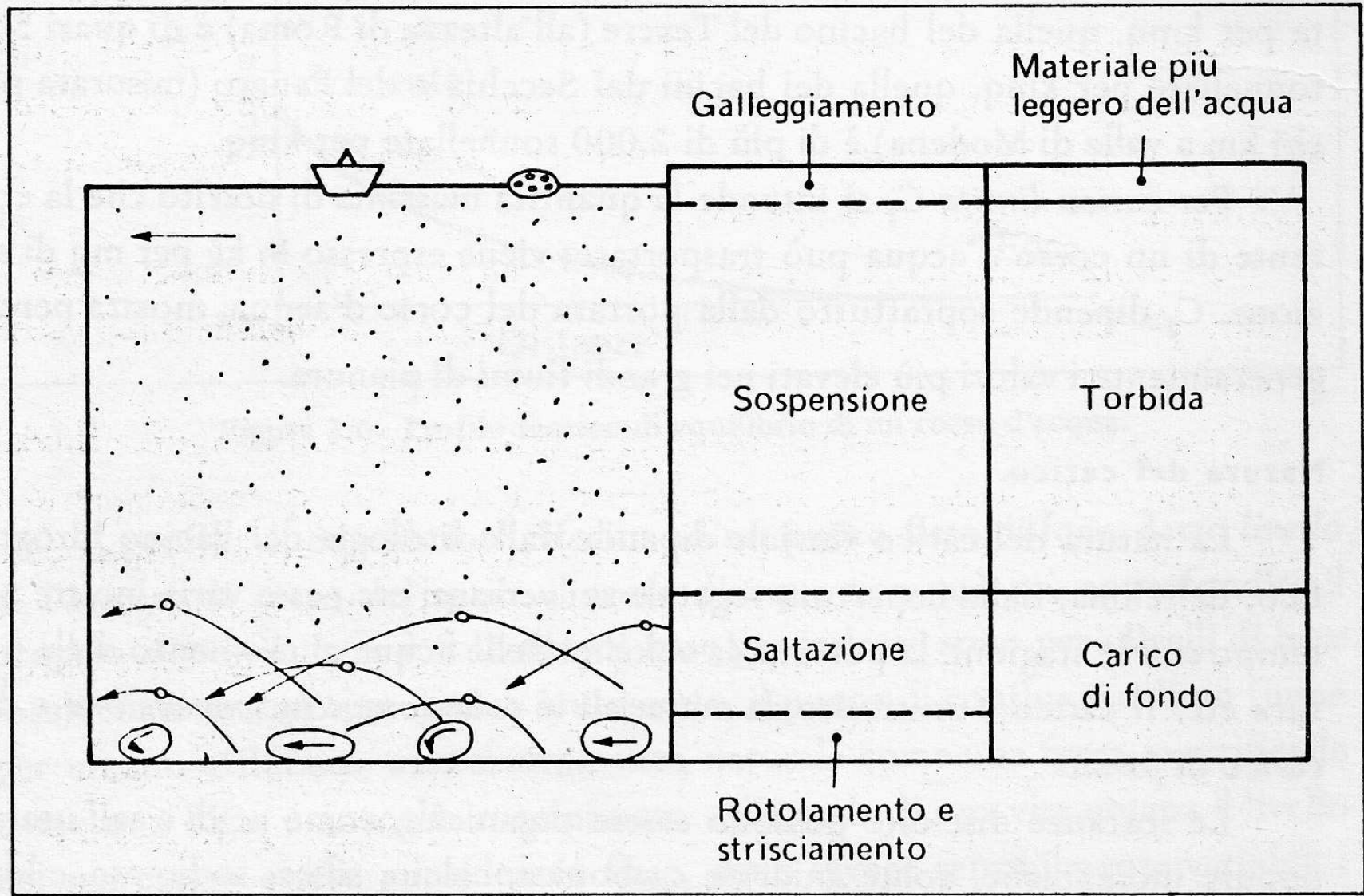


# Trasporto solido nei corsi d'acqua

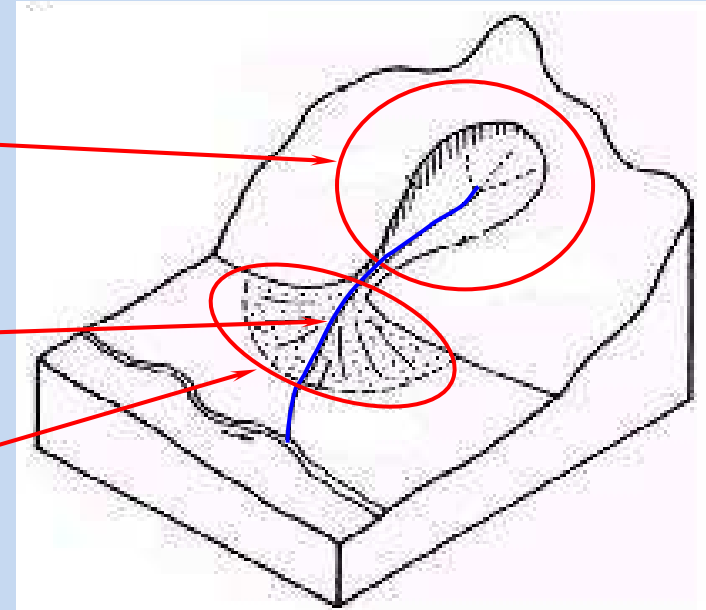




Bacino di alimentazione

Alveo principale

Cono di deiezione



## POSSIBILI AZIONI GEODINAMICHE

- 1) Caduta di detriti da rocce poste al di sopra del limite della vegetazione
- 2) Erosione del suolo e disgregazione di rocce prive di copertura vegetale
- 3) Scavo del letto del torrente
- 4) Franamento dei versanti



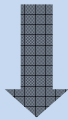
Conoide alluvionale

Conoide di deiezione



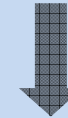
# CLASSIFICAZIONE DEI TORRENTI

**DI TRASPORTO**



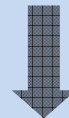
prevalgono le azioni  
geodinamiche 1) e 2)

**DI SCAVO**



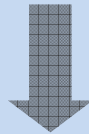
prevalgono le azioni  
geodinamiche 3) e 4)

