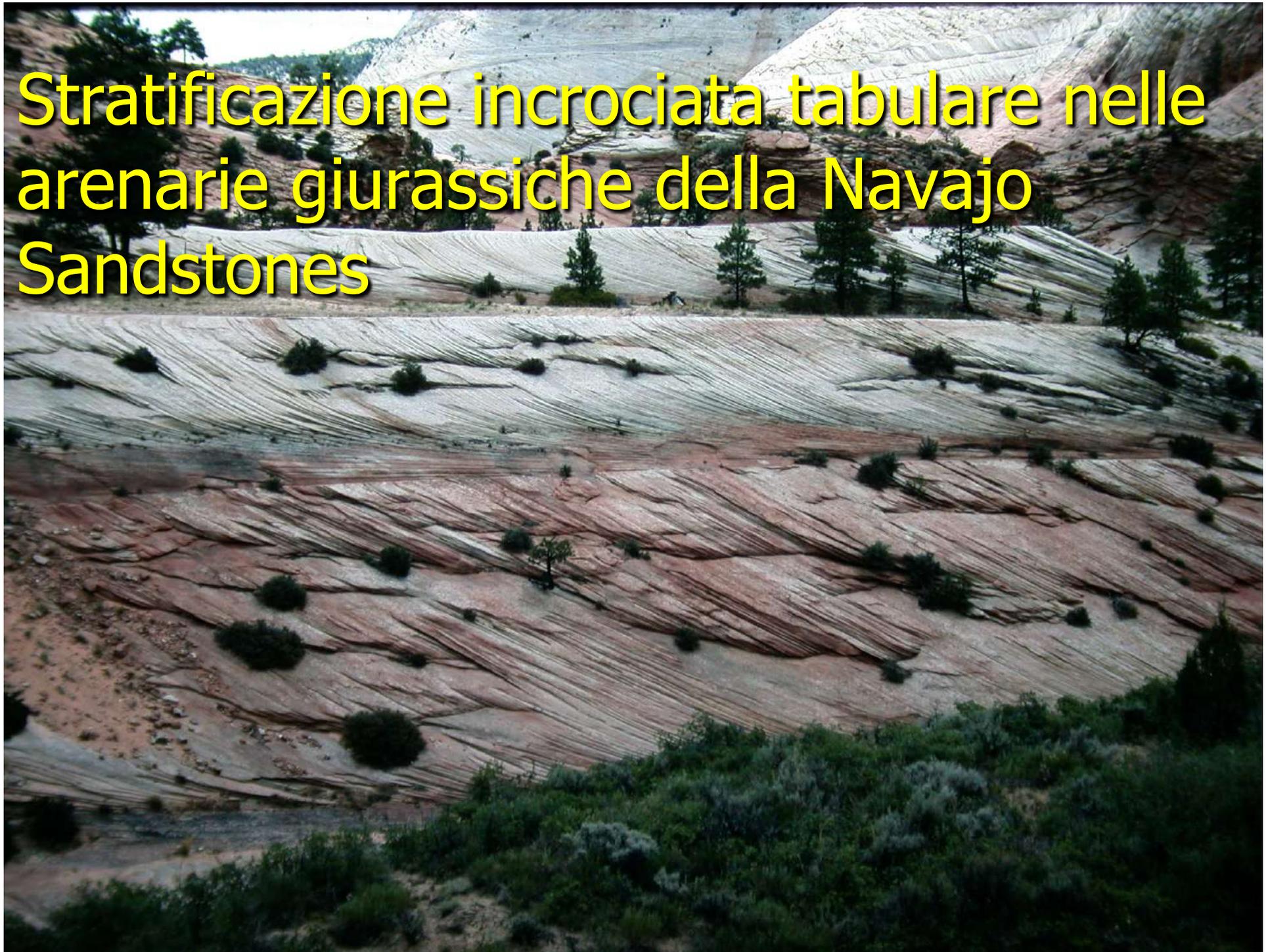
41. Block diagram showing cross-bedding produced by migration of straight-crested small-current ripples. The cross-bedded units are planar in character

Migrazione di ripple, dune ecc a corrente bassa; flusso uniforme

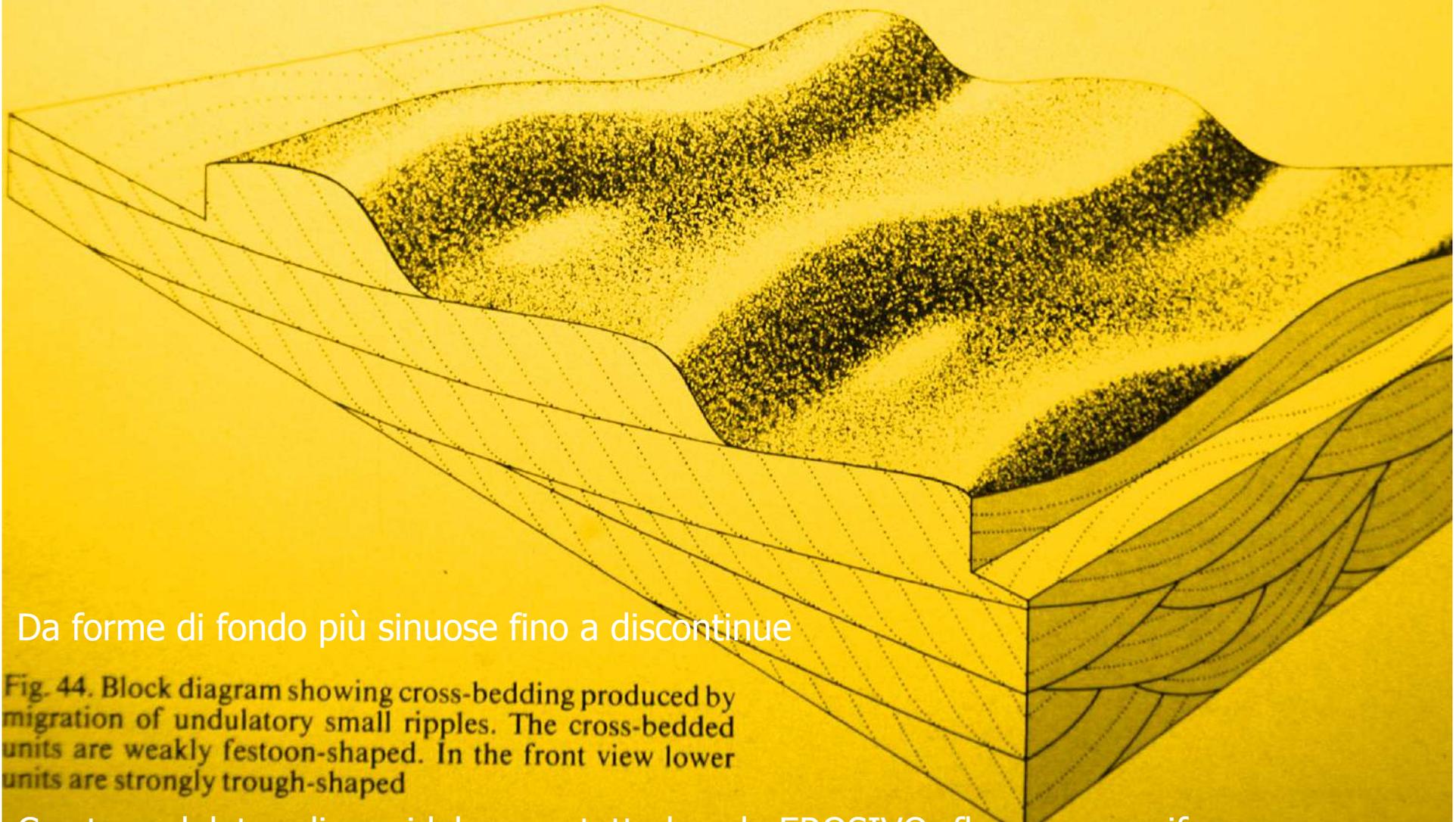
# DUNE



# Stratificazione incrociata tabulare nelle arenarie giurassiche della Navajo Sandstones



# Stratificazione incrociata a festoni (o concava)



Da forme di fondo più sinuose fino a discontinue

Fig. 44. Block diagram showing cross-bedding produced by migration of undulatory small ripples. The cross-bedded units are weakly festoon-shaped. In the front view lower units are strongly trough-shaped

