

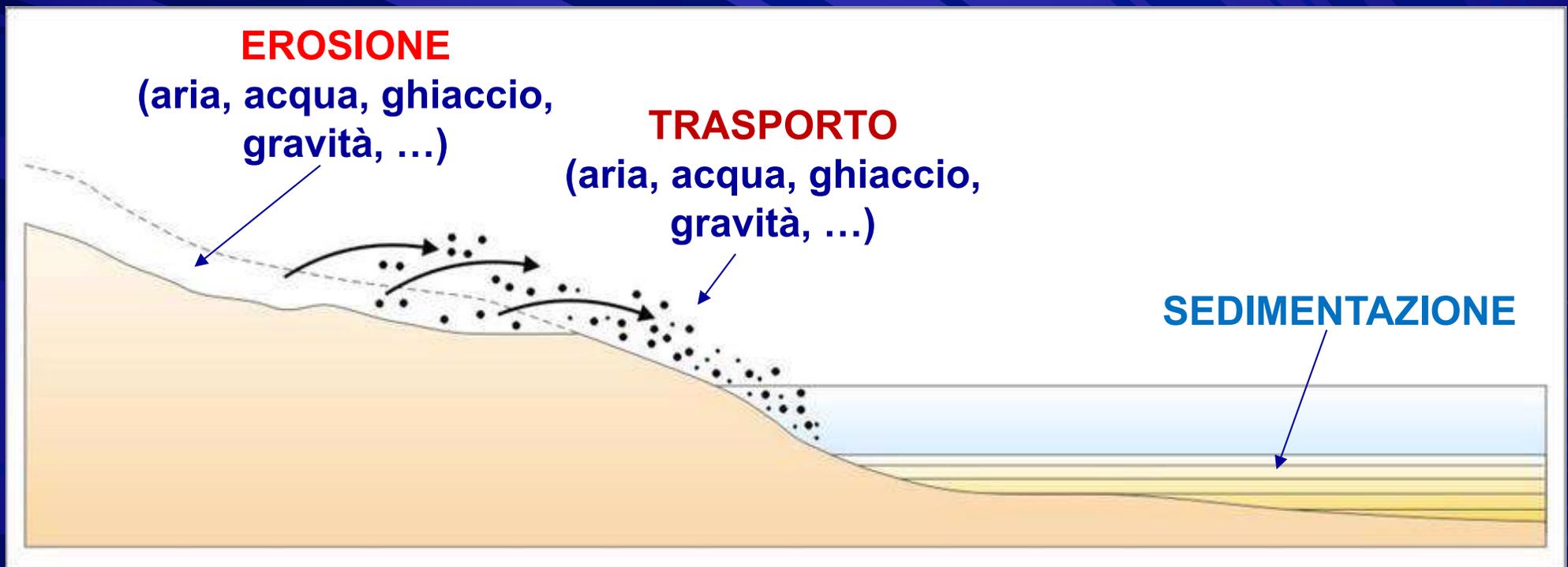
Dinamica del trasporto e strutture sedimentarie



I sedimenti clastici si originano per disgregazione di rocce pre-esistenti (**EROSIONE**).

I sedimenti possono subire un **TRASPORTO** la cui durata è sinonimo di SELEZIONE.

I sedimenti trasportati possono venire depositati (**SEDIMENTAZIONE**)



EROSIONE, **TRASPORTO** e **SEDIMENTAZIONE** rappresentano le tre fasi principali che completano un **CICLO SEDIMENTARIO**

I sedimenti vengono generati ad opera dei PROCESSI DI DISFACIMENTO e conseguente EROSIONE di rocce pre-esistenti.

Alcuni dei più comuni processi con cui i sedimenti possono essere generati sono i seguenti:

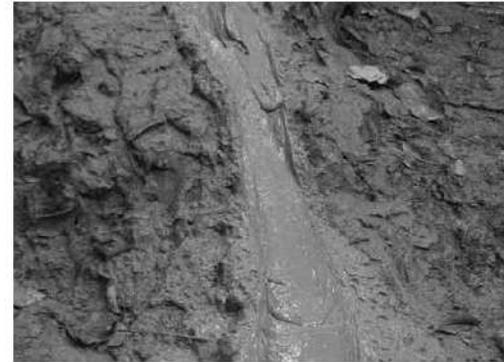
1. Erosione da parte degli AGENTI ESOGENI (acqua, vento, ghiaccio, sole ...)



I sedimenti vengono generati ad opera dei PROCESSI DI DISFACIMENTO e conseguente EROSIONE di rocce pre-esistenti.

Alcuni dei più comuni processi con cui i sedimenti possono essere generati sono i seguenti:

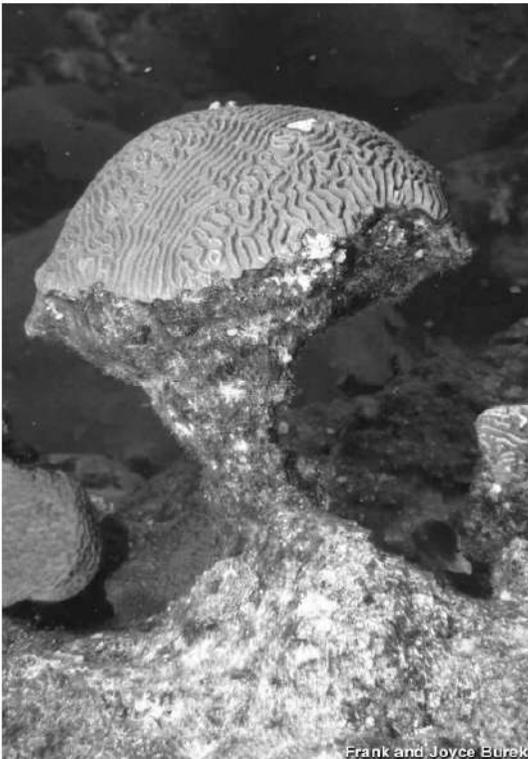
2. Erosione da parte dei FENOMENI GRAVITATIVI (frane, crolli, colate, ...)



I sedimenti vengono generati ad opera dei **PROCESSI DI DISFACIMENTO** e conseguente **EROSIONE** di rocce pre-esistenti.

Alcuni dei più comuni processi con cui i sedimenti possono essere generati sono i seguenti:

3. Erosione da parte dei **FENOMENI BIOGENICI** (azione disagregante degli organismi)



I principali AGENTI DI TRASPORTO dei sedimenti così erosi sono i corsi d'acqua



Ma ne esistono alcuni altri ALTERNATIVI ...