**DI TIPO MISTO**

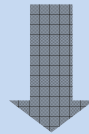


sono presenti tutte le azioni  
geodinamiche descritte con effetti  
che si sovrappongono in modo diverso

# TRASPORTO SOLIDO



Moto incipiente o "equilibrio limite"



Definizione di un valore critico delle variabili del moto

tensione critica di  
trascinamento

$\tau_c$

velocità critica

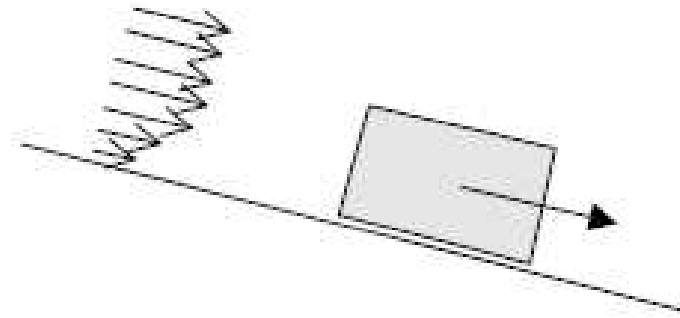
$V_c$

valore medio della velocità della corrente  
che discrimina lo stato fisico di non  
movimento del materiale solido da quello di  
trasporto

## SCHEMI CONCETTUALI DI TRASPORTO \_ INCIPIENTE MOVIMENTO

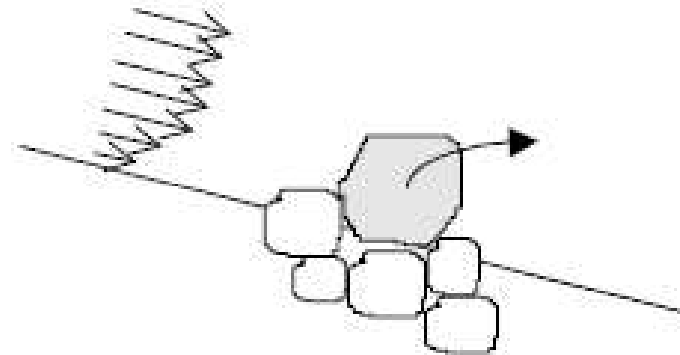
### *Strisciamento (attrito)*

La particella striscia sul fondo; le forze idrodinamiche devono superare la reazione vincolare di attrito radente.