Cresta ondulata o linguoidale e contatto basale EROSIVO; flusso non uniforme

Stratificazione incrociata a festoni sezionata secondo un piano ortogonale alla corrente. In evidenza la base erosiva e concava del festone



# Vista frontale di un festone



# ATTENZIONE:

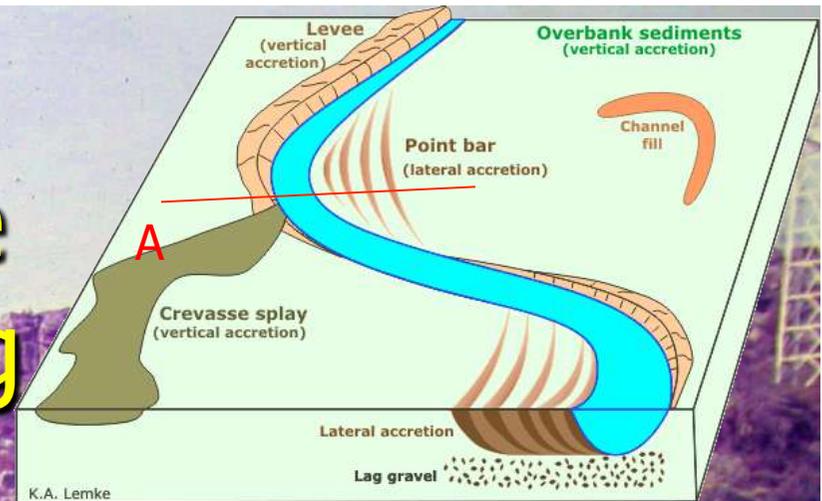
CROSS BEDDING: struttura data da migrazione di forme di fondo grandi come dune e sand waves

CROSS LAMINATION: struttura data da migrazione di forme di fondo più piccole (ripples)

CROSS STRATIFICATION: termine generico che comprende la cross bedding, ma anche la **stratificazione obliqua** generata da altri processi (per es. barre fluviali): ogni livello in un sedimento o in una roccia sedimentaria che è orientato di un angolo rispetto alla deposizione orizzontale.

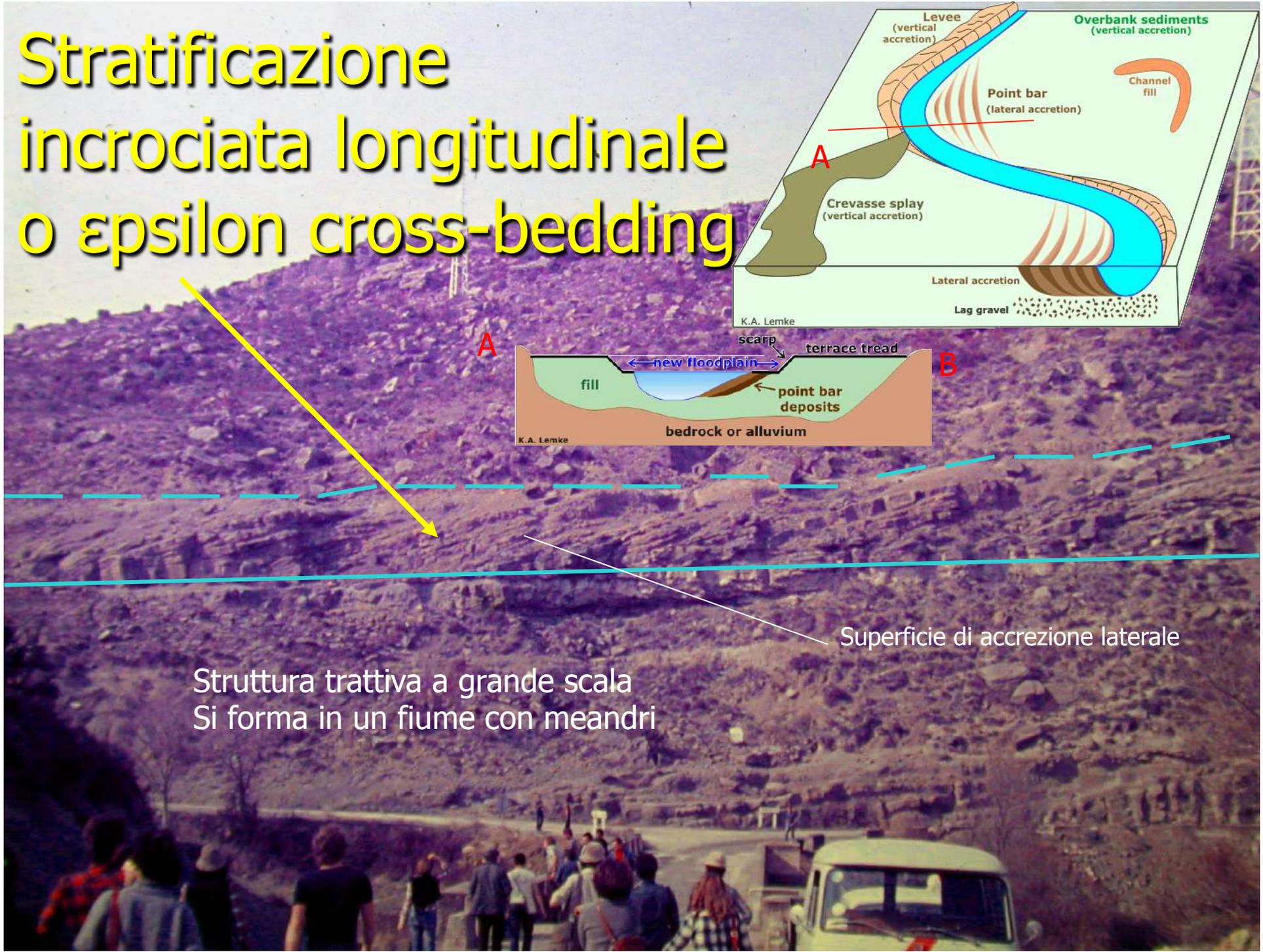
Mentre per cross bedding e cross lamination le granulometrie coinvolte sono sabbia e silt, raramente ghiaia, nel caso della stratificazione obliqua le granulometrie coinvolte sono le più fini (anche argillosi)