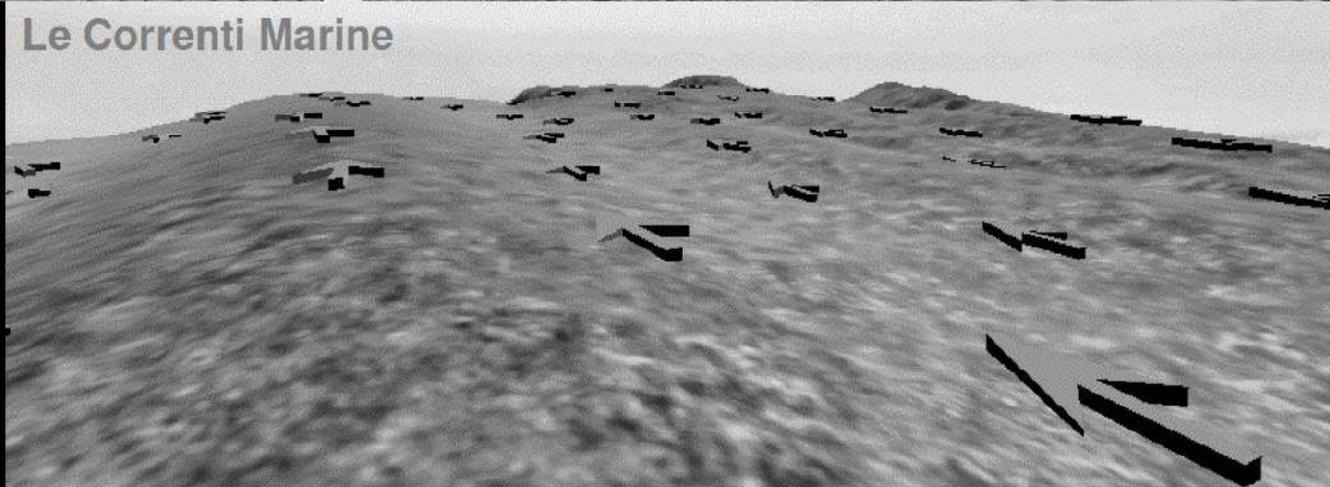
Il Vento



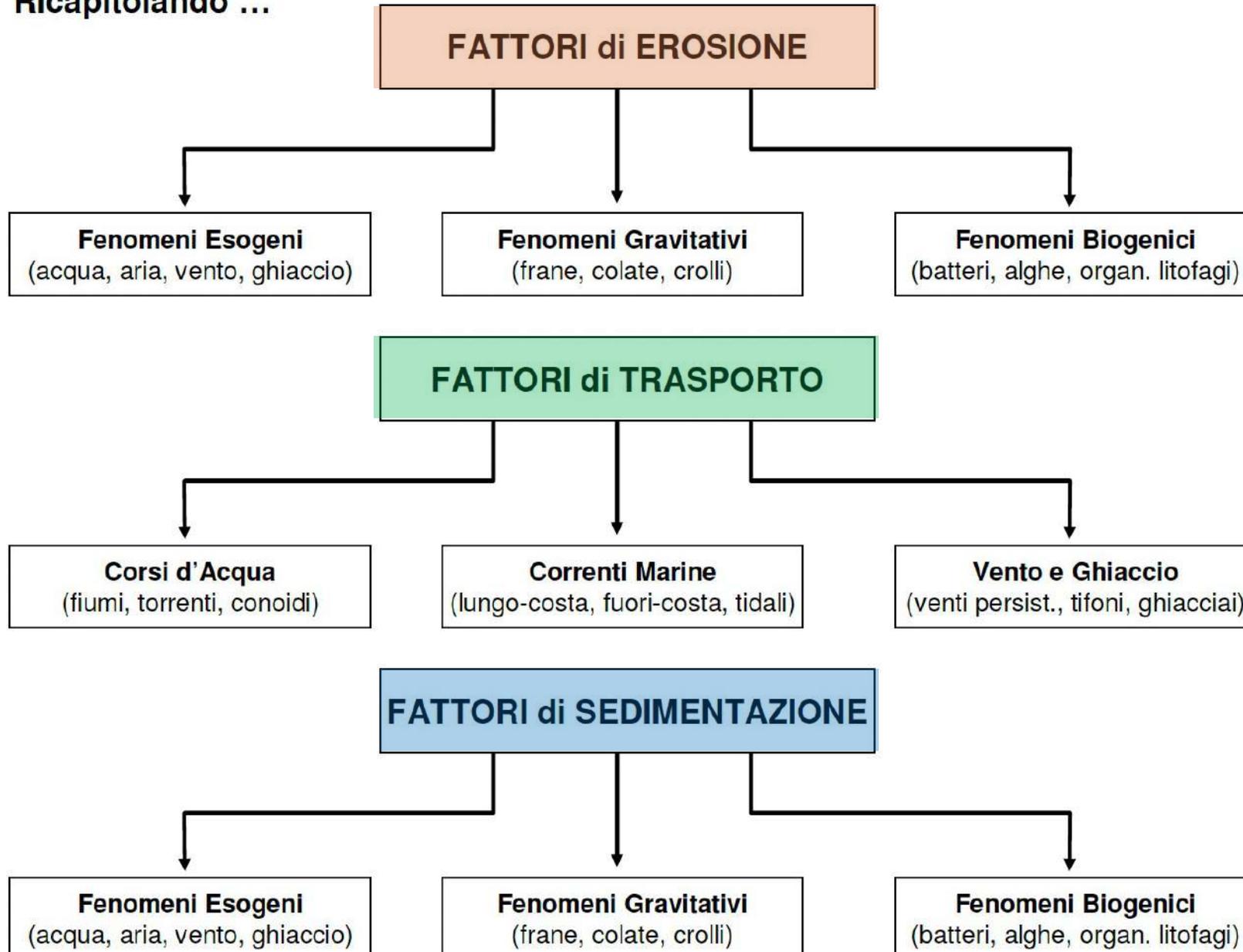
Il Ghiaccio

Le Correnti Marine

Height Relative
Current Speed...
None



Ricapitolando ...



1) Processi Selettivi (Trattivi)

I processi selettivi producono sia un trasporto (TRASPORTO TRATTIVO) ma anche un modellamento del sedimento (STRUTTURE TRATTIVE).

(Es.: correnti marine di fondo; moto ondoso; correnti fluviali).

2) Processi Massivi

I processi massivi producono un trasporto di grosse quantità di sedimento (MASSE) sia in ambiente marino che subaereo.

(Es.: frane subaeree e sottomarine; colate di fango).

2.1) Processi Gravitativi

I processi gravitativi rappresentano un 'tipo' di processo massivo e avvengono principalmente sotto l'effetto della forza di gravità.

(Es.: *debris flow*, *grain flow*, *mud flow*; *turbidity flow*).

2.2) Processi NON Gravitativi

I processi non gravitativi rappresentano un 'tipo' di processo massivo che annullano l'effetto della forza di gravità sui sedimenti a causa di eventi 'eccezionali'.

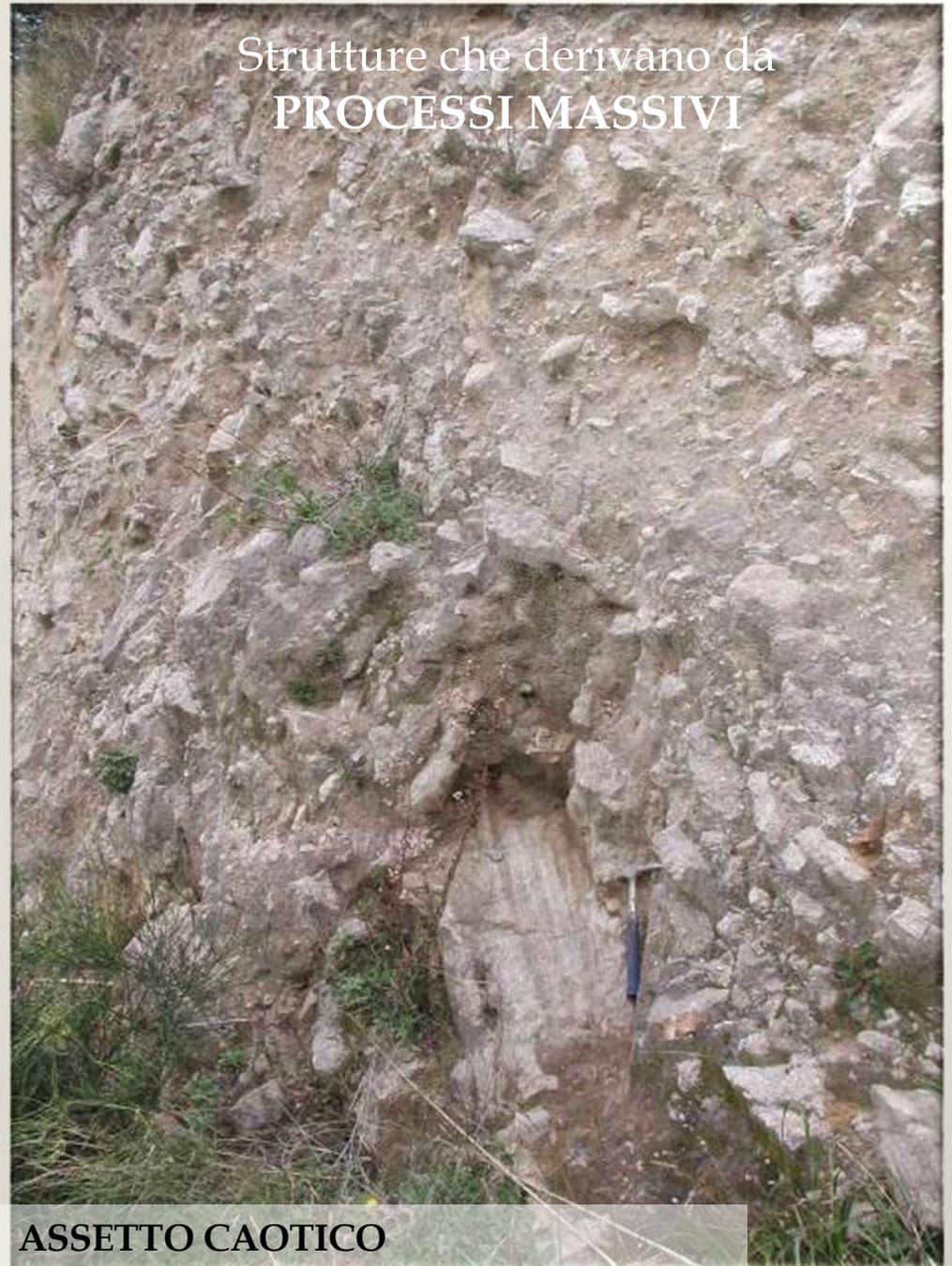
(Es.: onde di piena dei corsi d'acqua; cicloni, uragani e tifoni; *surge* vulcanici).

