

Corso di Protezione Idraulica del Territorio

Sistemazioni idraulico-forestali dei corsi d'acqua a carattere torrentizio



Antonino Cancelliere

*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Università di Catania
acance@dica.unict.it*

Le sistemazioni idrauliche

- Con il termine sistemazioni idrauliche si intendono tutte le attività e gli interventi nei corsi d'acqua volte a modificare il regime di moto dell'acqua al fine di:
 - Ridurre i fenomeni di erosione in alveo e nei versanti
 - Ridurre la probabilità del verificarsi di esondazioni
 - Modificare il regime del trasporto solido
 - Imporre condizioni di “equilibrio”

Equilibrio?



Equilibrio?



Sistemazioni idrauliche

- In generale occorre distinguere tra:
 - sistemazione del tratto montano (torrenti)
 - Sistemazione del tratto medio-vallivo
- Nel primo caso, gli interventi sono prevalentemente orientati a ridurre i fenomeni di erosione, e più in generale, a ridurre gli effetti nocivi legati al trasporto di sedimenti
- Nel secondo caso, gli interventi sono prevalentemente mirati a ridurre il rischio di esondazione, attraverso la realizzazione di manufatti come ad es. arginature, casse di espansione, risagomatura degli alvei, etc.
- La natura dei problemi da affrontare, differisce sostanzialmente nei due casi

Erosione con di sponda con danni a strade



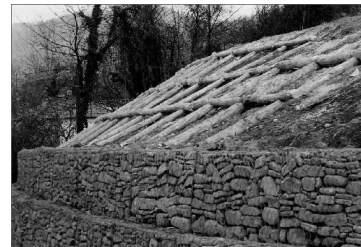
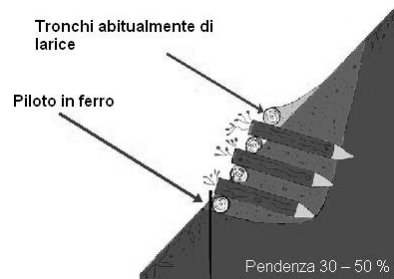
La sistemazione dei torrenti

- Con il termine torrente si indica il tratto di un corso d'acqua caratterizzato da:
 - Bacino relativamente poco esteso
 - Pendenze elevate
 - Portate modeste caratterizzate da una elevata variabilità temporale
 - Trasporto solido costituito da materiale di grosse dimensioni
- Una classificazione tradizionale distingue tra:
 - Torrenti di trasporto
 - Torrenti in scavo
 - Torrenti misti

La sistemazione dei torrenti

- Stabilità dei versanti
 - Interventi volti a ridurre i fenomeni erosivi sul bacino, specie quelli localizzati
 - Terrazzamenti, seminagione di essenze adeguate, opere di drenaggio
- Stabilità delle sponde
 - Muri di sponda, scogliere longitudinali
 - Protezione in pietrame, gabbionate, etc
 - Briglie
- Stabilità dell'asta
 - Interventi sul profilo del corso d'acqua, con l'obiettivo di modificare i fenomeni di erosione e trasporto solido
 - Briglie
 - Soglie di fondo

