

INDICE INGEGNERIA FLUVIALE

PARTE 2

I SCHEMA

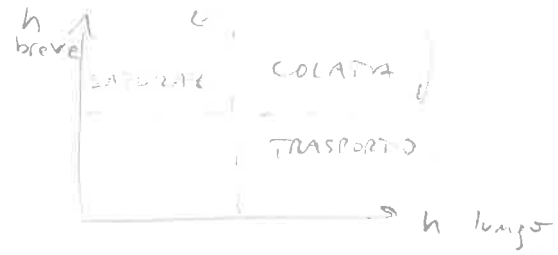
- 1 OPERE TRASVERSALI
 - 1.1 BRIGLIE CHIUSE
 - 1.2 BRIGLIE APERTE
 - 1.3 PIAZZA DI DEPOSITO
 - 1.4 TAGLIO IDRODINAMICO
- 2 OPERE LONGITUDINALI
 - 2.1 ARGINI
 - 2.2 MURI DI SPONDA
 - 2.3 PROTEZIONE DI SPONDA
- 3 PENNELLI O REPELLENTI
- 4 COLATE DI DEFRITI
- 5 ESERCIZI
- 6 DISEGNI OPERE
- 7 FOCUS

1) Teoria Einstein (esame)

2) veggio idraulico briglia

OK

3) grafico piogge \rightarrow colate



4) vantaggi/svantaggi scivolo



5) BAGNOLD $\tau^p = \beta_s \left(\lambda d \frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 \alpha_L \text{ (SMD) ?}$

6) formule impatto colata

+ spinta $h_g = h_i^2 \left(\frac{v_i}{c} \right)^2$

SCHEMA

OPERE
TRASVERSALI

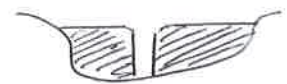
BRIGLIE

CHIUSE



BRIGLIE

APERTE



VALUTAZIONI

Consolidamento

Trattenute

DIMENSIONAMENTO
GAVETA

Caso 1

$F_{rm} > 1$

Caso 2

critica

Caso 3

$F_{rm} < 1$

DIMENSIONAMENTO
FESSURA

Caso 1

$h_m \leq h_c$

Caso 2

$h_m > h_c$

Caso 3

Transizione

CRISI erosione al
Piede (valle)