Strutture che derivano da
PROCESSI TRATTIVI



ASSETTO ORGANIZZATO

Strutture che derivano da
PROCESSI MASSIVI



ASSETTO CAOTICO

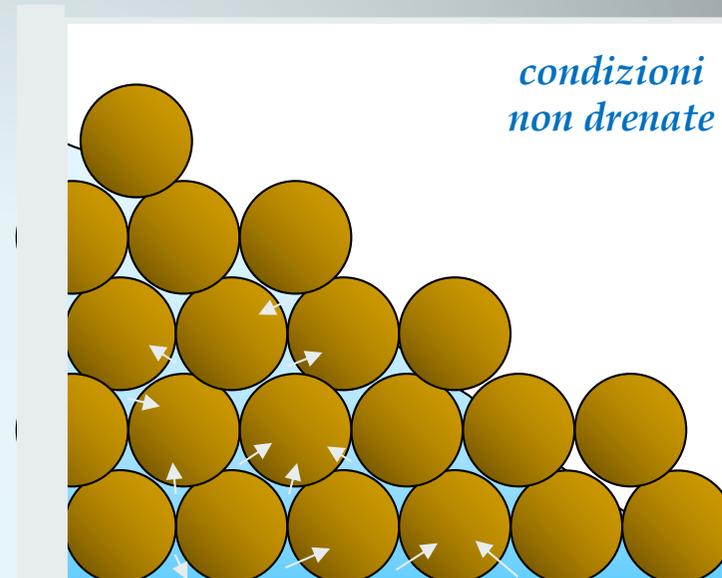
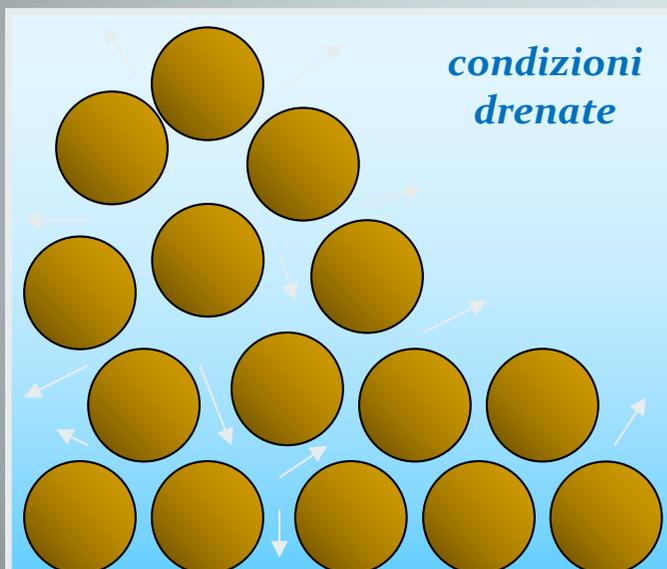
Processi Massivi

I processi massivi producono un trasporto di grosse quantità di sedimento (MASSE) sia in ambiente marino che subaereo.

(Es.: frane subaeree e sottomarine; colate di fango).

FRANE

- 1) **Subacquee** (più rare; la pressione interstiziale non ha effetto perché i sedimenti sono in *condizioni drenate*; pendenze superiori ai 15° - 20°);
- 2) **Subaeree** (più frequenti; la pressione interstiziale ha un importante effetto perché i sedimenti si trovano in *condizioni non drenate*; bastano anche pochi gradi di inclinazione a seconda della granulometria dei sedimenti coinvolti);



Possiamo sintetizzare in quattro principali tipi di flussi più comuni (gravitativi):

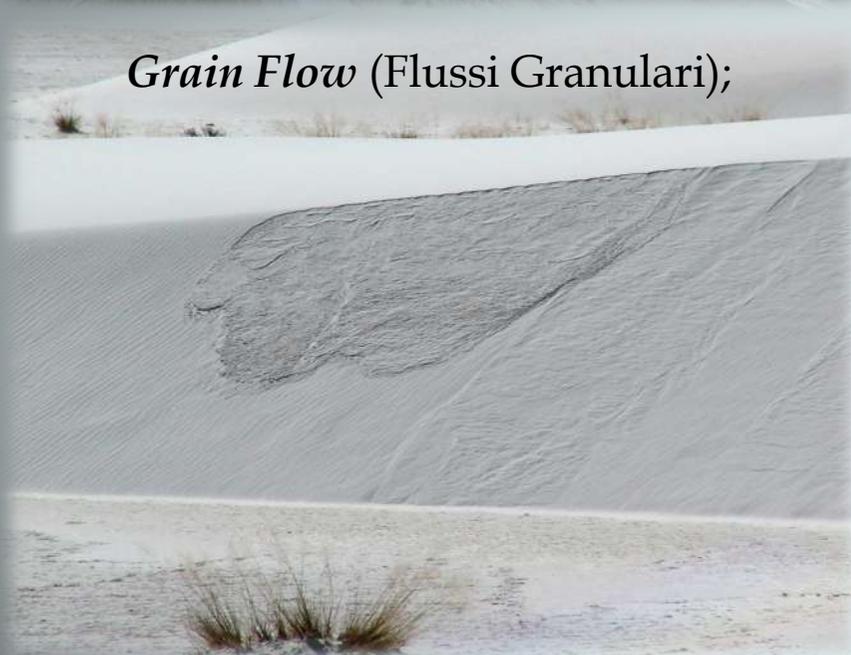
Mud Flow (Colate di Fango);



Debris Flow (Flussi di Detrito)



Grain Flow (Flussi Granulari);



Turbidity Flow
(Flussi o Correnti di Torbida)

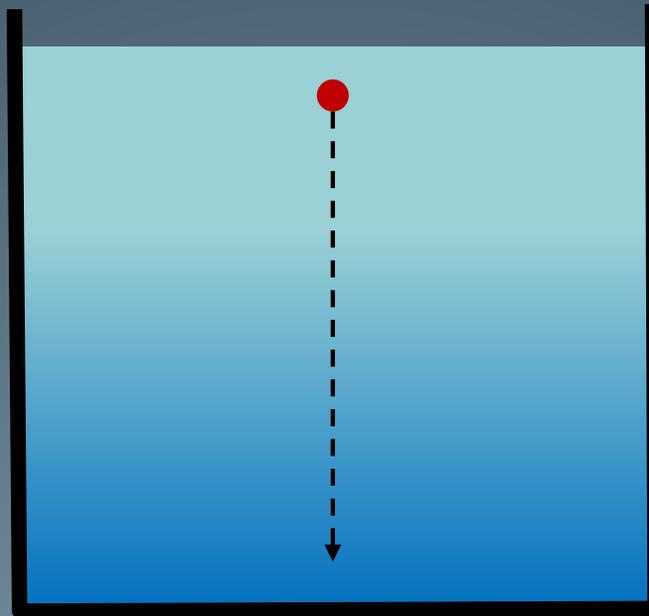


CENNI DI FLUIDODINAMICA E TRASPORTO DEI SEDIMENTI



- 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).

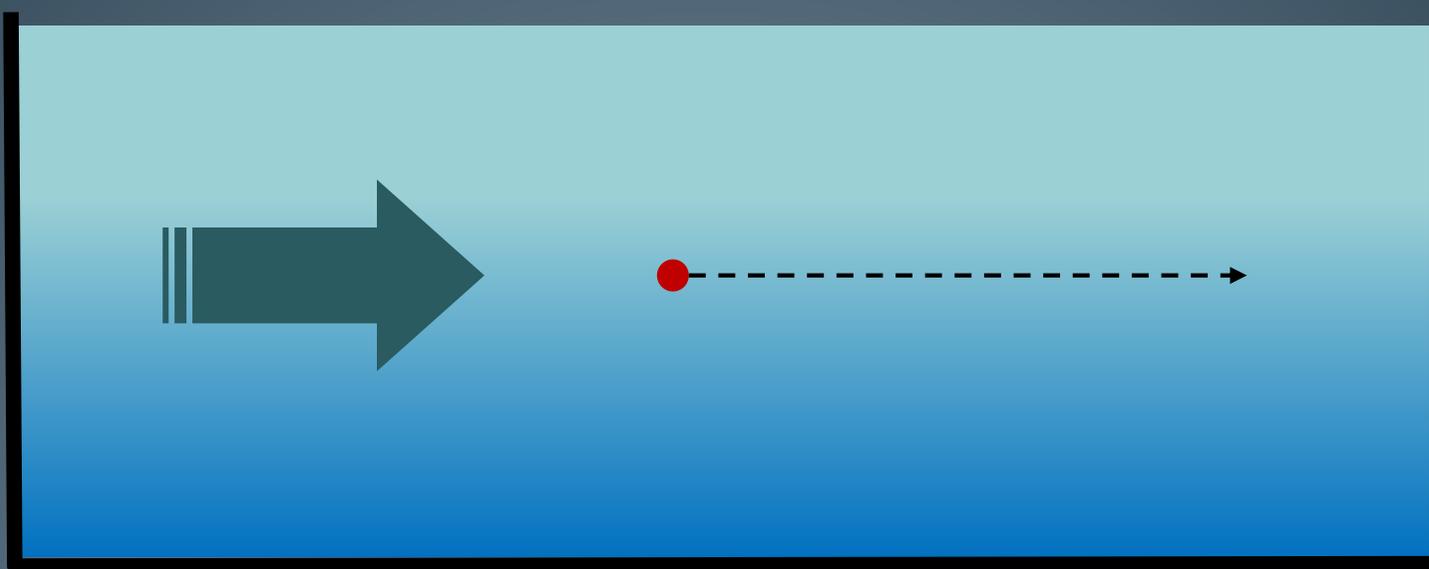
Come si comporta una particella solida all'interno di un fluido in condizioni
STATICHE ?
(senza movimento del fluido stesso)