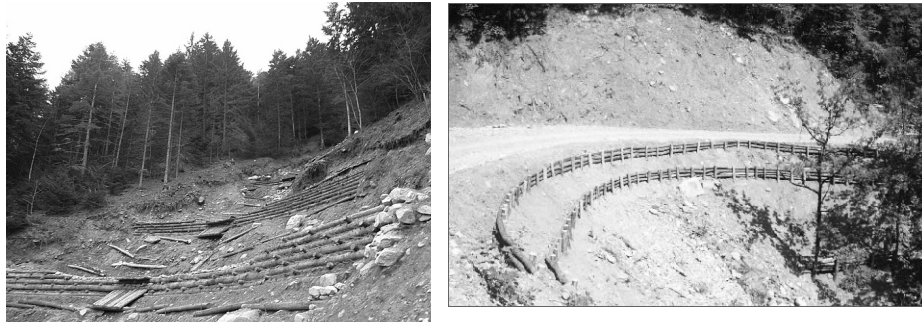
Sistemazioni dei versanti



Erosione delle sponde e possibili interventi di sistemazione



Esempi di palificate



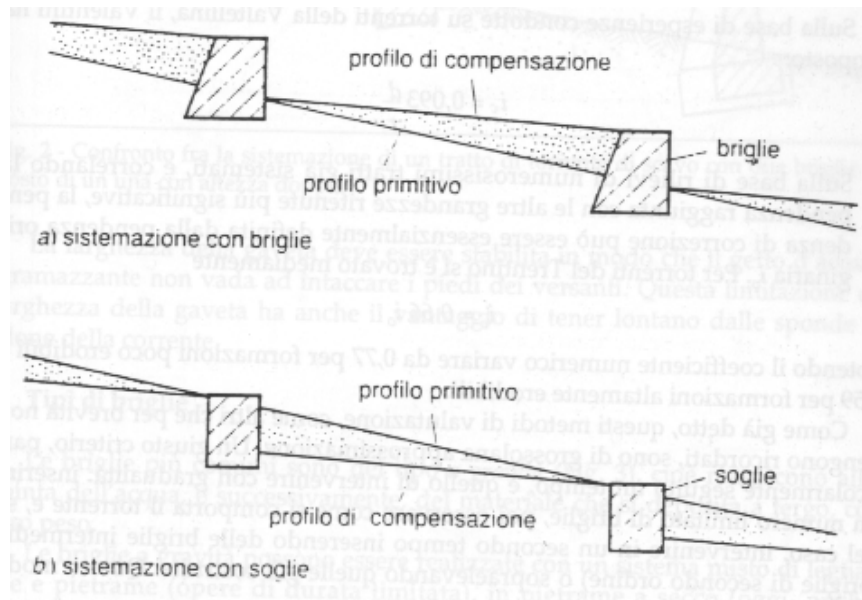
La sistemazione dei torrenti

- Torrenti di trasporto
 - Forti fenomeni erosivi nei versanti
 - Possibili problemi legati alla formazione di colate detritiche
 - Accumulo di materiali a valle
- Interventi
 - Riduzione dell'erosione nei versanti
 - Costruzione di briglie di trattenuta del materiale
 - Creazione di piazze di deposito a valle

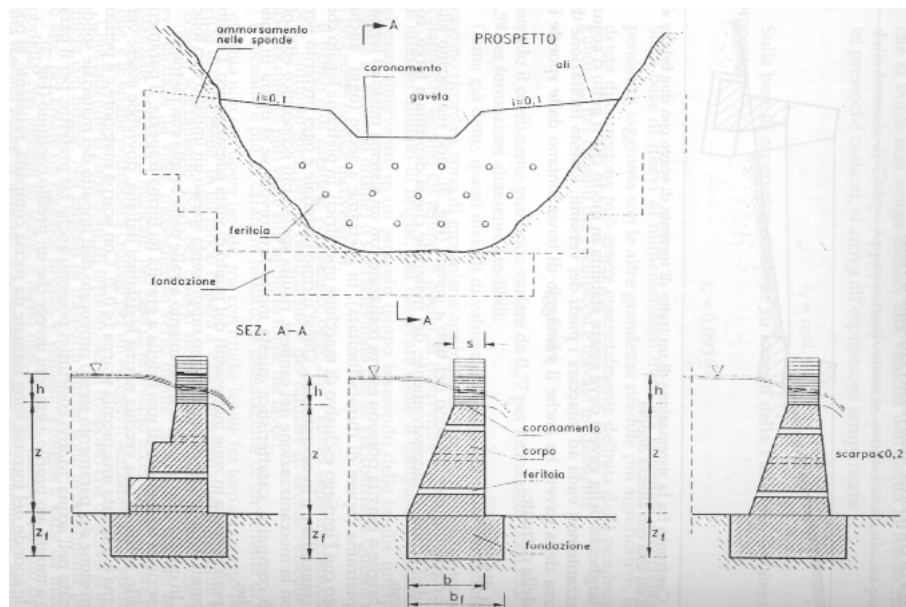
La sistemazione dei torrenti

- Torrenti in scavo
 - Forti fenomeni erosivi nell'asta
 - Fenomeni di instabilità delle sponde
- Interventi
 - Riduzione della forza erosiva dell'acqua attraverso una correzione della pendenza (sistemazione a soglie o briglie)