VERIFICHE

IDRODINAMICHE

aumento d_{50}

aumento h_v — controllo con

CONTROBRIGLIA

VERIFICHE STATICHE

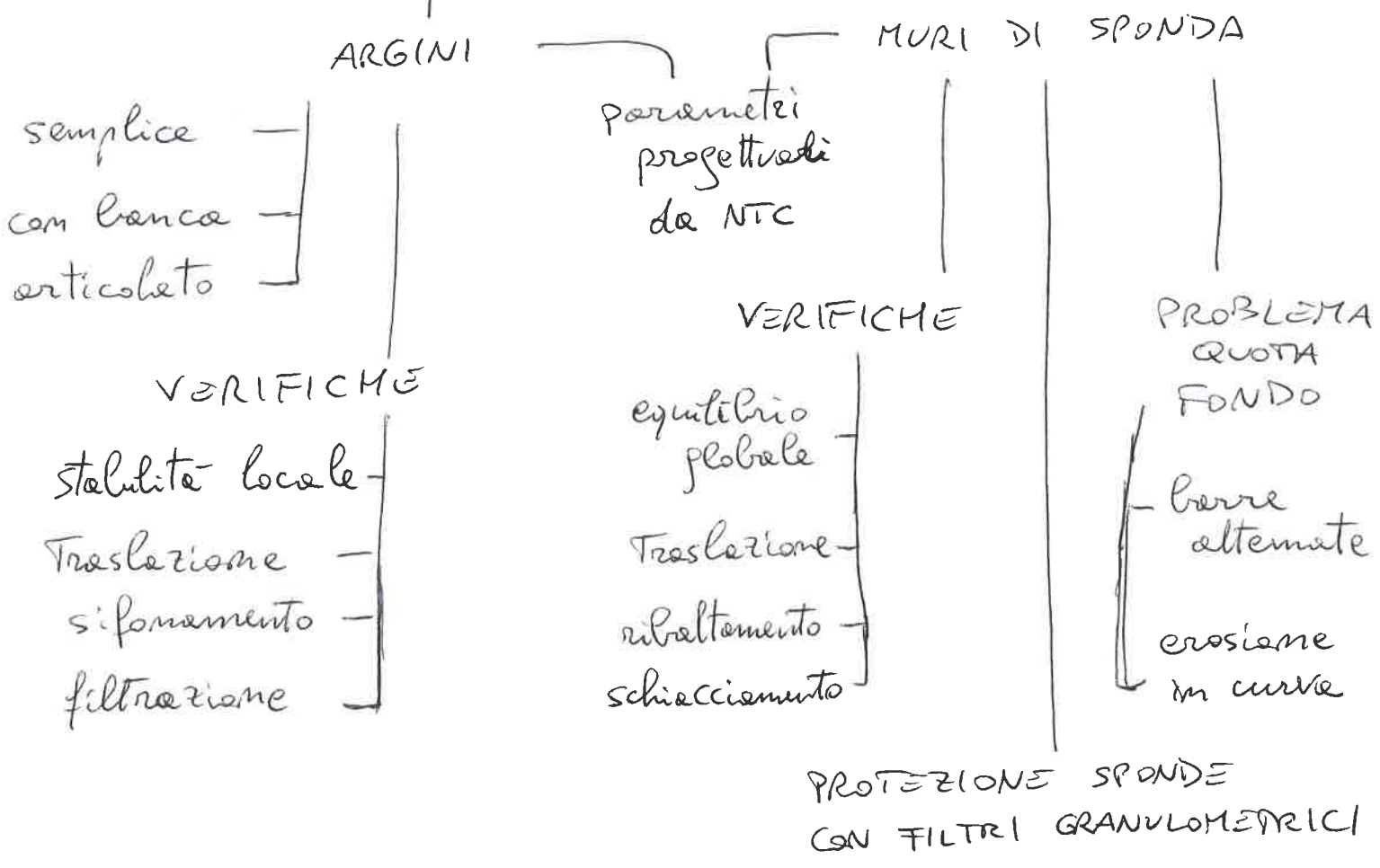
PIAZZA DI
DEPOSITO

LAMINAZIONE
DELLA
PORTATA

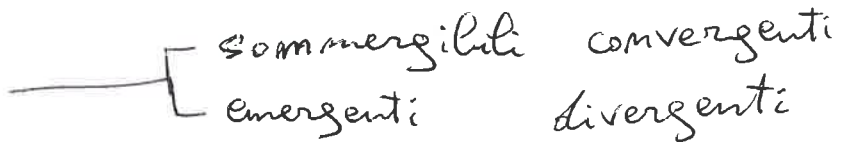
- Traslazione
- ribaltamento
- schacciamento
- sifonamento

OPERE

LONGITUDINALI



PENNELLI REPELLENTI



DIMENSIONAMENTO

- altezza - immersione
- lunghezza - nuovo talweg
- distanze - evitare erosione
- angolo - curve