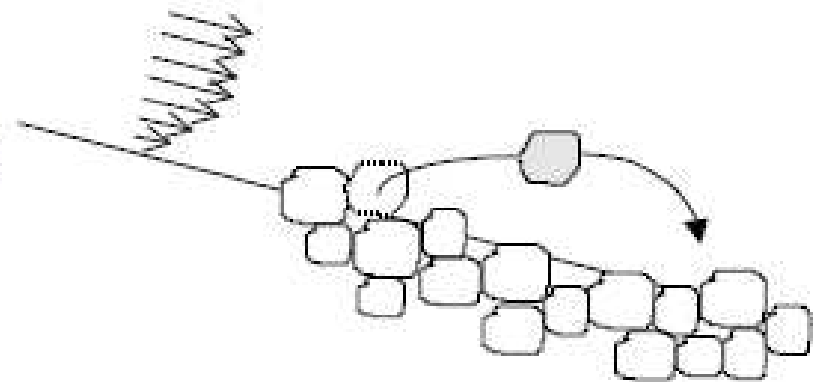
### *Ribaltamento (senza attrito)*

La particella è parzialmente incastrata sul fondo; le forze idrodinamiche devono farla ruotare rispetto al punto di appoggio.

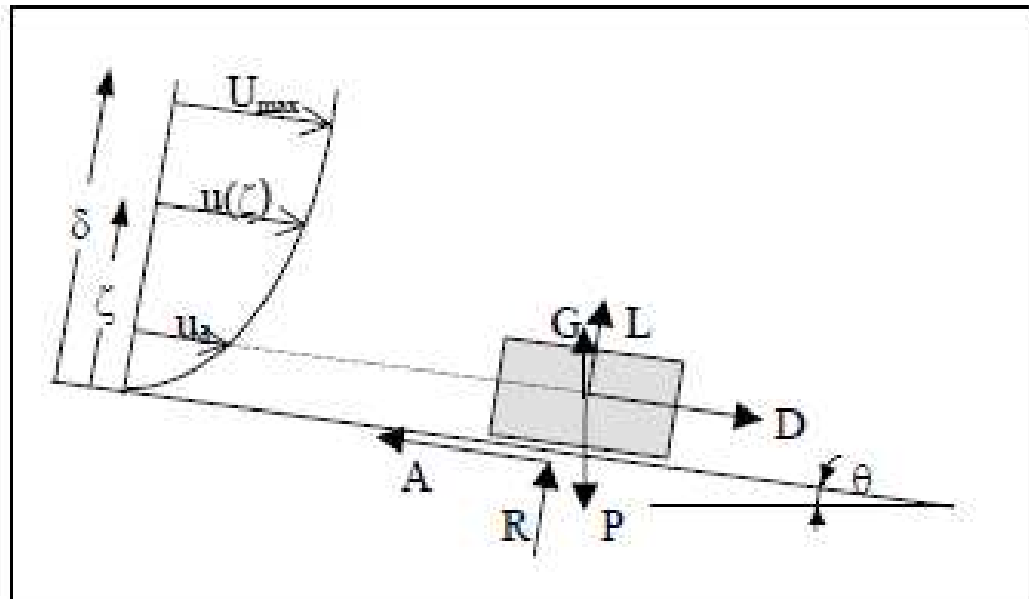


### *"Saltelli"*

La particella è parzialmente incastrata sul fondo; le forze idrodinamiche devono sollevarla rispetto al fondo.



## Condizione di incipiente movimento Schema di attrito radente



L = Lift (portanza)  
 D = Drag (resistenza)  
 G = spinta di Archimede  
 P = peso proprio  
 R = reazione vincolare normale  
 A = reazione vincolare tangenziale  
 (Attrito)

d = dimensione del "granello"

In condizioni di equilibrio statico le reazioni vincolari devono valere:

$$R = (P - G) \cos \theta - L$$

$$A = (P - G) \sin \theta + D$$

Il massimo valore della forza tangenziale è:  $A_{\max} = R \tan \beta$  ( $\beta$  = angolo di attrito).