Il moto è regolato dalla **LEGGE DI STOKES**

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 e paludi)

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



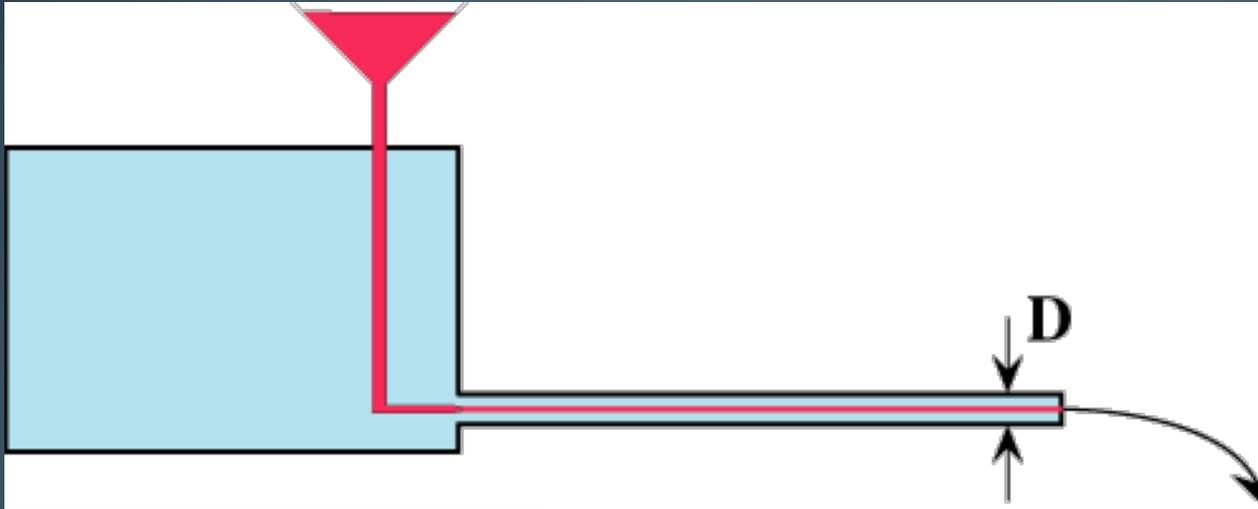
Il moto è regolato dalla combinazione di due principali forze:
la forza inerziale (F_r) e **la forza viscosa (F_μ)**

Il rapporto tra questi due fattori si chiama NUMERO DI REYNOLDS (Re)

$$Re = F_r / F_\mu$$

Classificazione dei flussi gravitativi dei fluidi

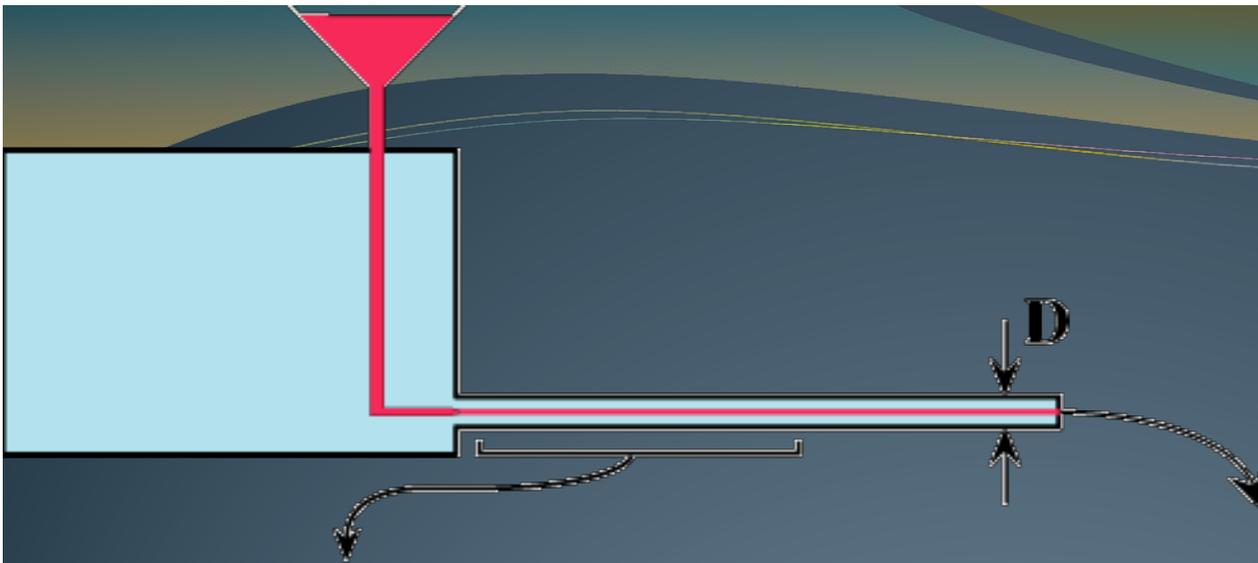
a) Numero di Reynolds (Flow Reynolds' Number), R



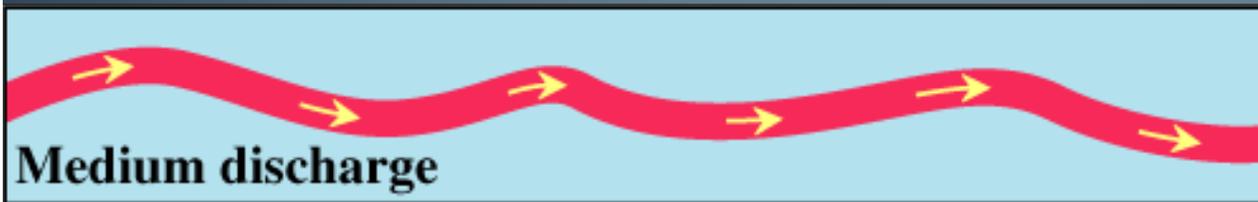
Gli esperimenti di Reynold sono consistiti nell'iniezione di una striscia di colorante in un fluido che scorreva a velocità costante attraverso un tubo trasparente.

Gli esperimenti furono condotti variando tipo di fluido, diametro del tubo e velocità del flusso nel tubo.

I risultati di Reynolds



Il colorante segue un percorso rettilineo.

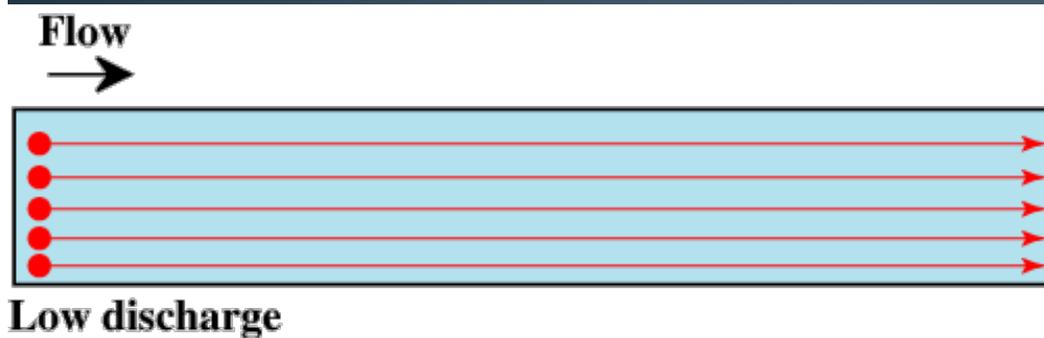


Il colorante segue un percorso ondulato entro una stria intatta.