COLATE DETRITI - alta concentrazione solida

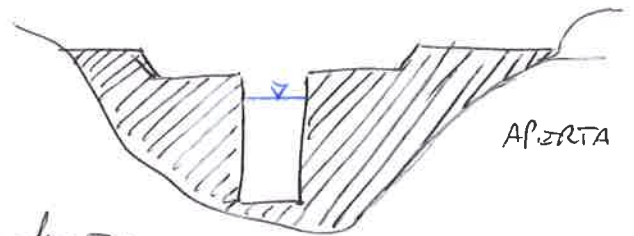
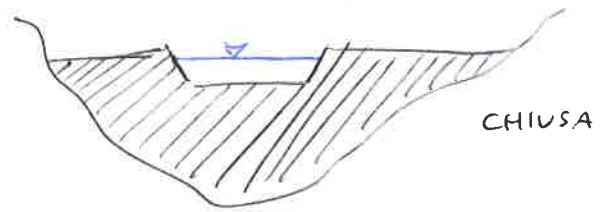
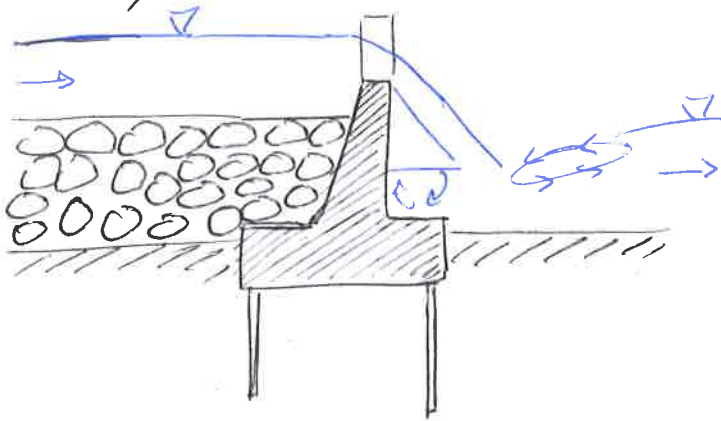
- INNESCO - pioggia lunga, poi breve $\tan \alpha \leq \frac{\tan \phi \cdot C_x \Delta}{C_x \Delta + 1 + \frac{h_0}{\alpha_L}}$
- REOLOGIA - Bagnold $U_s = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_s} \frac{\rho(1+\Delta) \sin \alpha}{\alpha_L \sin \phi}} \frac{1}{\Delta d} \left[h^{1.5} - (h-y)^{1.5} \right]$
- PORTATA - $Q_{DF} = Q_0 \frac{C_x}{C_x - C}$
- IMPATTO - spinta onda su parete $S \approx S_i \cdot 10$
- MODELLISTICA - modello lufasico
 - } bilanci masse
 - } bilancio energie

1. OPERE TRASVERSALI

Sono opere da argine ad argine, sostengono la superficie libera a monte per utilizzo industriale o produttivo, oppure evitano le risalite del cono salino alla foce del fiume.

BRIGLIE CHIUSE

Si usano per controllare l'alveo e possono essere aperte o chiuse, con risalto idraulico a valle.



La briglia chiusa modifica la pendenza dell'alveo ed è composta dalla gaveta e da due ali.

In base alla funzionalità si distinguono in

- CONSOLIDAMENTO, per il controllo di fondo in alvei da scavo;
- TRATTENUTA, in torrenti di trasporto.

Questi sono i criteri di dimensionamento, in base alla pendenza di compensazione e alla pendenza di trasporto.

Per il consolidamento si fa l'ipotesi di moto incipiente, quindi $\theta_0 = \theta_c = \frac{u_*^2}{g \Delta d} \approx 0,06$ (per $Re > 200$)

dato che $u_*^2 = g R_H i_{fc}$, si trova $\theta_0 = 0,06 = \frac{g R_H i_{fc}}{g \Delta d}$

quindi si ottiene $i_{fc} \approx 0,06 \frac{\Delta d}{R_H} \approx 0,08 \frac{d}{h}$ in alvei larghi

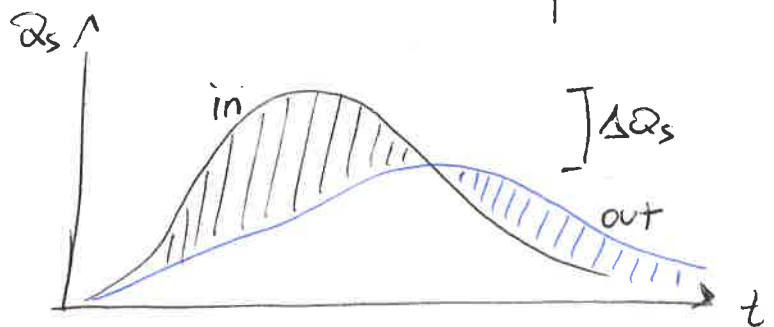
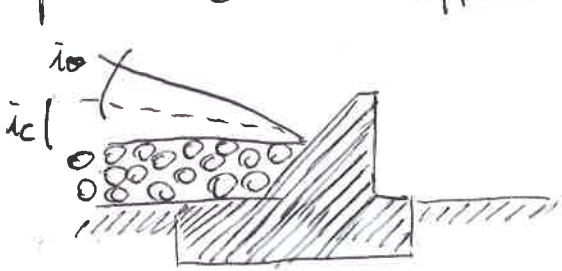
Ma questo criterio non spiega il moto non-incipiente, quindi il trasporto analizza le pendenze della portata nota solida Q_s in moto uniforme: $Q_s = 38 d \sqrt{g \Delta d} (\theta_o - \theta_c)^{1.5}$