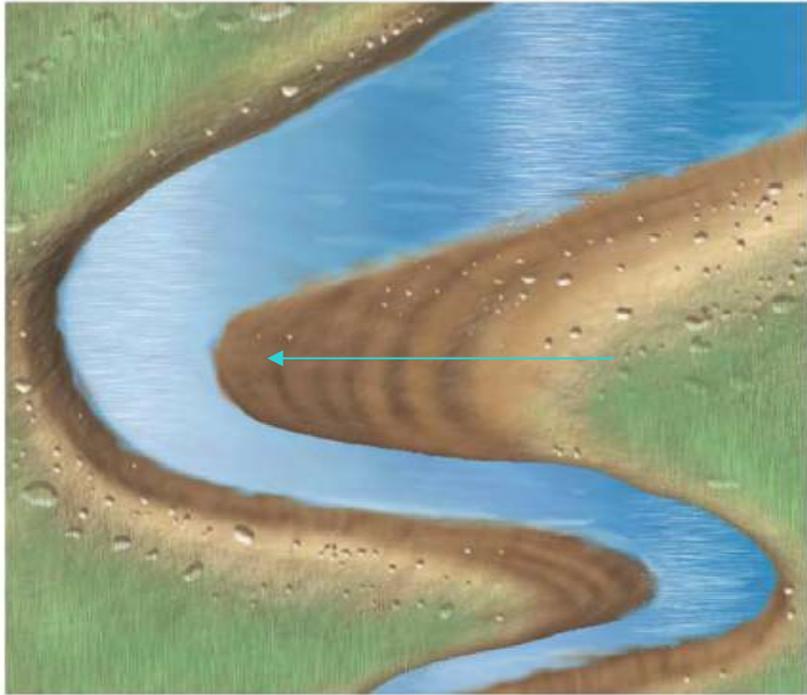
# Stratificazione incrociata longitudinale o epsilon cross-bedding



Superficie di accrezione laterale

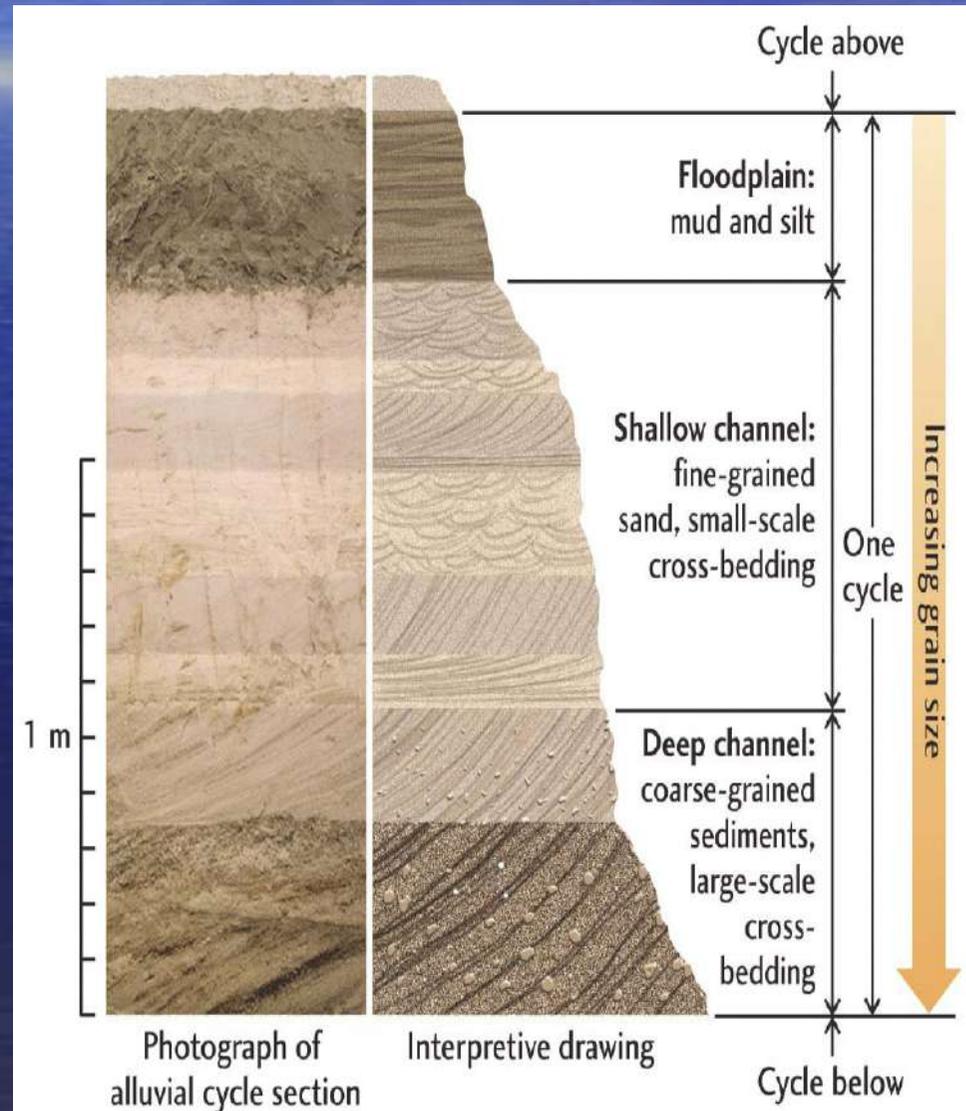
Struttura trattiva a grande scala  
Si forma in un fiume con meandri



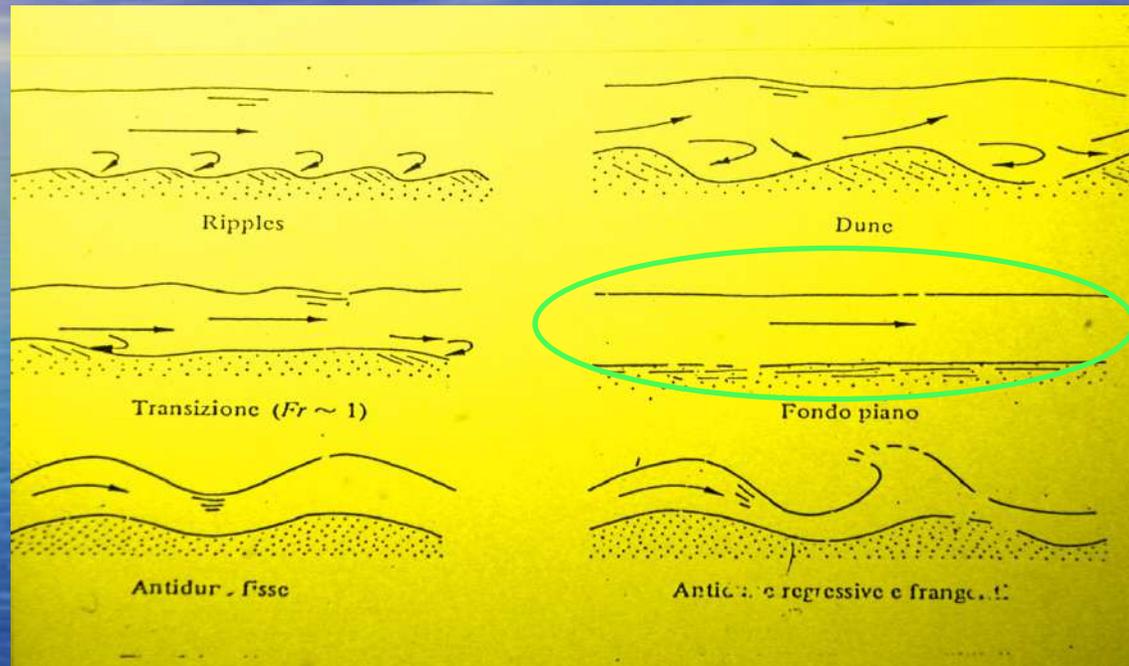


NO veri foreset

- Accrescimento laterale (**migrazione** trasversale alla direzione di flusso)
- Inclinazione sempre minore dell'angolo di riposo
- Meccanismo trattivo alla base ma decantazione vs il top