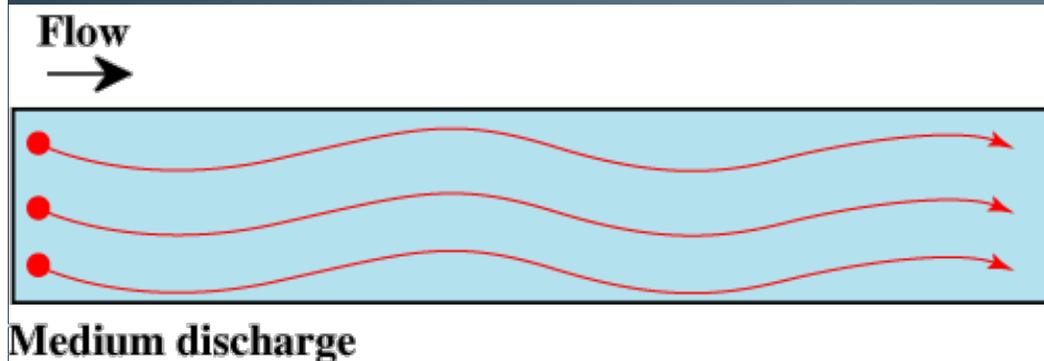


Il colorante si mescola rapidamente nel fluido del tubo.

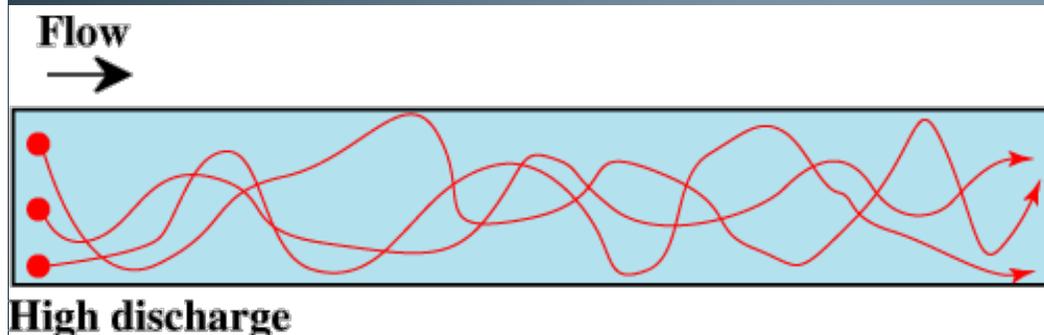
Reynolds classifica il tipo di flusso a seconda del movimento del fluido:



Flusso Laminare: ogni molecola del fluido segue un percorso rettilineo, parallelo ai bordi del tubo.



Flusso Transizionale: ogni molecola del fluido segue un percorso ondulato e parallelo, ma non parallelo ai bordi del tubo.



Flusso Turbolento: ogni molecola del fluido segue un percorso complesso che porta al mescolamento del colorante.

Reynolds trova che le condizioni per ciascun tipo di flusso dipendono da:

1. **Velocità del flusso** (U)
2. **Diametro del tubo** (D)
3. **Densità del fluido** (ρ)
4. **Viscosità dinamica** del fluido (μ)

Combina le variabili in una forma adimensionale, oggi nota come **Numero di Reynolds** (Flow Reynolds' Number, R) dove:

$$R = \frac{\rho U D}{\mu} \quad \text{ovvero} \quad R = \frac{U D}{\nu} \quad \text{con} \quad \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$\nu = \text{viscosità cinematica}$

Mettendo quindi in relazione le forze d'inerzia con le forze viscosive.

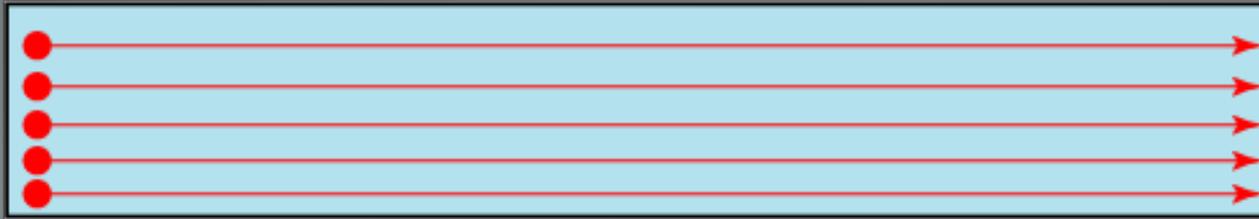
$$R = \frac{\rho U D}{\mu} = \frac{\text{forze d'inerzia}}{\text{forze viscosive}}$$

Il valore di **R** determina il tipo di flusso nei tubi sperimentali:

$$R = \frac{UD}{\nu}$$

Flow
→

Laminar Flow

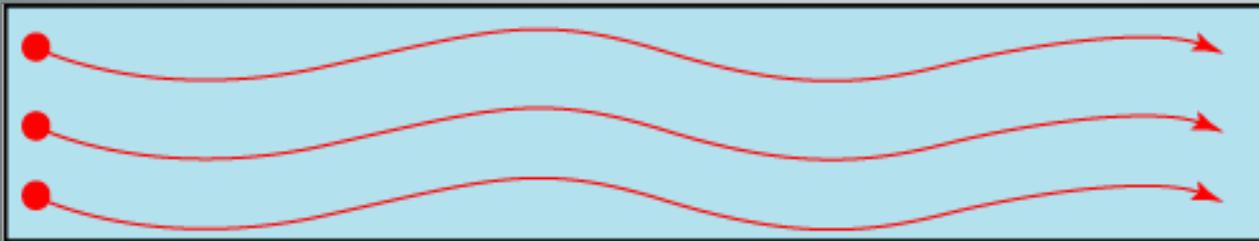


R < 1000

< 1000

Flow
→

Transitional Flow

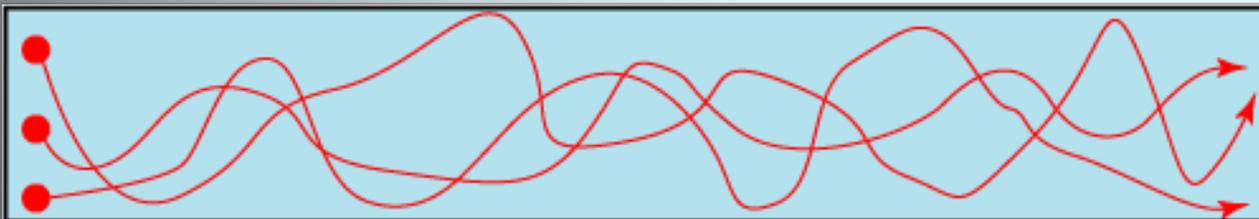


1000 < R < 2000

1000 - 2000

Flow
→

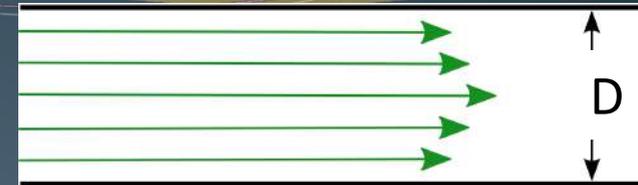
Turbulent Flow



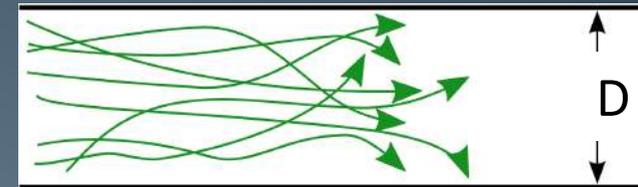
R > 2000

> 2000

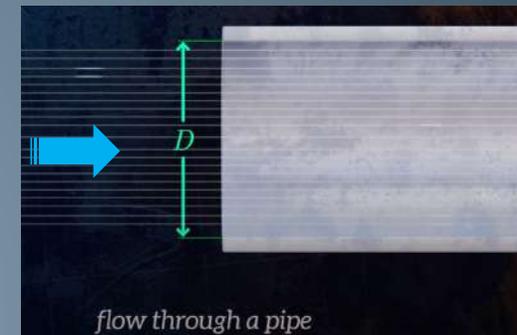
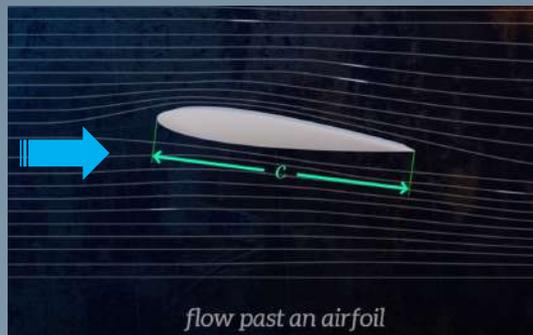
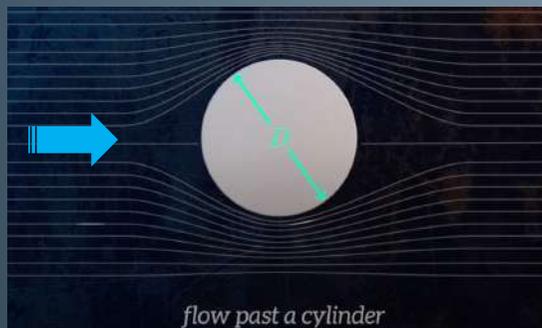
Flusso laminare
(*laminar flow*)



Flusso turbolento
(*turbulent flow*)



Il passaggio dal flusso laminare a quello turbolento dipende anche da D che è una lunghezza di riferimento e può rappresentare ad esempio il diametro di un tubo, il profilo alare oppure →
→ la profondità di un canale fluviale



Vedere i primi 5 minuti del video: <https://www.youtube.com/watch?v=9A-uUG0WR0w>

- 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
- I 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.