Allora $\theta_o = \theta_c + \left(\frac{Q_s}{38 d \sqrt{g \Delta d}} \right)^{2/3} = \frac{R_H i_o}{\Delta d}$ e si ricava

$$i_o = \frac{\left(\theta_c + \left(\frac{Q_s}{38 d \sqrt{g \Delta d}} \right)^{2/3} \right) \Delta d}{R_H} = \frac{\theta_c \Delta d}{R_H} + \frac{\Delta d \left(\frac{Q_s}{38 d \sqrt{g \Delta d}} \right)^{2/3}}{R_H}$$

in cui $\frac{\theta_c \Delta d}{R_H} = i_{fc}$ di Valentini

Fisicamente si ha un innalzamento dell'alveo durante la piena ed un effetto di laminazione della portata solida.



Quindi vale la forma equivalente

$$i_o = i_c + \Delta \left(\frac{Q_s}{8 B R_H \sqrt{g \Delta R_H}} \right)^{2/3} \quad \text{in cui } R_H = f(Q, Q_s) \text{ e } i_o = f(R_H)$$

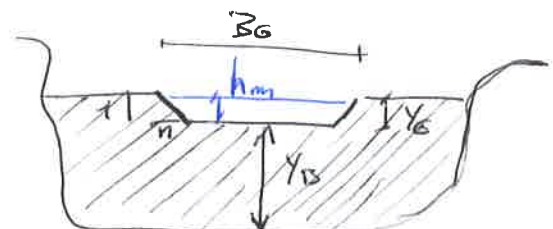
Per il moto uniforme $Q = B h K_s R_H^{2/3} i_o^{1/2}$ si hanno due equazioni con due incognite.

Dimensionamento

Il dimensionamento idraulico avviene dapprima a fondo fisso tramite la formula di Belanger

$$Q = \sqrt{\frac{g}{25}} \left(B_0 + \frac{4}{5} n h_m \right) \sqrt{g} h^{1.5}$$

dove sono incognite le dimensioni della galleria $B_0 \times Y_0$



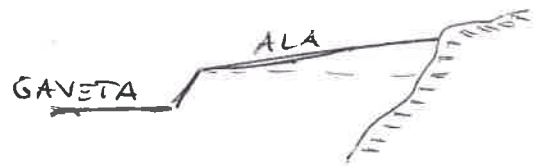
2 Ponendo h_G come l'altezza critica della gaveta, si dimensiona con un franco $Y_G = h_G + Y_f$ (di $Y_f = 1m$)

Dato che si passa da corrente lenta a veloce, nella gaveta si ha altezza critica $h_G = h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B_G^2 g}}$

Anche le ali sono progettate con inclinazione per un margine di sicurezza sulle sponde