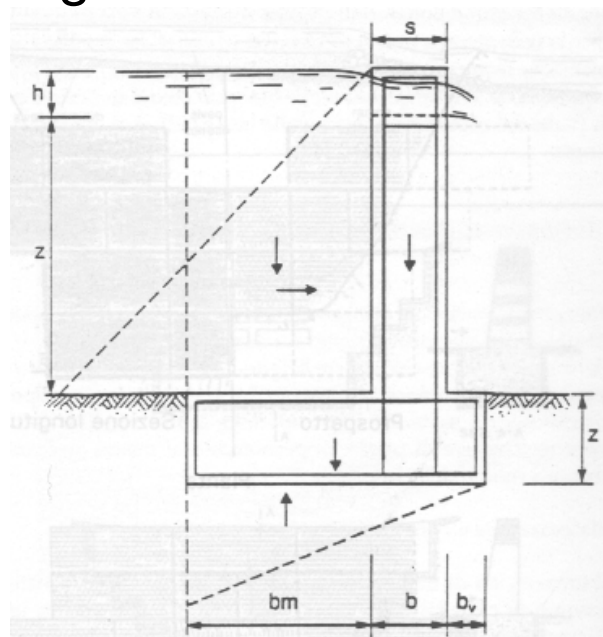
Sistemazione a briglie o soglie



Briglie a gravità



Briglie a mensola in c.a.



Briglia in terra

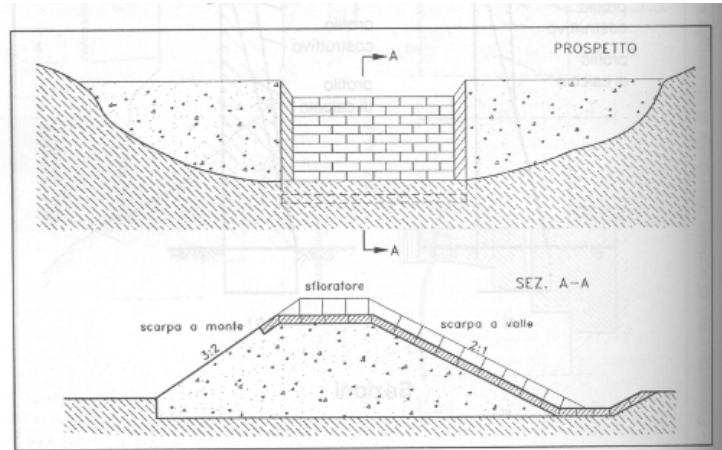
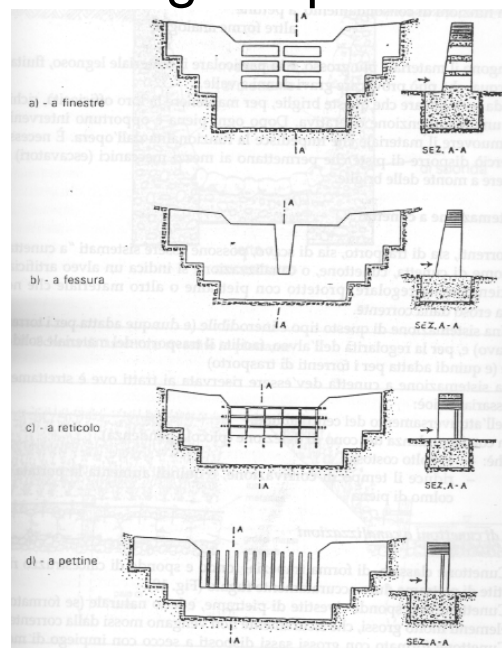
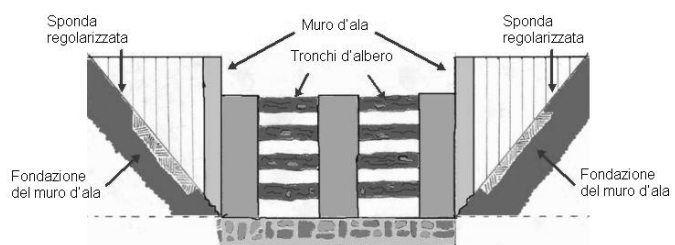