# flusso UNIDIREZIONALE UNISENSORIALE aumenta la velocità!

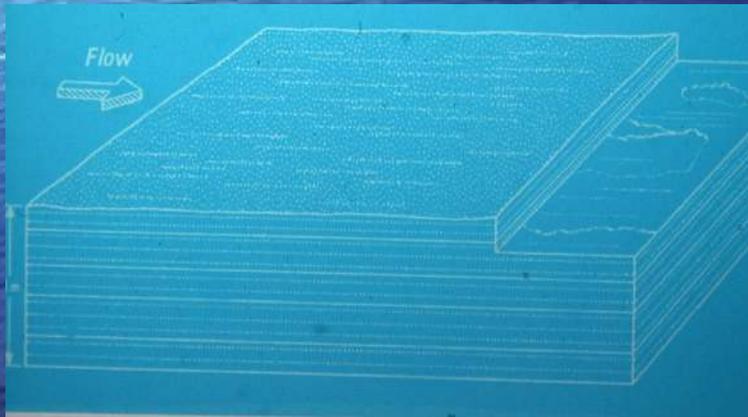


le forme di fondo o mancano (fondo piano-plane bed-flat bed) o sono caratterizzate da un basso rilievo (antidune) → **laminazione parallela**.

La laminazione può essere orizzontale o inclinata (incrociata) a basso angolo ( $\alpha < 15^\circ$ ).. I due tipi sono spesso associati ma non facili da distinguere!!!

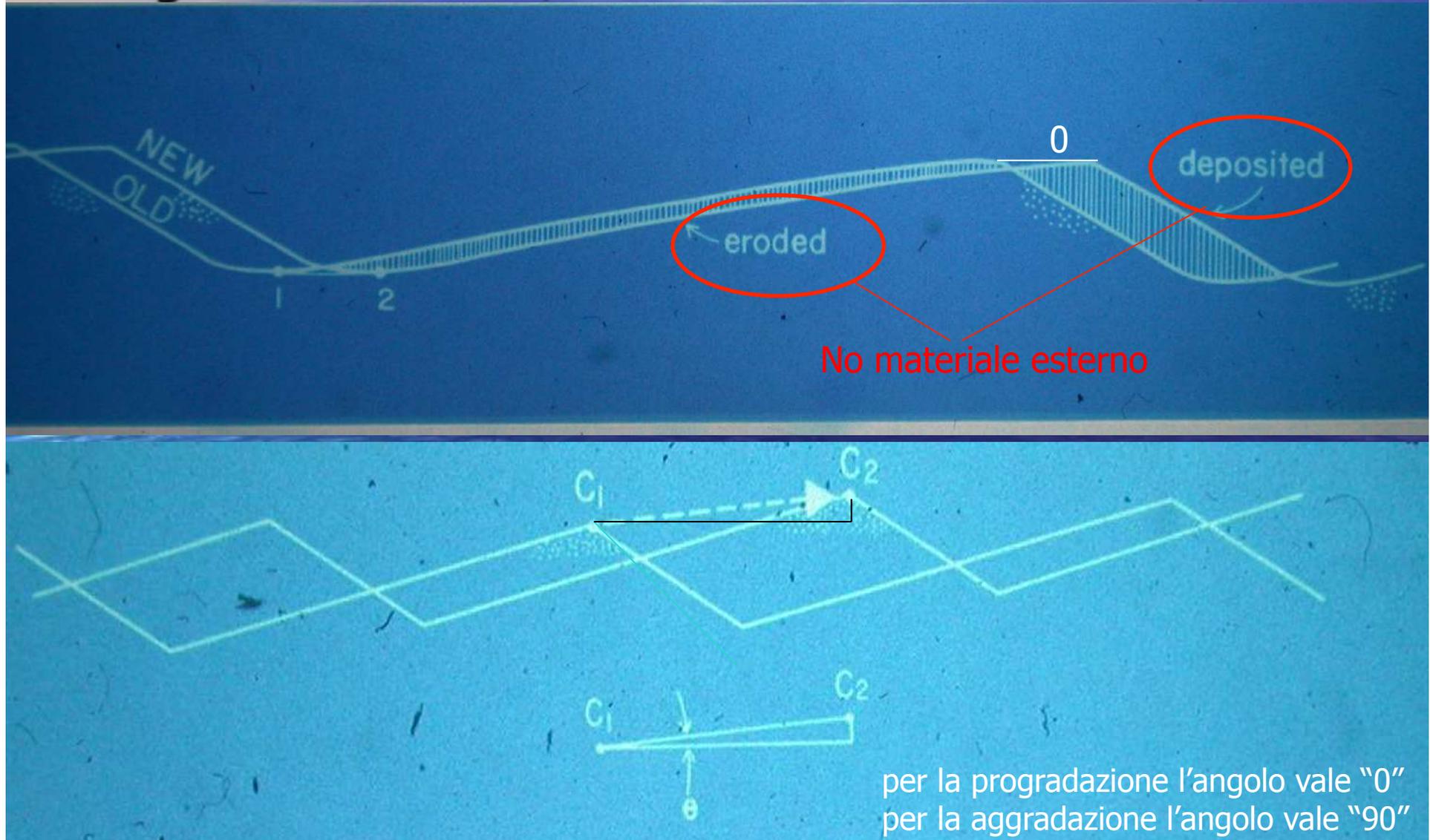


Laminazione  
parallela:  
**ATTENZIONE!!**  
da trazione o da  
decantazione ??



# Concetto di PROGRADAZIONE E AGGRADAZIONE

Angolo di CLIMB: quantifica il materiale caduto dalla sospensione



# Climbing ripples

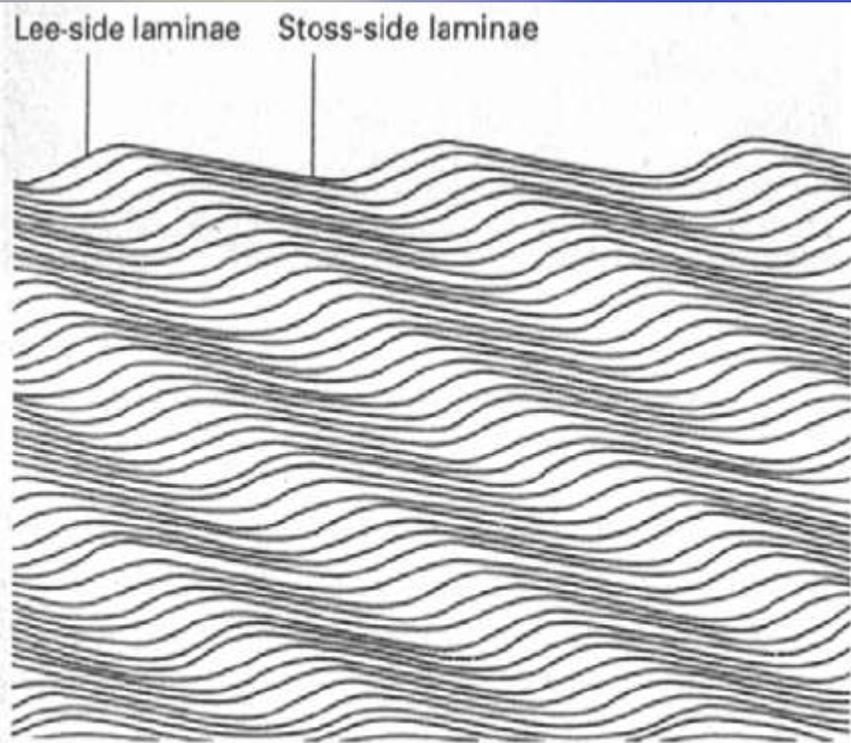
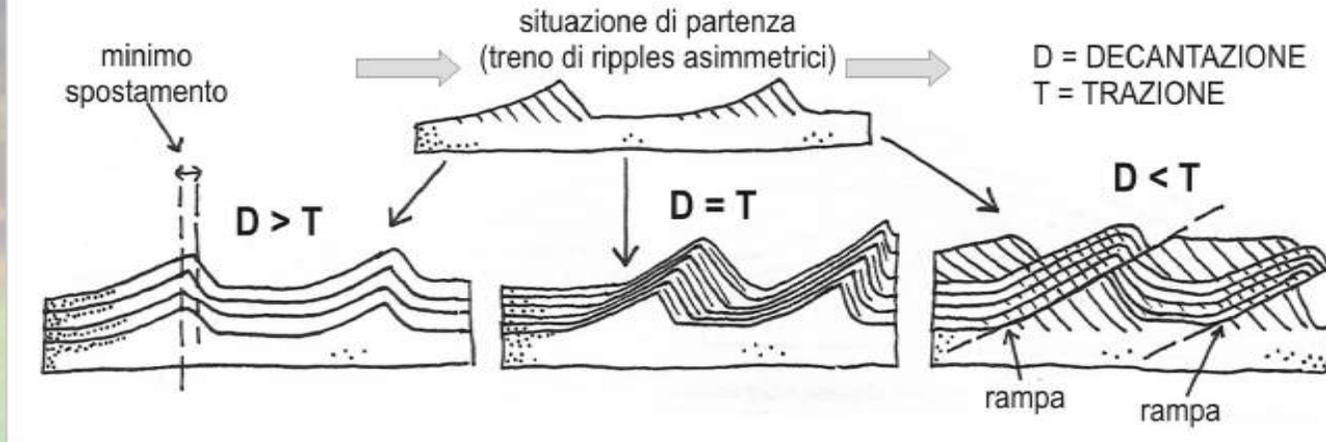