Flusso laminare e turbolento possono essere:

TRANQUILLO → con superficie di acqua liscia

RAPIDO → con superficie di acqua rugosa (piccole creste ondose)

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

b) Numero di Froude (F)

Definisce la classificazione dei flussi sulla base del comportamento della superficie.

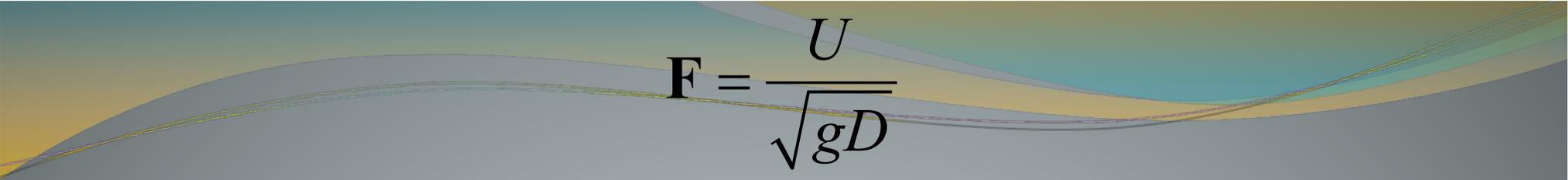
E' una parte importante per le basi della classificazione del regime del flusso.

$$\mathbf{F} = \frac{U}{\sqrt{gD}} \quad g \text{ è l'accelerazione di gravità.}$$

$\mathbf{F} < 1$ flusso subcritico (flusso tranquillo o corrente lenta)

$\mathbf{F} = 1$ flusso critico

$\mathbf{F} > 1$ flusso supercritico (flusso rapido o corrente veloce)


$$\mathbf{F} = \frac{U}{\sqrt{gD}}$$

\sqrt{gD} = celerità (velocità di propagazione) delle onde di gravità sulla superficie dell'acqua.

Immaginiamo una perturbazione ondosa sulla superficie di un fluido in movimento:

$$\mathbf{F} < 1, U < \sqrt{gD}$$

le onde sulla superficie dell'acqua si propagano sopra corrente perchè si muovono più velocemente della corrente stessa.

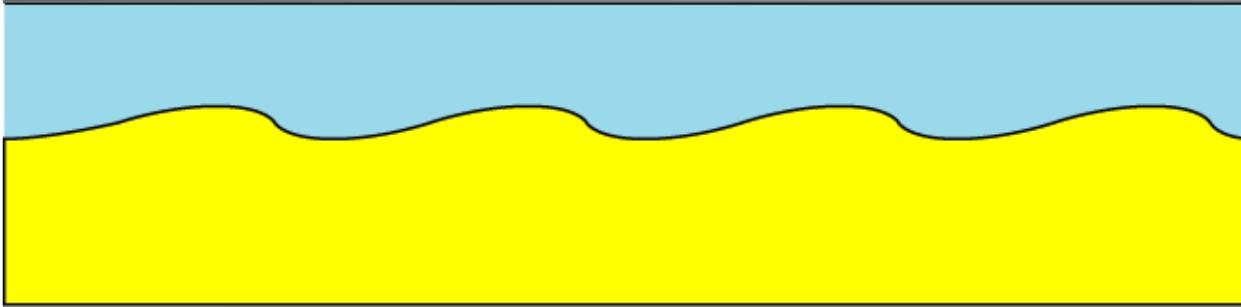
$$\mathbf{F} > 1, U > \sqrt{gD}$$

le onde sulla superficie dell'acqua si propagano sotto corrente perchè si muovono più lentamente della corrente stessa.

In sedimentologia il numero di Froude è importante per predire il tipo di bedform che si forma su un fondale di sedimento mobile.

$$F < 1$$

Water surface

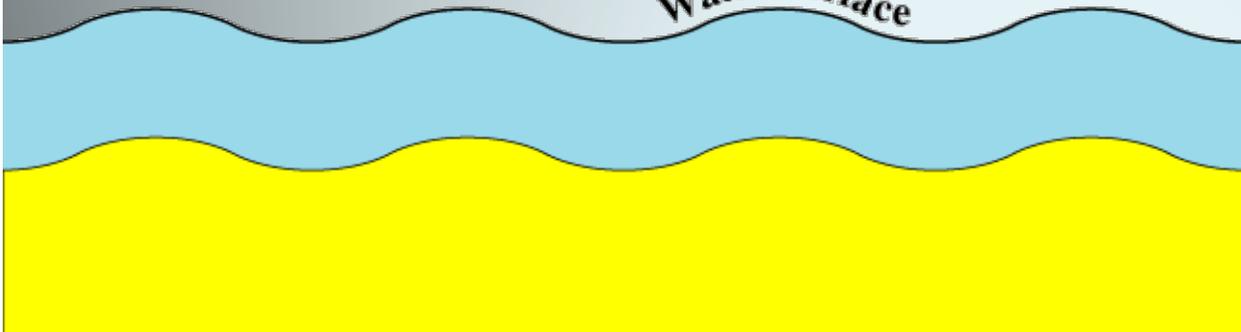


Le forme di fondo non sono in fase con la superficie dell'acqua.

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

$$F > 1$$

Water Surface



Le forme di fondo sono in fase con la superficie dell'acqua.

Riassunto dei concetti (video):

https://www.youtube.com/watch?v=_RqUdAlZ0LY

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*
- *morene*



TRASPORTO DEI SEDIMENTI DA FLUSSI UNIDIREZIONALI



Il sedimento trasportato da una corrente si divide in due classi principali:

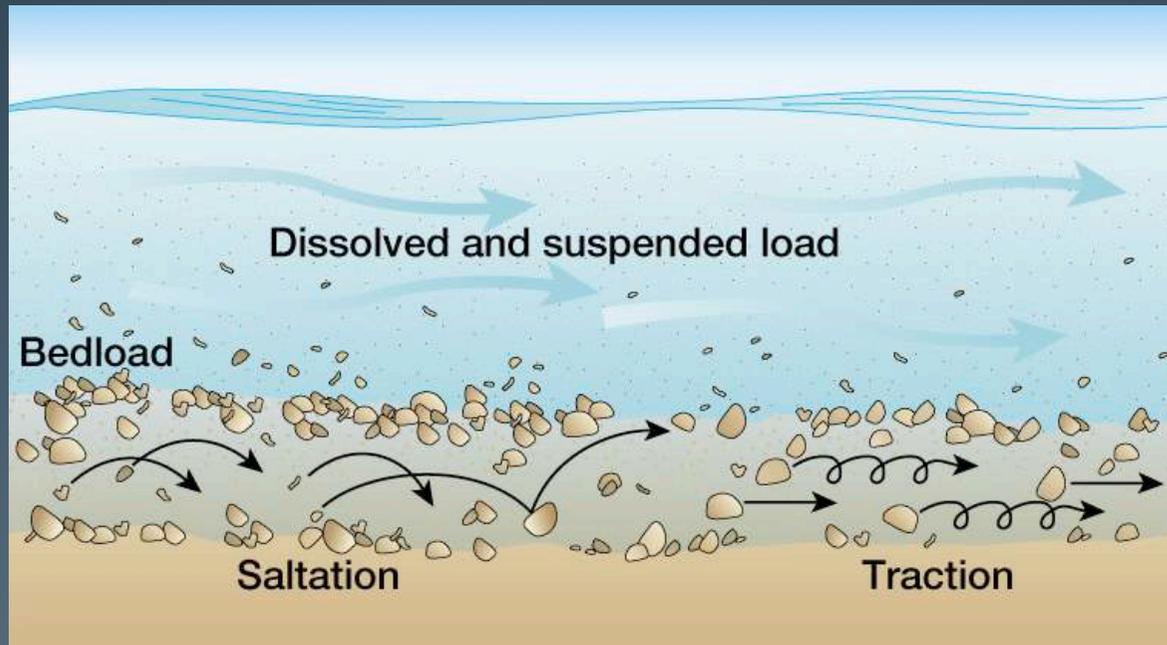
WASH LOAD (*carico sospeso*)

composto da silt e argilla che rimangono in sospensione anche durante eventi di scarsa portata fluviale.

BED LOAD (*carico di fondo*)

composto da sabbia e ghiaia che risiedono sul fondo ma che sono trasportati durante gli eventi di maggior portata (ad es. piene fluviali).