Fig. 5 - Schema di una briglia in terra

Briglie aperte



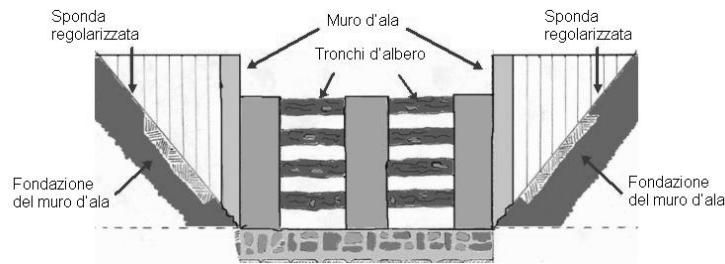
Briglie



Briglie in legno e pietrame



Briglie selettive



Il trasporto solido

- Il trasporto solido gioca un ruolo fondamentale nella evoluzione di un corso d'acqua ed in particolare dei torrenti
- Si può distinguere tra
 - Trasporto di materiale sul fondo e in sospensione da parte di una corrente idrica
 - Impasto fluido di detriti in cui l'acqua ha il ruolo di fluidificante (*colate detritiche, debris flows*)

Trasporto solido

- Trasporto sul fondo
 - Il materiale viene mobilitato sul fondo per azione di trascinamento della corrente
 - Moto per rotolamento, strisciamento, saltellamento
- Trasporto in sospensione
 - Trasporto di materiali più fini (sabbie, limi, argille) in sospensione
 - Effetto preponderante della turbolenza
- Nel primo caso, il materiale ha prevalentemente origine nell'alveo del corso d'acqua
- Nel secondo caso, l'origine è mista (alveo e versanti)

Tensione tangenziale media al fondo

- Il valore medio della tensione tangenziale al fondo può essere calcolato esprimendo una condizione di equilibrio alla traslazione:

$$\gamma A l \sin \alpha = \tau_o l P$$

- Posto $\sin \alpha = \tan \alpha = i$

$$\tau_o = \gamma A / P = \gamma R$$

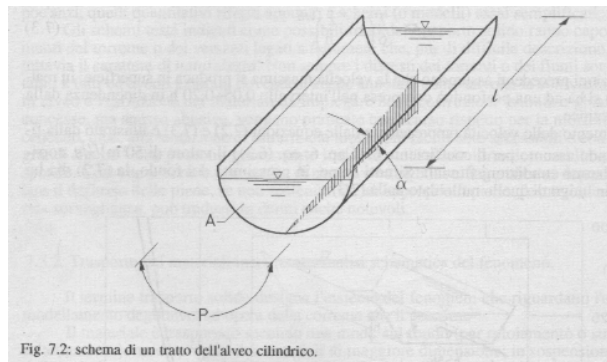
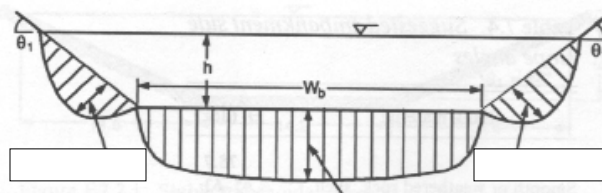


Fig. 7.2: schema di un tratto dell'alveo cilindrico.