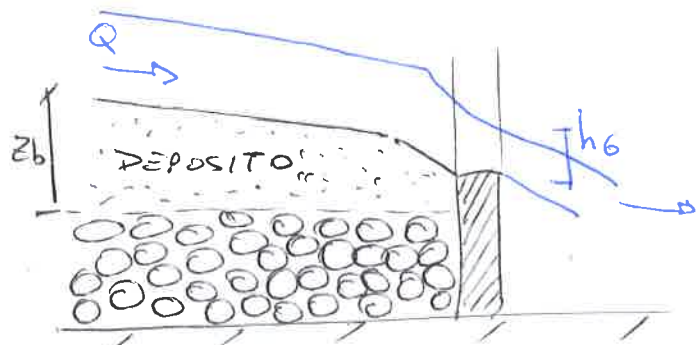
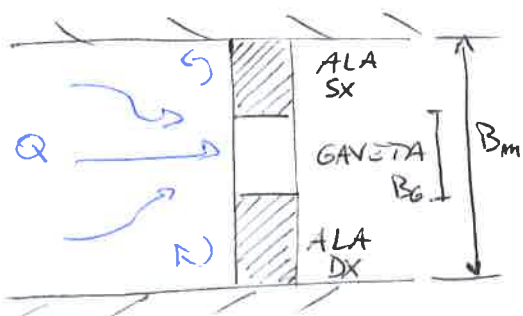
Dall'analisi energetica, si pone

$$Y_G = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B_G^2 g}} + Y_f \quad \text{l'altezza della gaveta}$$



Data l'ipotesi di passaggio in corrente critica (lenta a veloce), se la corrente a monte è ~~sub~~ supercritica ($Fr > 1$) la gaveta è sottodimensionata ($H_m > H_c$), quindi si impone l'energia totale a monte $Y_G = H_m + Y_f$.

Aggiungendo lo stato di TRASPORTO SOLIDO, la briglia è studiata come un restringimento localizzato a fondo mobile. Non essendoci erosione del gradino, il libero scivolo si chiude con innalzamento dell'alveo con deposito.



Con la conservazione della massa totale e della massa solida

$$\begin{cases} U_G B_G h_G = U_m B_m h_m \\ \text{cost. } B_G U_G^\alpha \approx \text{cost. } B_m U_m^\alpha, \quad \alpha = 3 \div 5 \end{cases}$$

Si aggiunge il principio di conservazione energetica

$$\Delta z_b + H_m = H_G \quad \text{quindi} \quad \Delta z_b + h_m + \frac{U_m^2}{2g} = h_G + \frac{U_G^2}{2g}$$

Ottenendo il sistema di 3 equazioni con le 3 incognite $(\Delta z_b, U_G, h_G)$

Il deposito si calcola come l'erosione da restringimento, relativo all'altezza di monte.

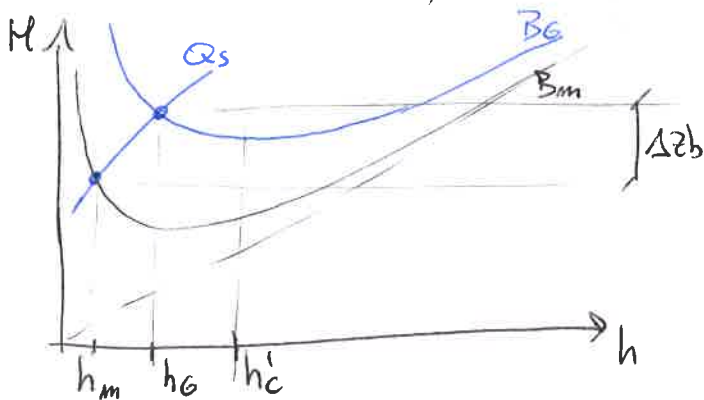
$$\frac{\Delta z_b}{h_m} = R^{1-\frac{1}{\alpha}} - 1 + \frac{F_{rm}^2}{2} (R^{2\alpha} - 1) \quad \text{avendo} \quad R = \frac{B_m}{B_G}$$