La condizione di equilibrio limite (incipiente movimento) si ha per  $A = A_{\max}$



I termini possono essere esplicitati come:

$$D = (1/2 \rho u_d^2) C_D S$$

$$L = (1/2 \rho u_d^2) C_L S = K_L D$$

$$P - G = (\rho_s - \rho) g W$$

dove:

$u_d$  = velocità della corrente

$S$  = Superficie frontale del grano

$$S = \alpha_1 d^2$$

$W$  = volume del grano

$$W = \alpha_3 d^3$$

$C_D, C_L$  = coefficienti di Drag e di Lift che dipendono dalla forma del grano e dal numero di Reynolds;

I coefficienti  $\alpha_i$  sono legati alla forma dei grani, così come  $C_D$  e  $C_L$  e si considerano costanti e caratteristici della granulometria dei sedimenti.

Imponendo che  $A = A_{max}$  si ottiene:

$$(P - G) \sin \theta + D = R \tan \beta = [(P - G) \cos \theta - L] \tan \beta$$

da cui

$$D + L \tan \beta = (P - G) \cos \theta [\tan \beta - \tan \theta]$$

Sostituendo in

$$D + L \tan \beta = (P - G) \cos \theta [\tan \beta - \tan \theta]$$

le espressioni di  $D$ ,  $L$  e  $(P-G)$  si ottiene

$$(1 + K_L \tan \beta) C_D \alpha_1 d^2 (1/2 \rho u_d^2) = (\rho_s - \rho) g \alpha_3 d^3 \cos \theta [\tan \beta - \tan \theta]$$