Condizione di equilibrio dei sedimenti

- Si consideri l'equilibrio di un granulo di diametro d con peso specifico γ_s
- La spinta del fluido sarà proporzionale alla sezione del granulo:

$$F = C_D A \rho \frac{v^2}{2} = C_D \frac{\pi d^2}{4} \rho \frac{v^2}{2}$$

- D'altra parte, in condizioni di moto incipiente, la tensione tangenziale media vale:

$$\tau_{cr} = \mu R$$

- Che combinata con l'eq. di Chezy

$$v = C \sqrt{iR}$$

porge:

$$v^2 = C^2 \frac{\tau_{cr}}{\gamma}$$

Condizione di equilibrio dei sedimenti

- Sostituendo:

$$F = C_D \frac{\pi d^2}{8} \rho \frac{C^2}{\gamma} \tau_{cr} = \Phi \tau_{cr} d^2$$

F è funzione delle caratteristiche dei granuli e del letto a cui appartengono e del numero di Reynolds relativo alla velocità di attrito

$$v^* = \sqrt{\frac{\tau_{cr}}{\rho}} \quad \text{Re}^* = \frac{v^* d}{\nu}$$

essendo ν la viscosità cinematica ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ per acqua a 20°)

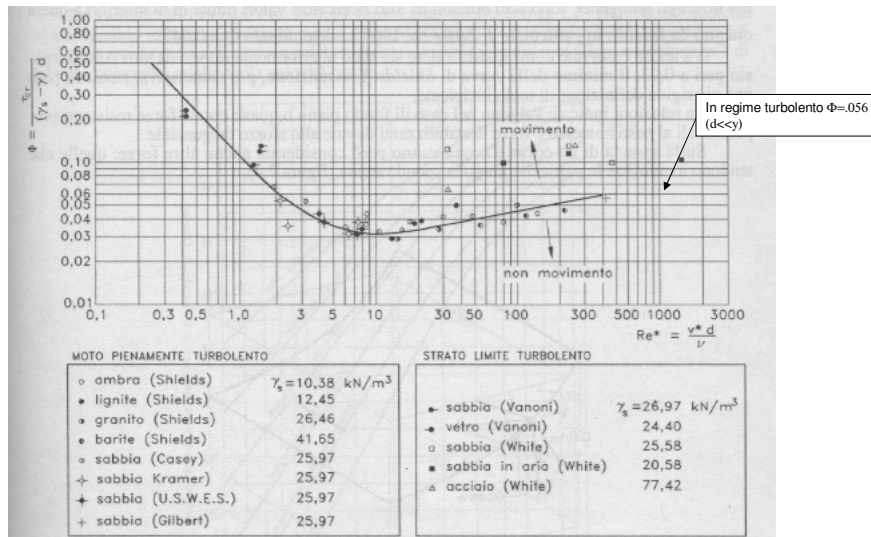
L'azione resistente R può assumersi proporzionale al peso immerso del granulo:

$$R \propto (\gamma_s - \gamma) d^3$$

Dalla condizione di equilibrio $F=R$ si ricava:

$$\Phi(\text{Re}^*) = \frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) d}$$

Abaco di Shields



In regime turbolento per d paragonabile a y $\Phi = .06 \left[1 + .67 \left(\frac{d}{y} \right)^5 \right]$