Nel moto incipiente $d \rightarrow -\infty$

e una prima approssimazione assume $\frac{\Delta z_b}{h_m} = R - 1$

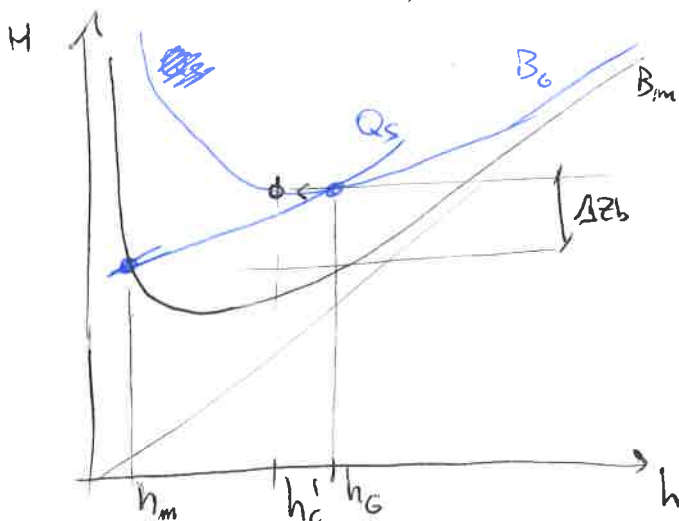
Si studiano 3 casi dal punto di vista energetico con aggiunta di portata solida:

- CASO 1: $F_{rm} > 1$; $h_G < h_c'$



La verifica con il modello matematico porta a dire che i criteri a fondo fisso non sono cautelati. vi.

- CASO 2: $F_{rm} > 1$; $h_G > h_c'$



Si impone il passaggio in critica nella galleria $h_G \rightarrow h_c'$ con ipotesi di Belanger $U_G = \sqrt{gh_c'}$

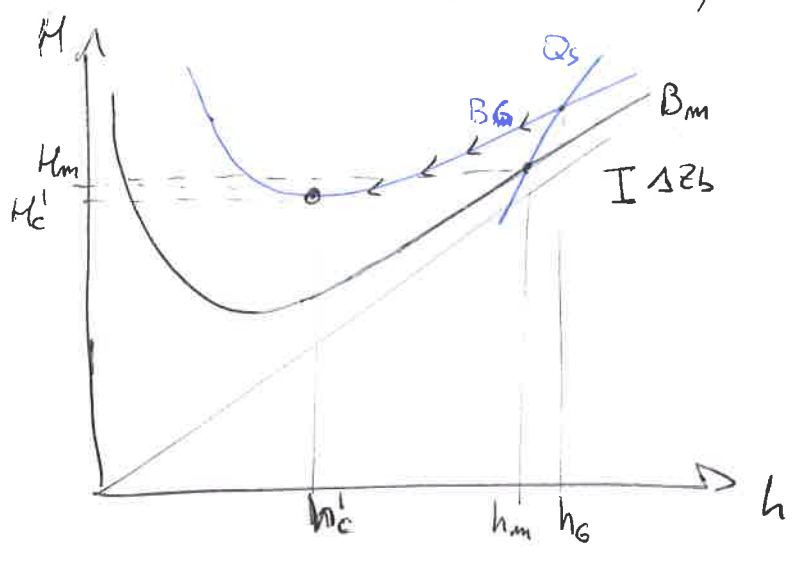
Δ La portata solida non è soddisfatta e non si può applicare il modello matematico.

3 La gaveta è in CLS per non essere erosa dalla corrente, quindi il gradino di deposito si calcola

$$\Delta z_b = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q_s^2}{B_G^2 \cdot g}} - h_m - \frac{U_m^2}{2g}$$

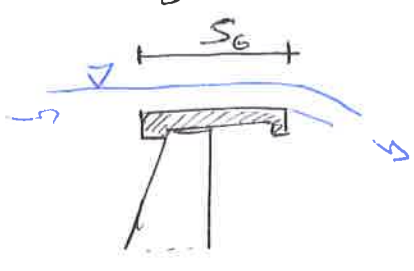
$$\hookrightarrow \frac{\Delta z_b}{h_m} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q_s^2 B_m^2 h_m^2}{g B_G^2 h_m^3}} - 1 - \frac{F_{rm}^2}{2} = \frac{3}{2} (F_{rm}^2 R^2)^{1/3} - 1 - \frac{F_{rm}^2}{2}$$

- CASO 3: $F_{rm} < 1$; $H_m > H_c'$; $h_G > h_c'$



Nella gaveta si ha passaggio in critica h_c' , ottenendo $\Delta z_b < 0$ (erosione) perciò si evita il caso in cui $H_m > H_c'$.