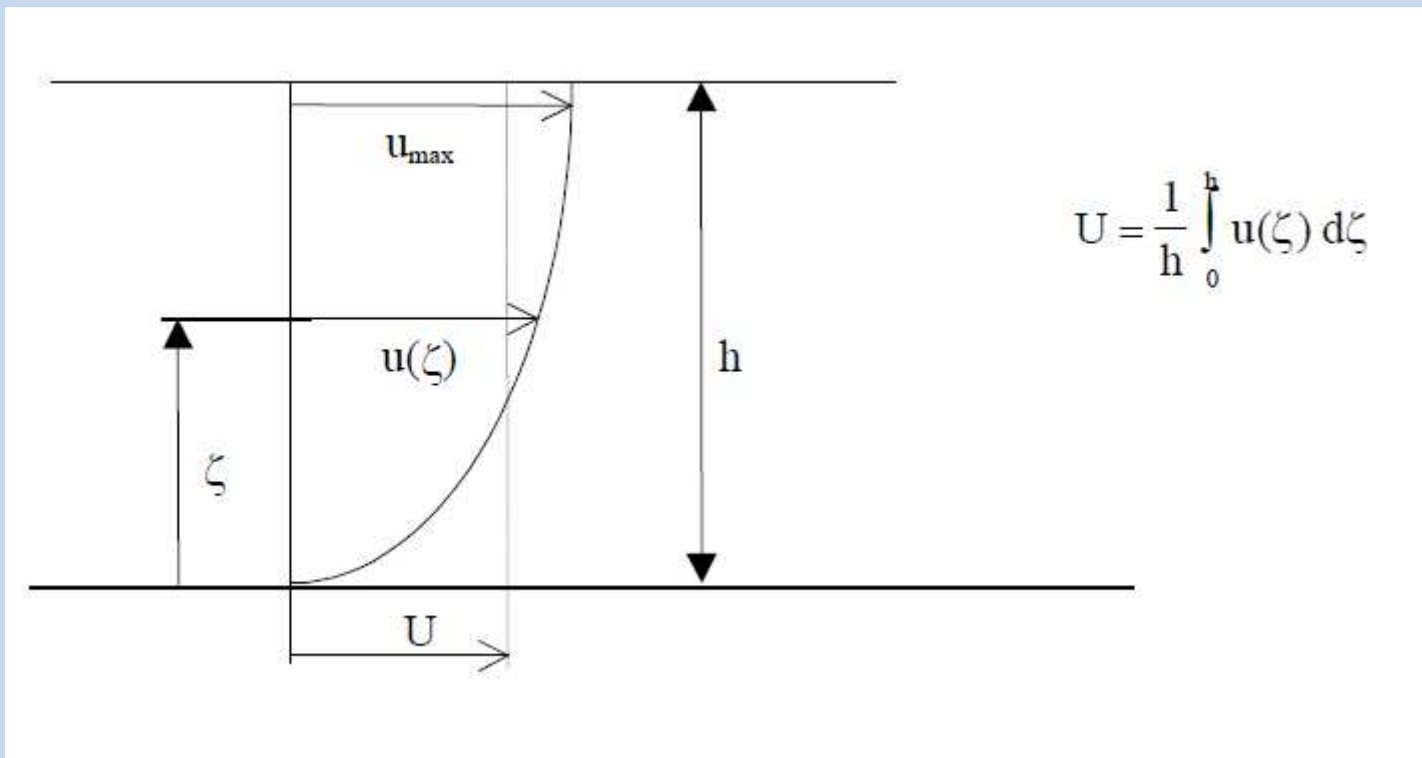
da cui

$$\frac{\rho u_{d,c}^2}{g [(\rho_s - \rho)] d} = \frac{2\alpha_3}{(1 + K_L \tan \beta) C_D \alpha_1} \tan \beta \cos \theta \left( 1 - \frac{\tan \theta}{\tan \beta} \right)$$

La velocità  $u_d$  rappresenta la velocità efficace agli effetti delle forze fluidodinamiche e può essere considerata pari alla velocità della corrente ad una opportuna distanza dal fondo proporzionale alla dimensione del grano, mentre il pedice  $c$  individua la condizione critica

La distribuzione verticale di velocità in una corrente a pelo libero non è uniforme: la condizione di aderenza impone velocità nulla sul fondo, cosicché il profilo assume il caratteristico andamento di strato limite.

Detta  $u(\zeta)$  la velocità puntuale in funzione della distanza  $\zeta$  dal fondo, la forma del profilo impone un legame fra la velocità media  $U$  e lo sforzo  $\tau$  sul fondo, essendo lo sforzo legato ai gradienti di velocità in prossimità del fondo medesimo.



Per una corrente a pelo libero sviluppata, in assenza di singolarità, si può assumere per il profilo una legge di forma "universale" del tipo:

$$\frac{u(\zeta)}{u^*} = f_1\left(\frac{\zeta}{d}\right) \quad \text{ove} \quad \tau = \rho u^{*2}$$

da cui ovviamente, detta  $U$  la velocità media

$$\frac{U}{u^*} = f_2\left(\frac{h}{d}\right)$$

Il legame tra  $\tau$  e  $U$  può essere anche espresso in termini della cadente  $J$  della corrente come segue :

$$\tau = \rho u^{*2} = \gamma R J$$

$$J = \frac{U^2}{C^2 R}$$



$$\frac{U}{u^*} = \frac{C}{\sqrt{g}} = f_2\left(\frac{h}{d}\right)$$

Assumendo che

$$u_d = u(\zeta = \alpha_4 d) \quad \text{nell'ipotesi che la legge sia} \quad \frac{u(\zeta)}{u^*} = f_1\left(\frac{\zeta}{d}\right)$$

si ottiene

$$\frac{u_d}{u^*} = f\left(\alpha_4 = \frac{\zeta}{d}\right) = \alpha_5$$

per cui

$$\frac{\rho u_c^{*2}}{g[(\rho_s - \rho)]d} = \frac{2\alpha_3 \tan \beta}{(1 + K_L \tan \beta) C_D \alpha_1 \alpha_5^2} \cos \theta \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \beta}\right)$$

che può sintetizzarsi in

$$\phi_c = \frac{\rho u_c^{*2}}{g[(\rho_s - \rho)]d} = f(\text{Re}) \cos \theta \left(1 - \frac{\tan \theta}{\tan \beta}\right)$$