Abaco di Shields

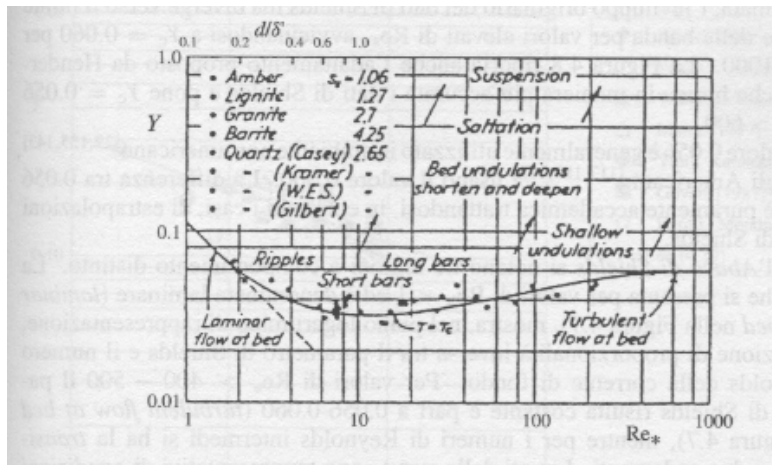
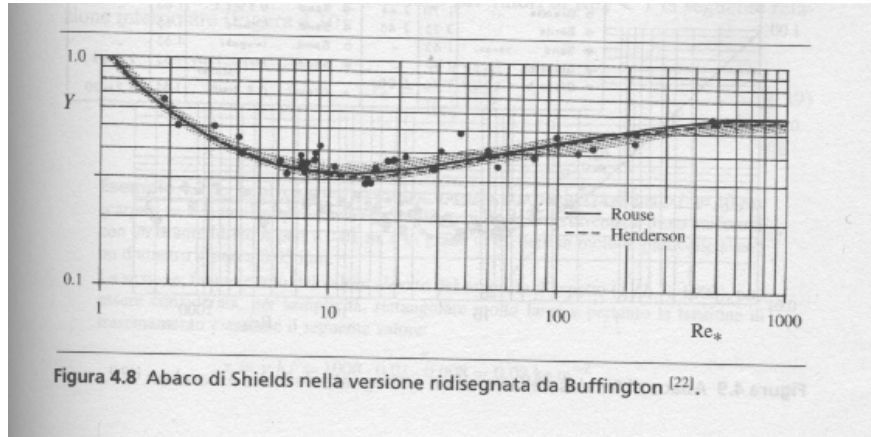
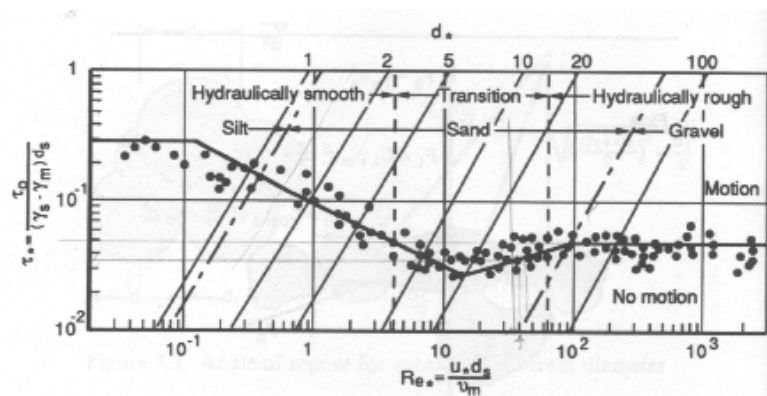


Figura 4.7 Abaco di Shields nella versione ridisegnata da Rouse [160].

Abaco di Shields

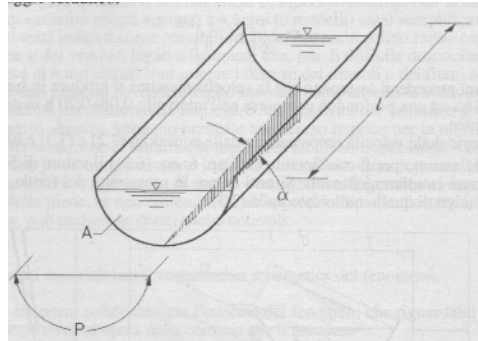


Abaco di Shields



Condizione di equilibrio in una sponda

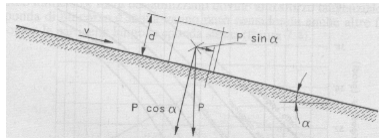
- La condizione di equilibrio di Shields vale per il fondo piano o quasi. Sulla sponda di un corso d'acqua occorre tenere conto anche della pendenza della sponda