Fig. 4.12 Climbing ripple cross lamination produced by rapid deposition from a flow carrying a high proportion of sand.  
(After Collinson & Thompson 1982.)



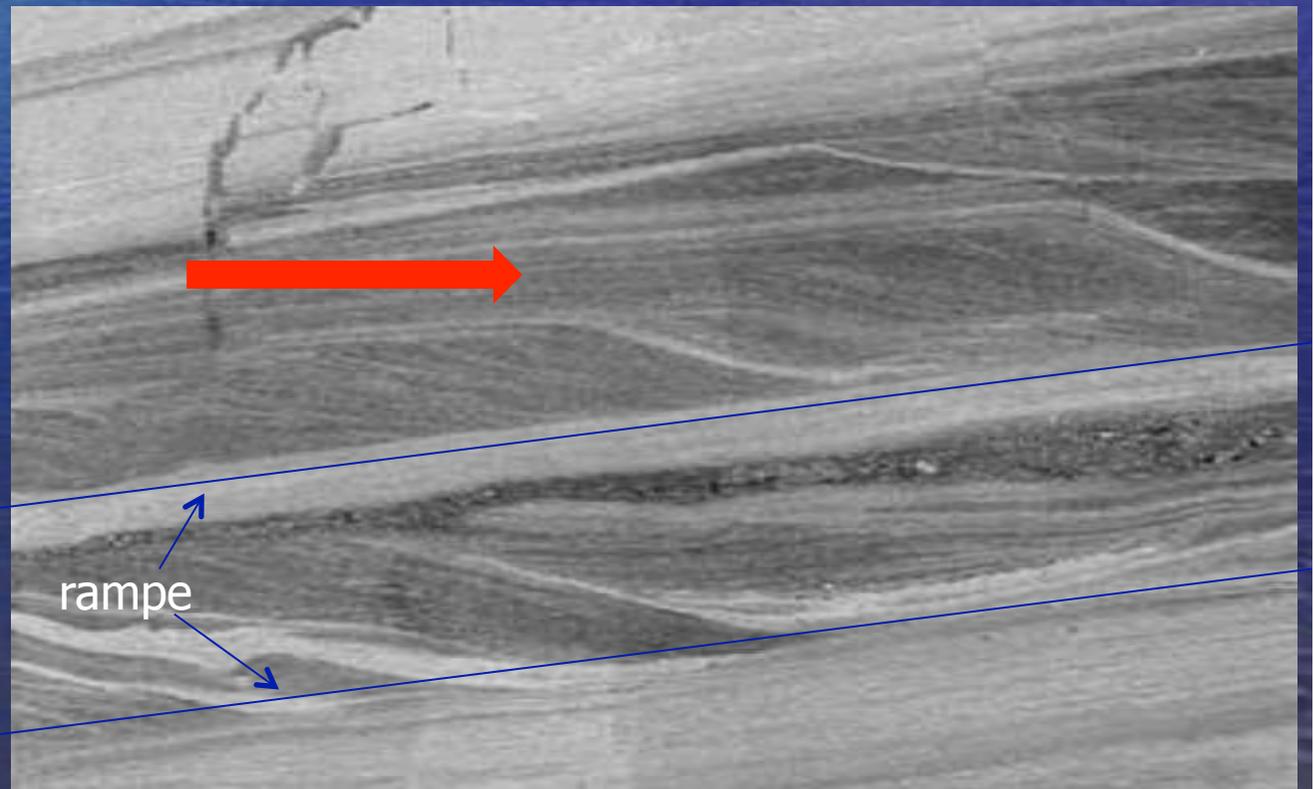
Un angolo di climb elevato da origine ai RIPPLES RAMPICANTI. Questi si formano con molto materiale che cade dalla sospensione o quando la corrente decelera e il materiale trasportato in precedenza viene rilasciato (per es: alla base della superficie deposizionale della torbidite)

## FORMAZIONE DEI RIPPLES RAMPANTI



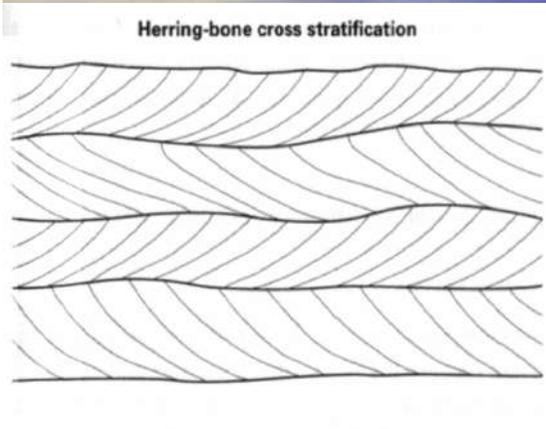
I ripples si sovrappongono  
migrando lungo superfici  
inclinate

Corrente trattiva (T) +  
cospicua decantazione  
di materiale (D)



# Strutture trattive unidirezionali bisensoriali:

correnti di marea: flusso verso terra e riflusso verso mare.