TRASPORTO SELETTIVO



WASH LOAD
(carico in sospensione)

silt e argilla

DECANTAZIONE

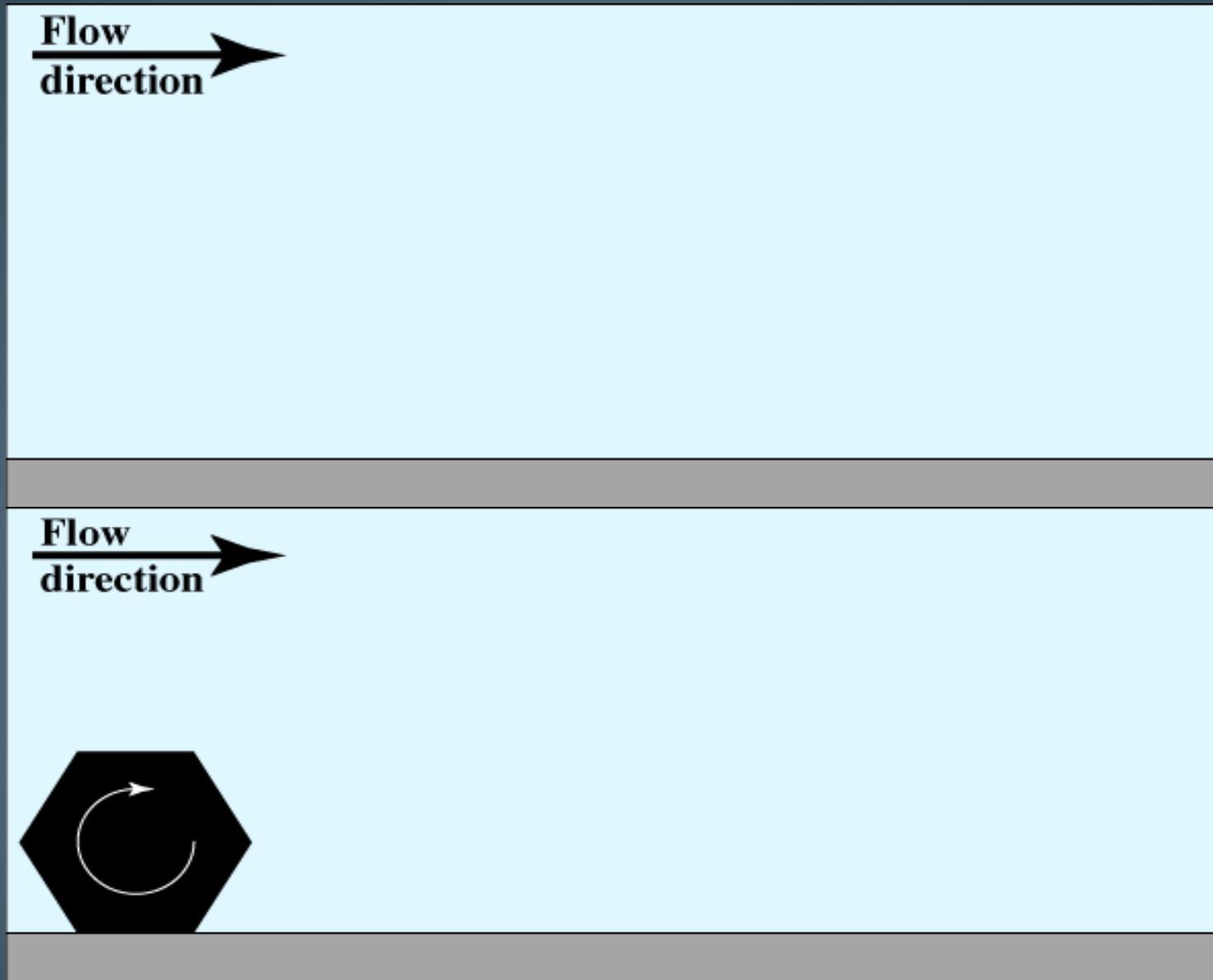
BED LOAD
(carico di fondo)

sabbia e ghiaia

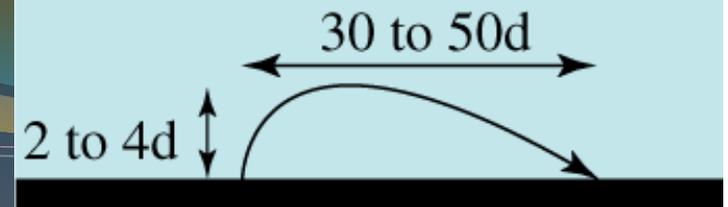
TRAZIONE

TRE COMPONENTI DEL BED LOAD:

1. *Contact load*: particelle che si muovono mantenendo il contatto col fondo scivolando (*sliding*) o rotolando (*rolling*)



2. *Saltation load*: movimento con una serie di balzi sul fondo, ciascuno secondo una traiettoria ballistica.



Flow
direction 



Slowly increasing flow strength

Quando la traiettoria ballistica è disturbata dalla turbolenza il movimento viene definito **Saltazione sospensiva** (*Suspensive saltation*)

Flow
direction 



Slowly increasing flow strength

3. Intermittent suspension load: particella trasportata in sospensione per la turbolenza del flusso.

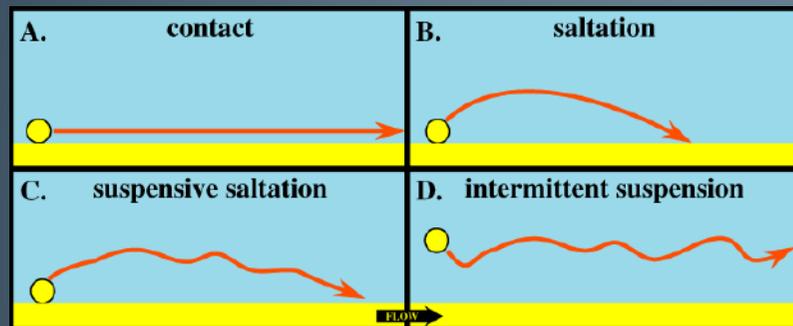
“Intermittente” perchè si mantiene in sospensione solamente durante eventi ad elevato flusso, altrimenti risiede come deposito di fondo.

**Flow
direction** 

Suspension transport



Le distinzioni delle modalità di trasporto, come già visto, si possono riconoscere anche nelle distribuzioni granulometriche, come singole componenti log-normali.



Da qui la possibilità di derivare le condizioni dinamiche della messa in posto (*diagramma di Hjulstrom*)