Numero di Shields

$$\phi = \frac{\rho u^{*2}}{g[(\rho_s - \rho)]d} = \frac{u^{*2}}{g\Delta d}$$

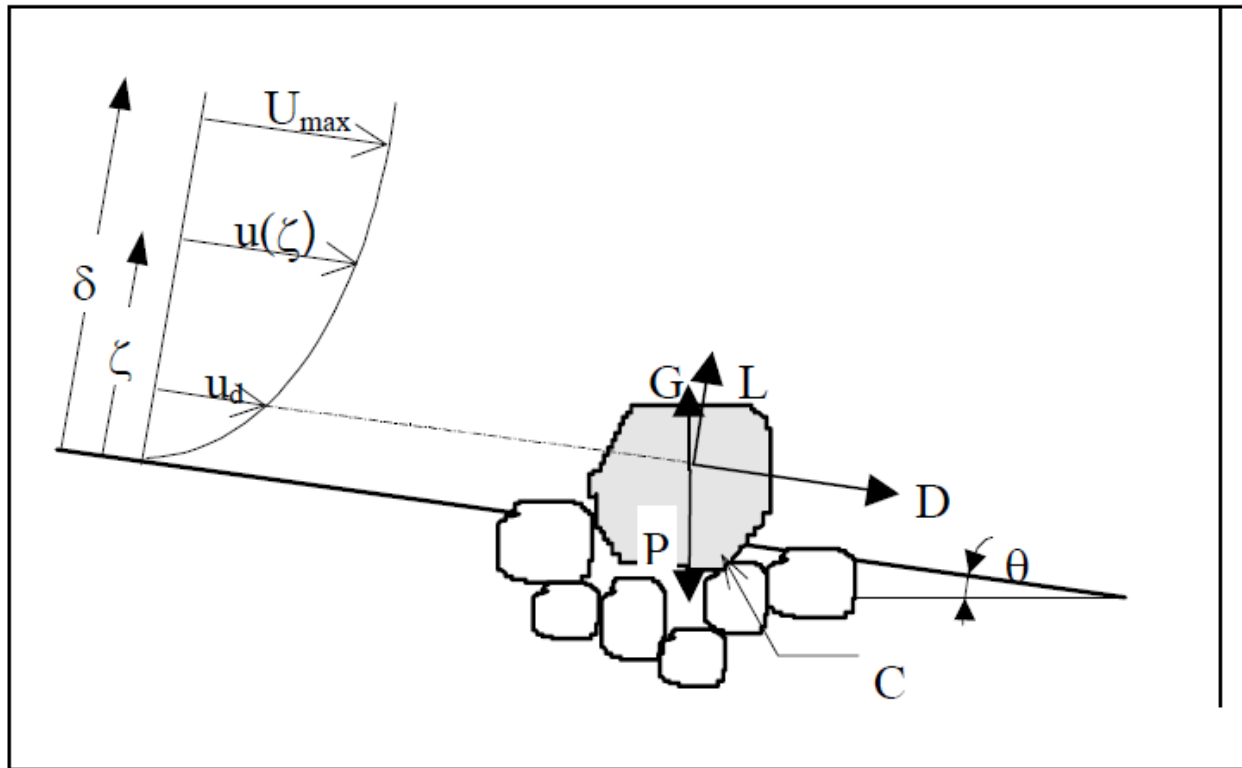
che può essere interpretato come il rapporto fra le forze di trascinamento della corrente e le forze stabilizzanti (peso immerso).

Date le caratteristiche della corrente (e quindi  $\rho$ ,  $\tau$ ) e quelle dei sedimenti ( $\rho_s - \rho$ ,  $d$ ), per valutare la stabilità delle particelle si deve confrontare il valore di  $\phi$  con  $\phi_c$

È importante osservare che:

$$\phi = \frac{u^{*2}}{g\Delta d} = \frac{\tau / \rho}{g\Delta d} = \frac{\gamma R J / \rho}{g\Delta d} = \frac{R J}{\Delta d}$$

# SCHEMA DI ROTOLAMENTO



L = Lift (portanza)  
D = Drag (resistenza)  
T = L + D (vettoriale!)  
G = spinta di Archimede  
P = peso proprio

d = dimensione del "granello"

Si impone l'equilibrio rispetto al punto C (punto di contatto)  
Avendo definito come  $b_T$  e  $b_{GP}$  i bracci delle forze T e  $G+P$   
rispetto al punto C

$$(P - G) b_{GP} = T b_T$$

Dalla precedente rinviene che:

$$(\rho_s - \rho) g \alpha_3 d^3 b_{GP} = C_D \alpha_1 d^2 (1/2 \rho u_d^2) (1 + K_L^2)^{0.5} b_T$$

per cui si ha :

$$\frac{\rho u_{d,c}^2}{g [(\rho_s - \rho)] d} = \frac{2\alpha_3}{C_D \alpha_1 (1 + K_L^2)^{0.5}} \left( \frac{b_{GP}}{b_T} \right)$$

È opportuno osservare come la dipendenza del numero di Shields dalla pendenza  $\theta$  è implicitamente contenuta nell'espressione del braccio  $b_{GP}$

Questo ultimo è nullo quando l'alveo è orizzontale ( $i=0$ )