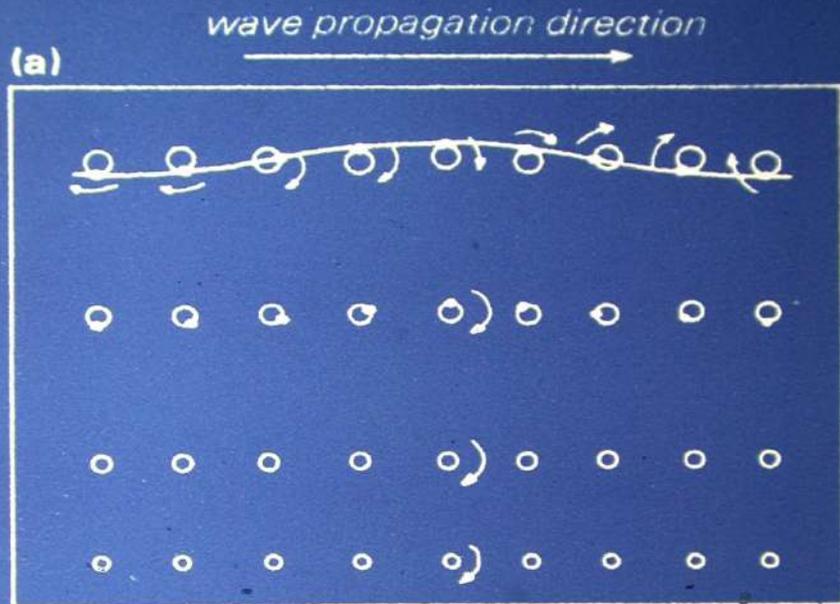
Flusso e riflusso → correnti indipendenti: forme più tipiche sono ripple e dune (regime subcritico)

Se le correnti opposte hanno uguale intensità si avrà una coppia di strati aventi laminazione incrociata ad immersione opposta : STRUTTURA HERRING-BONE (o a lisca di pesce)



# Strutture trattive in regime oscillatorio: le onde

(UNIDIREZIONALI BISENSORIALI)



Le particelle si muovono secondo orbite circolari in mare profondo e secondo orbite ellittiche vicino alla costa che diventano oscillazioni orizzontali vicino alla base della colonna acqua (pavimento marino).

**Trazione** → quando la profondità non supera la metà della lunghezza d'onda



Ripples simmetrici e con  
angolo di climb prossimo  
a  $90^\circ$  in **ambienti  
tranquilli**

c'è solo aggradazione!!!

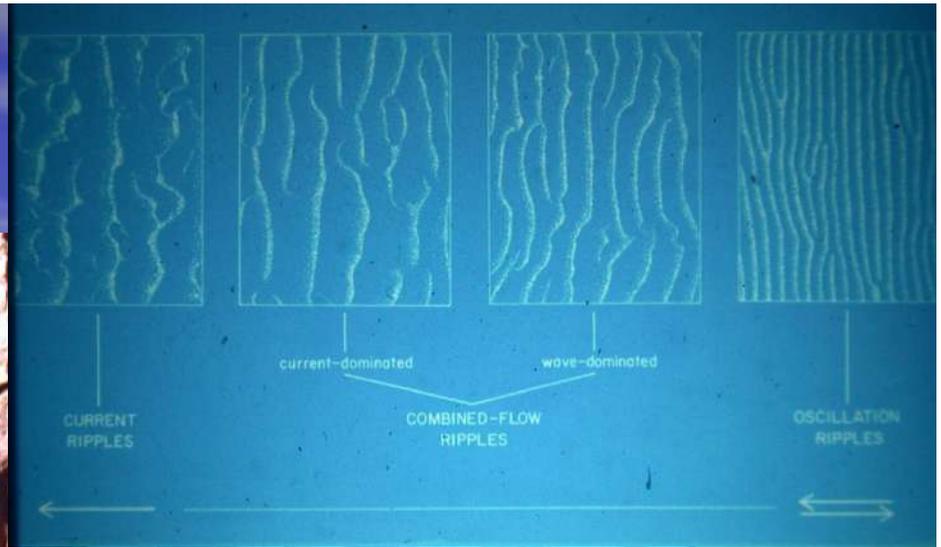
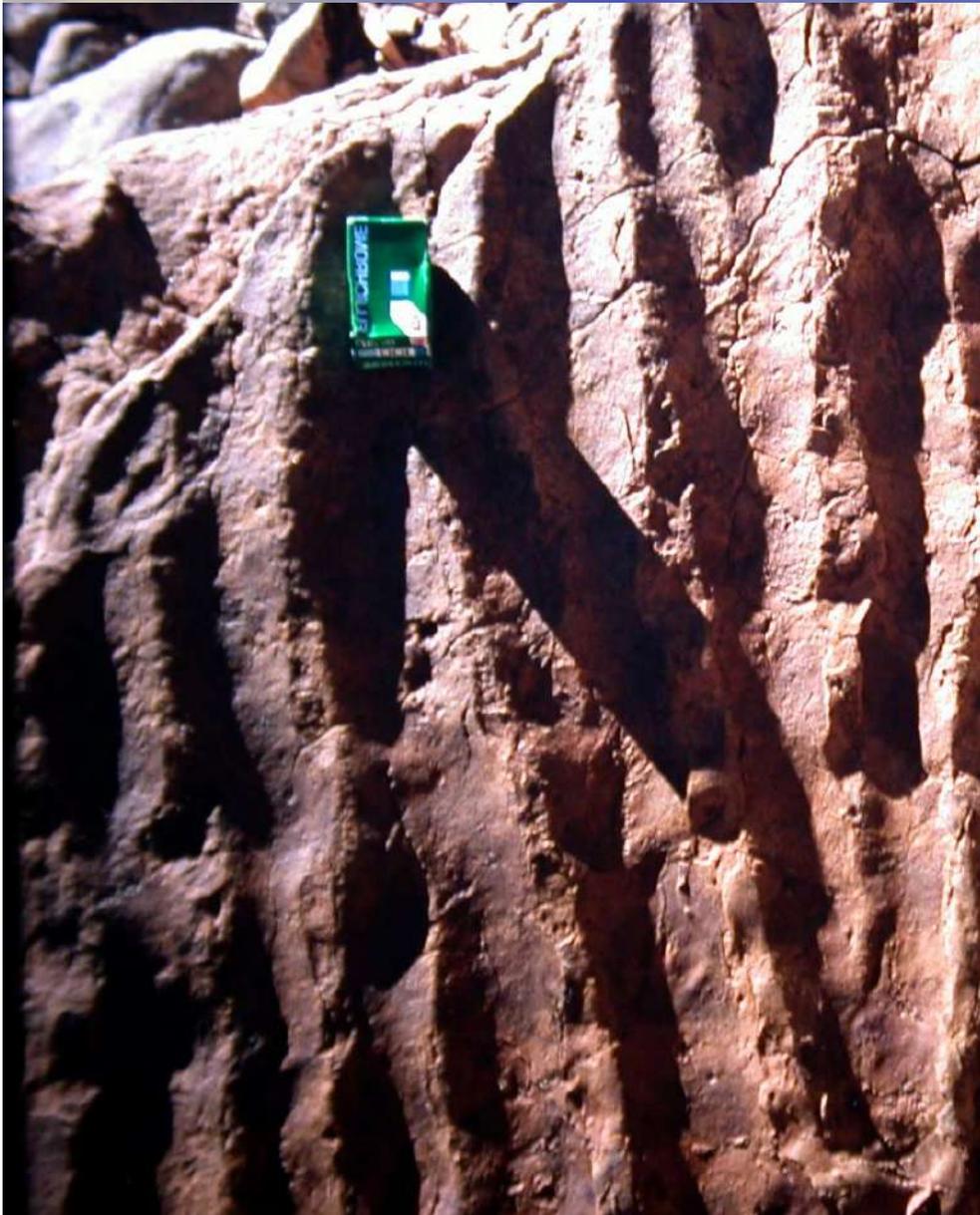
**struttura a CHEVRON**

In acqua bassa + energia:  
ripples asimmetrici tipo  
quelli di corrente (regime  
subcritico)

Battigia: zona supercritica per  
eccellenza. Lamine inclinate  
verso mare (strutture  
cuneiformi)