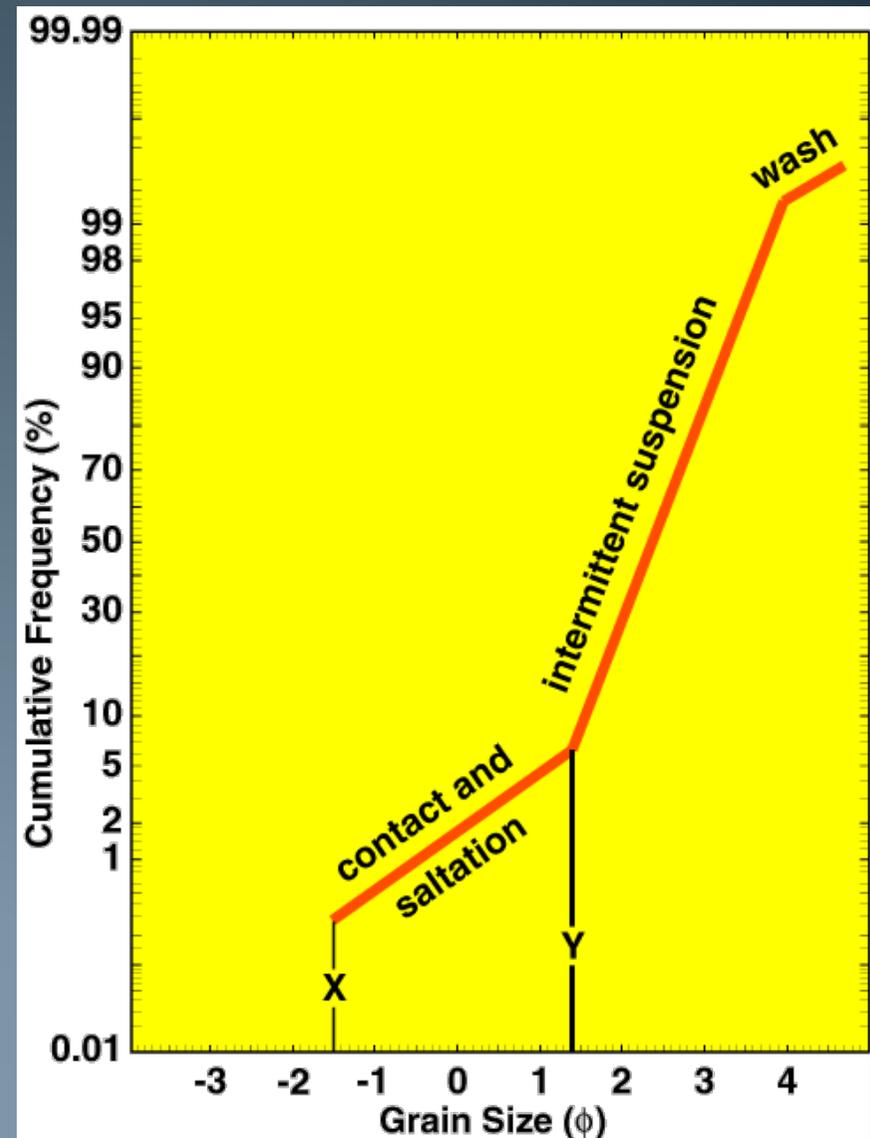
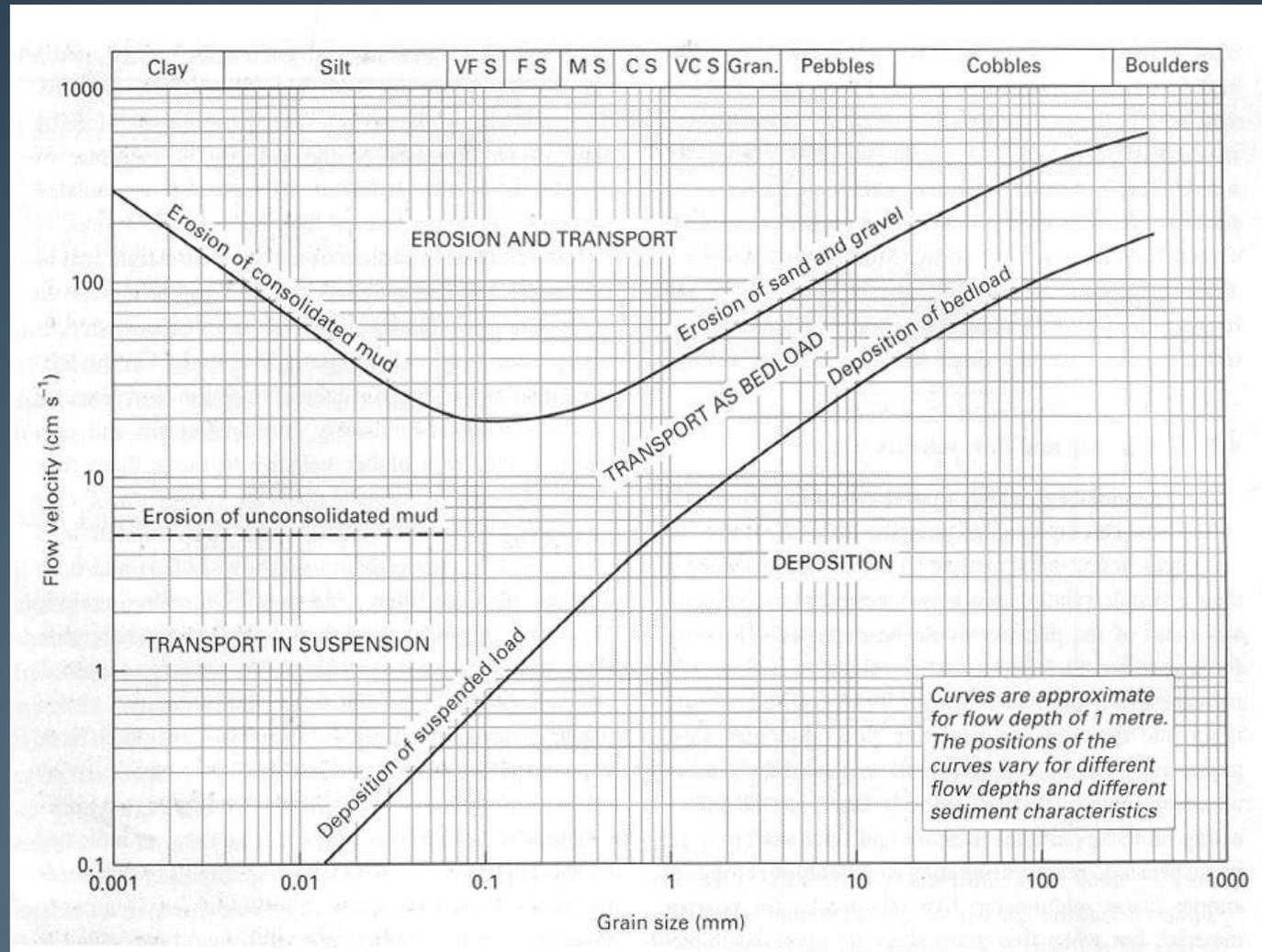


Diagramma di Hjulstrom e velocità critica di erosione



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.

PROCESSI TRATTIVI

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).

“EVOLUZIONE” del movimento per correnti trattive a regime crescente:

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

cambiamento relativamente rapido nell'aspetto del fondo

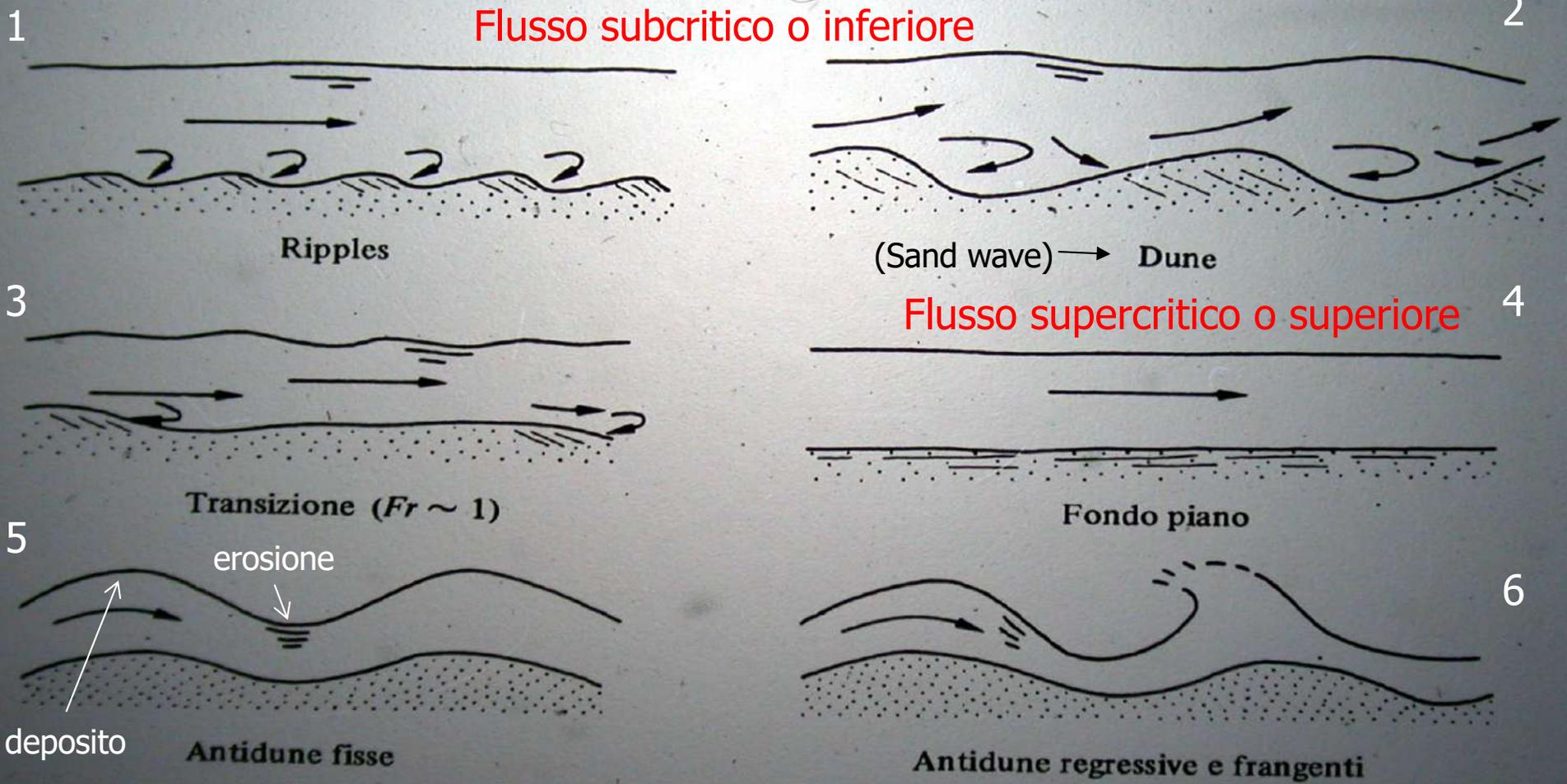


Fig. 14 – Forme di fondo prodotte da una corrente di regime crescente.

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

SONO in genere FORME ASIMMETRICHE