Un altro parametro da dimensionare è lo spessore della gaveta, spesso con una platea d'acciaio.



Serve a spostare più a valle il petto evitando l'erosione della gaveta.

Formula di Zoli $S_G = 0,7 \cdot h_m + r_s \cdot \frac{1}{8}$ ($0,1 < r_s < 0,2$)
 $(S_G > 70 \text{ cm})$

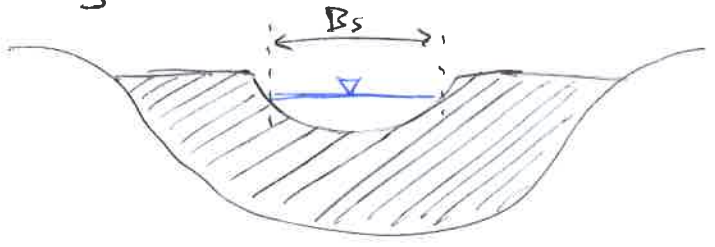
Esistono gavete di forma circolare per concentrare il flusso d'acqua in mezza.

$$dq = \sqrt{\frac{8}{27}} \sqrt{2g} (h - \alpha_y z^2)^{1,5} dz$$

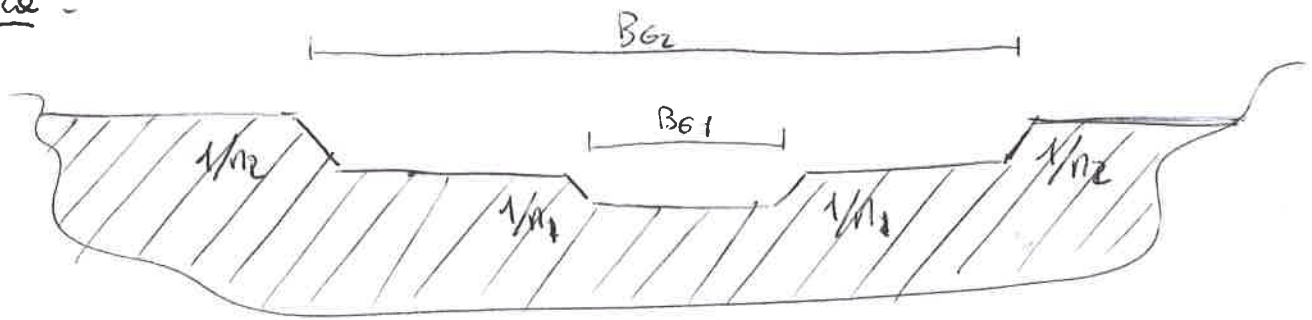
$$Q = \frac{\pi}{8\sqrt{3}} B_s h^{3/2}$$

$$\approx 0,153 \sqrt{2g} h^2 \frac{1}{\sqrt{\alpha_y}}$$

di Belanger ($y = \alpha_y z^2$)



Se il canale è molto largo si costruisce una gaveta doppia.