# Geometria delle creste dei ripples da onda



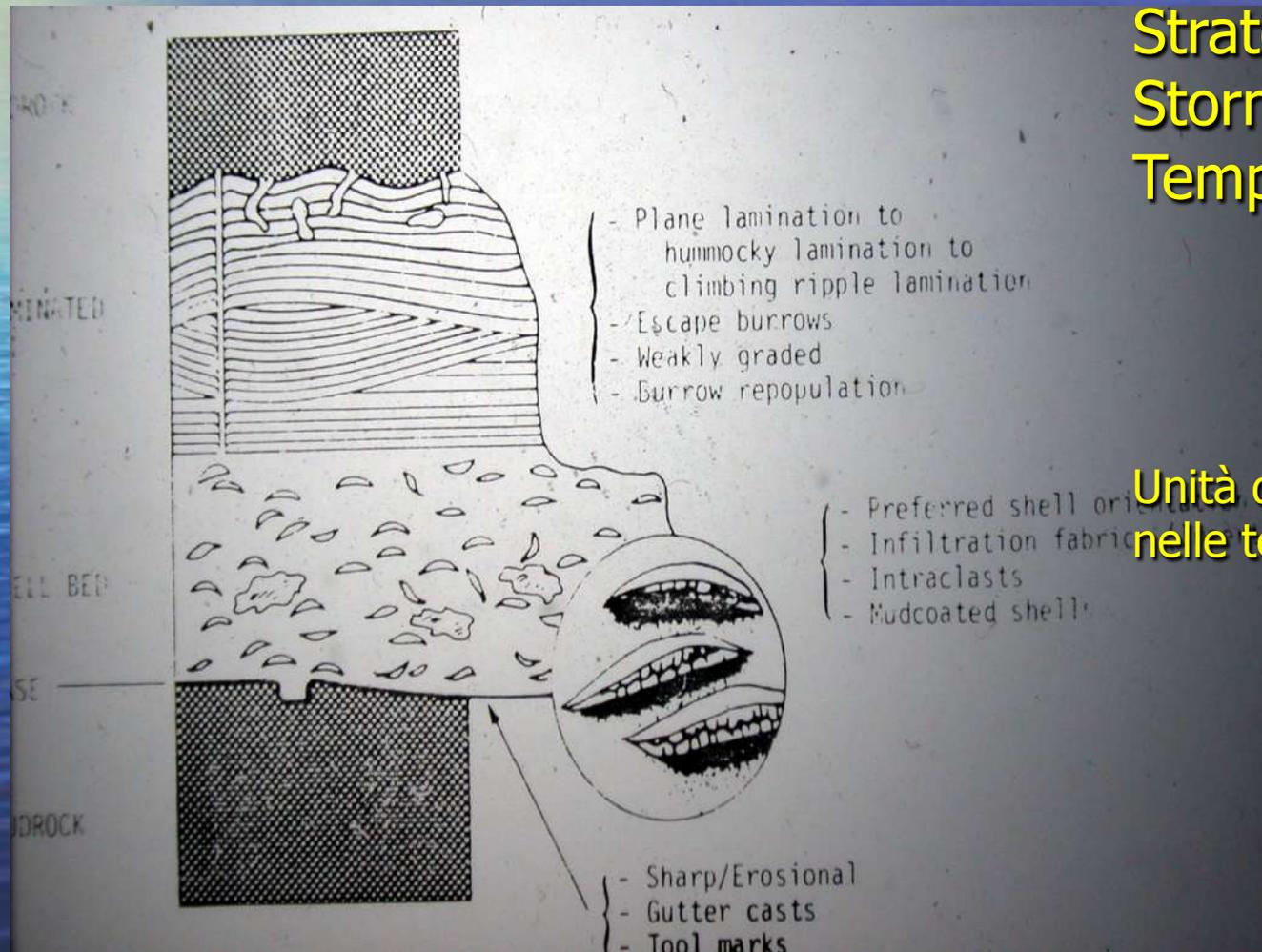


Ripples da onde di interferenza



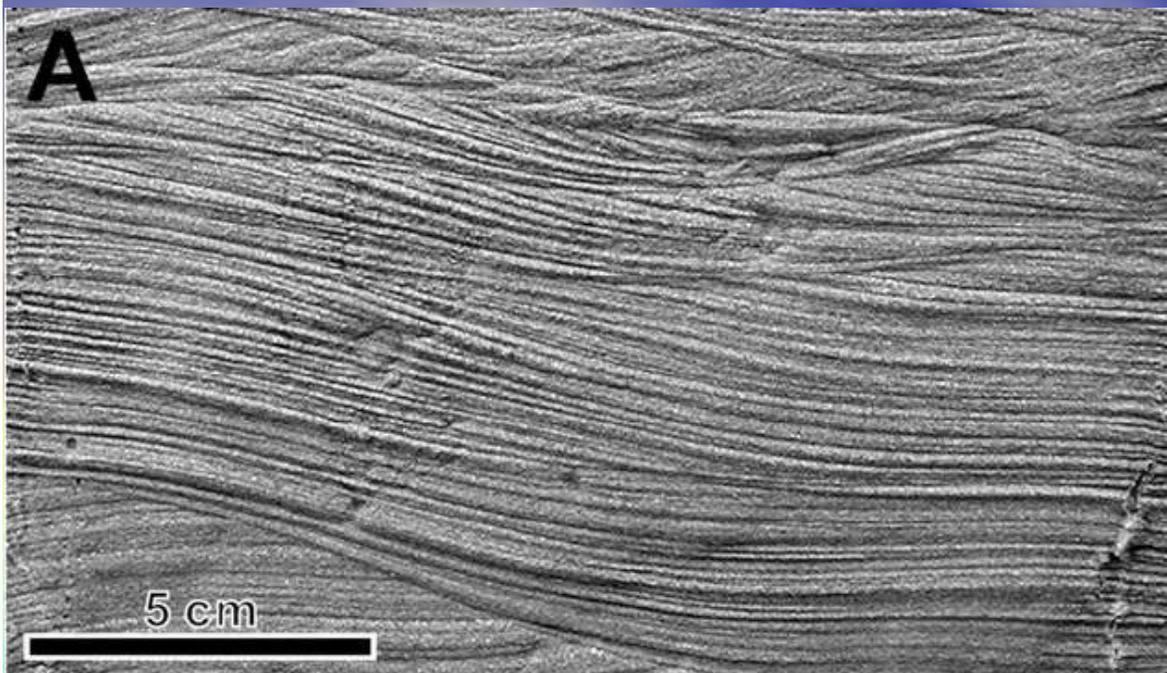
# ALTRE STRUTTURE LEGATE A CORRENTI

## STRUTTURE LEGATE A TEMPESTE



Strato di tempesta  
Storm layer  
Tempestite

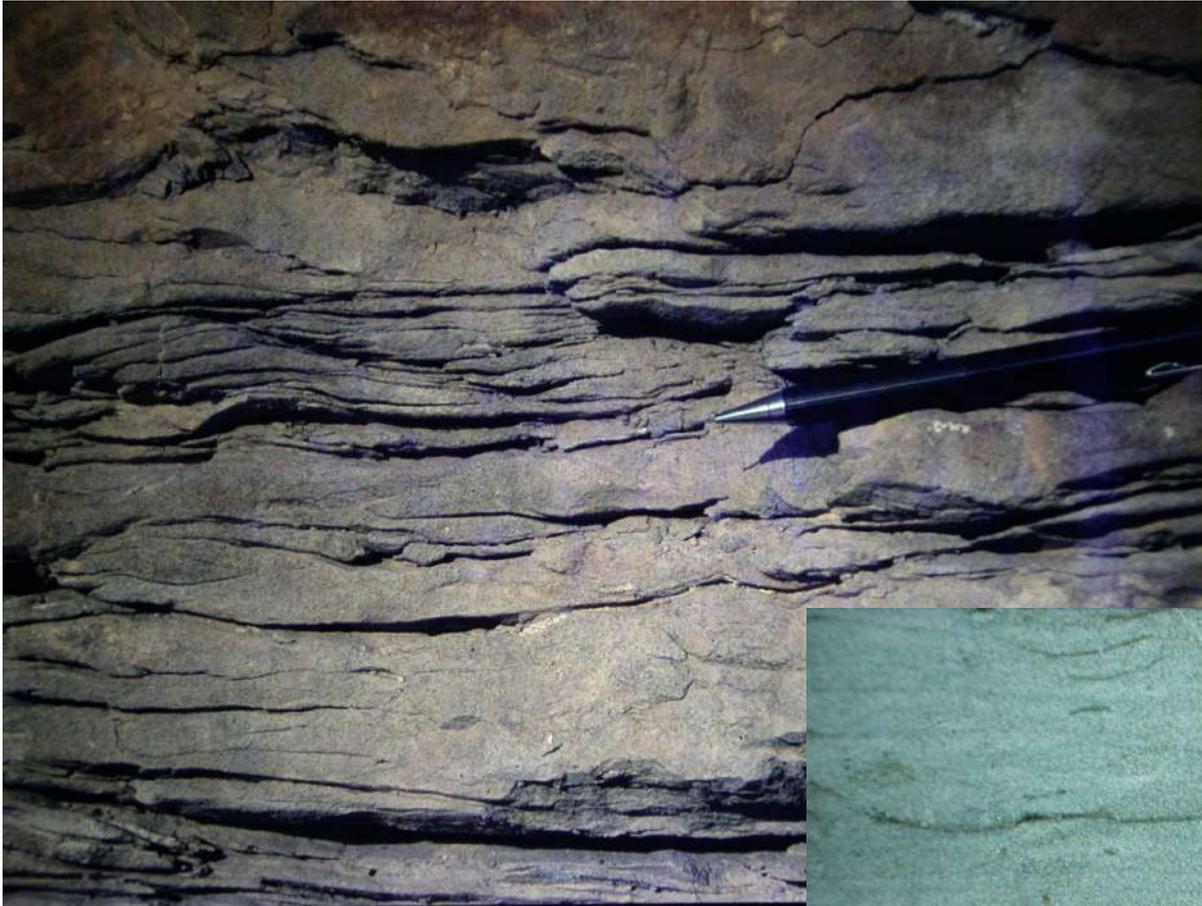
Unità distinguibili  
nelle tempestiti



# STRUTTURE SEDIMENTARIE DI DECANTAZIONE E ACCRESIMENTO (sand-mud mixtures)

Flaser bedding  
Wavy bedding  
Lenticular bedding

Strutture miste da decantazione e trazione,  
peculiari degli ambienti di marea



Flaser bedding: lenti  
di fango  
nei ventri dei ripples