- Relazione di Lane (1953)

$$t_{cr}(\alpha) = t_{cr}(0) \left(\cos \alpha \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \phi}} \right)$$

Equilibrio di un cubetto



- Componente del peso immerso

$$F_1 = P \sin \alpha = (\gamma_s - \gamma) d^3 \sin \alpha$$

- Spinta idrodinamica

$$F_2 = C_D d^2 \rho \frac{v_f^2}{2}$$

- Resistenza d'attrito

$$R = f(\gamma_s - \gamma) d^3 \cos \alpha$$

- Equilibrio alla traslazione

$$F_1 + F_2 = R$$

- Equilibrio alla rotazione

$$(F_1 + F_2) \frac{d}{2} = \frac{Pd}{2} \cos \alpha$$

Equilibrio di un cubetto

- Assumendo la pendenza trascurabile, $\alpha=0$, dalla condizione di equilibrio alla traslazione si ottiene

$$v_{cr} = \sqrt{f} \sqrt{2gd(\gamma_s - \gamma)/(C_D \gamma)}$$

- Mentre dalla condizione di equilibrio alla rotazione si ottiene:

$$v_{cr} = \sqrt{2gd(\gamma_s - \gamma)/(C_D \gamma)}$$

- La prima condizione è più critica ($f < 1$) e può essere scritta come:

$$v_{cr} = c\sqrt{d}$$

- Dove c assume valori compresi tra 4 (equilibrio) e 8 (movimento).

Pendenza di equilibrio

- La pendenza di equilibrio può essere determinata assumendo proporzionalità tra la velocità media e la velocità critica:

$$v_{cr} = c\sqrt{d} \qquad v = C\sqrt{iR}$$

$$c\sqrt{d} \propto C\sqrt{Ri}$$

$$i \propto \left(\frac{c}{C}\right)^2 \frac{d}{R}$$

$$i = k \frac{d}{R}$$

- Secondo Valentini per i torrenti della Valtellina $k=.093$
- Secondo Marzolo per i fiumi Adda e Mera $k=.871$

Pendenza di equilibrio

- In alternativa, la pendenza di equilibrio può essere determinata a partire dall'equazione di Shields sulla base del diametro d_{90} del materiale.
- L'equazione di Chezy-Strickler, combinata con quella relativa allo sforzo tangenziale medio porge:

$$v = K_s R^{2/3} \sqrt{\frac{\tau}{\gamma R}} \quad Q = K_s P R^{7/6} \sqrt{\frac{\tau}{\gamma}}$$

- Risolvendo rispetto ad R:
$$R = \left(\frac{Q}{K_s P \sqrt{\frac{\tau}{\gamma}}} \right)^{\frac{6}{7}}$$
- da cui, sostituendo il τ critico di Shields in moto turbolento

$$R = \left(\frac{Q}{K_s P \sqrt{.06(\gamma_s/\gamma - 1)d_*}} \right)^{\frac{6}{7}}$$

Pendenza di equilibrio

- Sostituendo nell'equazione dello sforzo tangenziale medio:

$$.06(\gamma_s/\gamma - 1)d_* = \gamma R i$$

è possibile determinare i

Pendenza di equilibrio

- Ancora, la pendenza di equilibrio può essere ottenuta tramite considerazioni dinamiche
- In condizioni di moto incipiente, lo sforzo tangenziale al fondo è pari a quello critico:

$$\tau = \tau_{cr}$$

$$\gamma R i = .056(\gamma_s - \gamma)d$$

- Risolvendo rispetto ad i :

$$i = .056 \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \frac{d}{R}$$

- Sostituendo $\gamma = 2650 \text{ kg/m}^3$

$$i = .0924 \frac{d}{R}$$

Espressione molto vicina a quella di Valentini