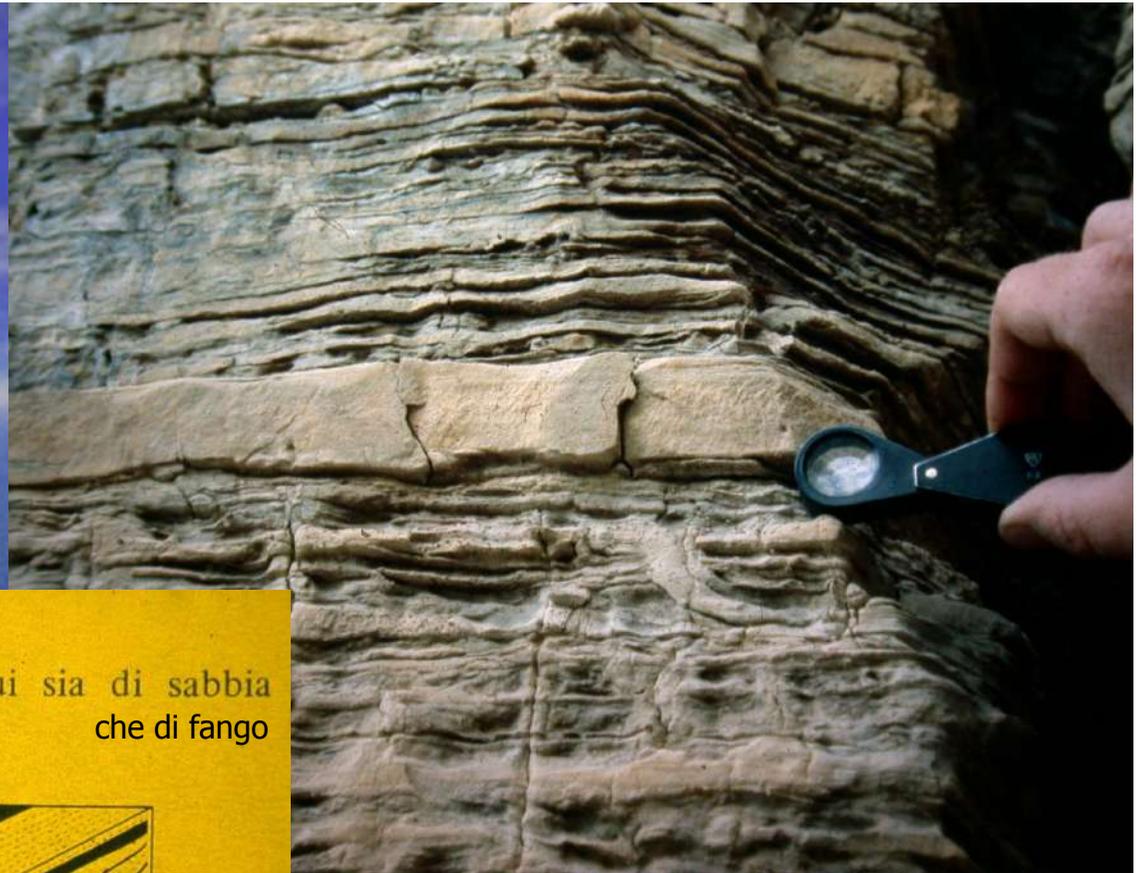
fossile

Piana tidale esterna

attuale (Mare del Nord)



# Wavy bedding

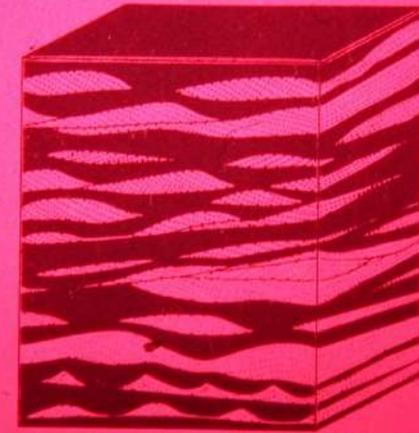


2. *Stratificazione ondulata*: strati continui sia di sabbia che di fango  
fig. 89.



# Stratificazione lenticolare

*Stratificazione lenticolare: ripples singoli e incompleti, sottoalimentati (starved); strati di sabbia discontinua: fig. 90.*



Fango con isolati ripple sabbiosi

Piana tidale interna



**trasgressione**

Lenticular

Wavy

Flaser

Lenticular

Wavy

Flaser

Lenticular

Wavy

Flaser

Piana tidale

interna

esterna

- Evoluzione verticale da lenticular a flaser: trasgressione