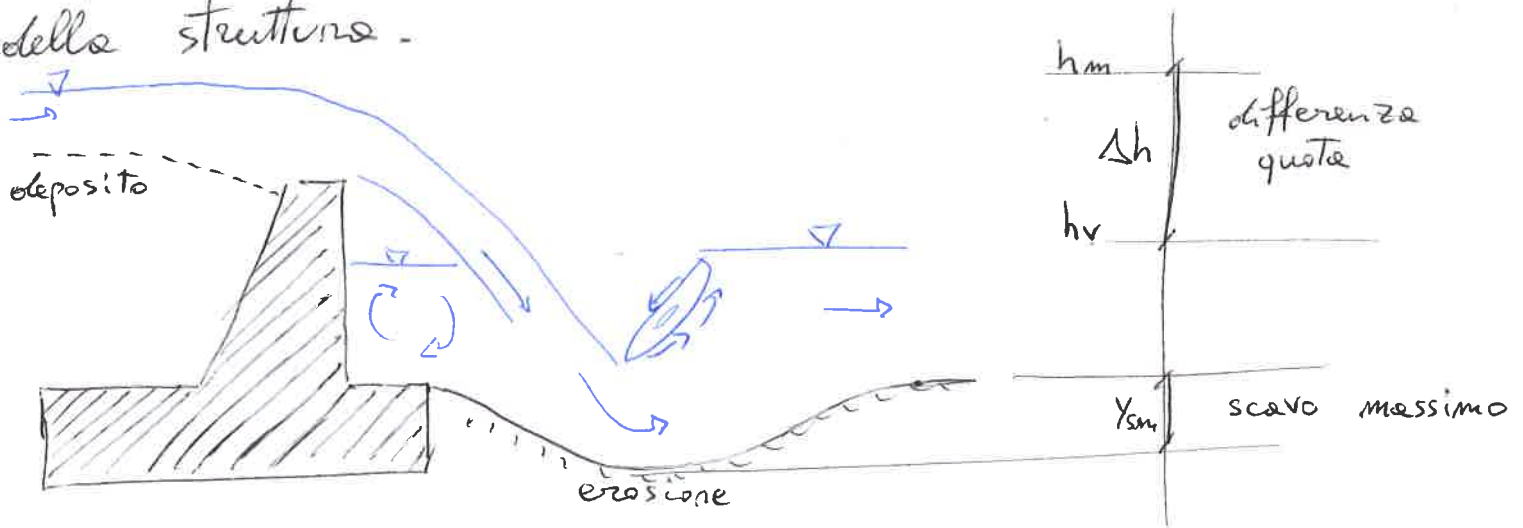


Si calcola con una somma degli effetti

$$Q = \sqrt{2g} \frac{2}{27} \left[\left(B_{G1} + \frac{4}{5} n_1 h_m \right)^{1.5} + \left[B_{G2} + \frac{4}{5} (h_m - \gamma_{G1}) n_2 \right] (h_m - \gamma_{G1})^{1.5} \right]$$

Erosione al piede

Il fenomeno di erosione non controllata porta al collasso della struttura.



Formula di Veronesi (1831)

$$\gamma_{sm} = 0,473 \frac{\Delta h^{0,2} \cdot q^{0,57}}{d_{50}^{0,32}} - h_v$$

Formula di Schoktschich (1832)

$$\gamma_{sm} = 0,368 \frac{\Delta h^{0,225} \cdot q^{0,54}}{d_{50}^{0,42}} - h_v$$

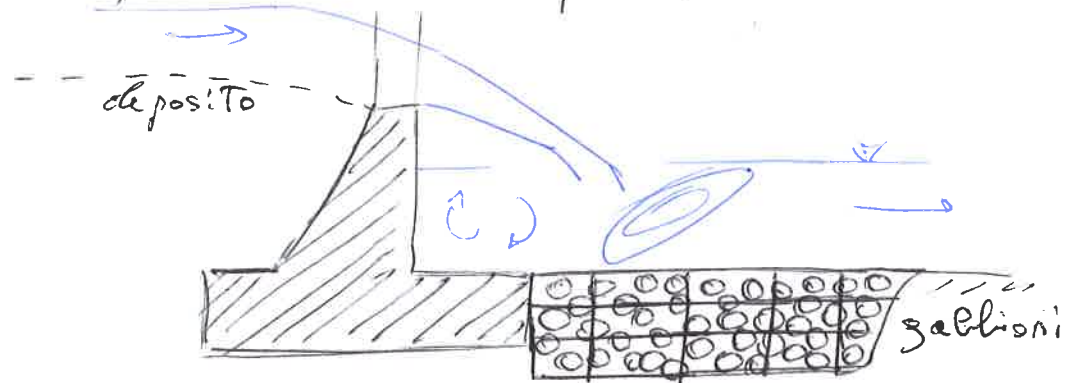
Bisogna evitare l'erosione sotto la fondazione che crea instabilità.

Per evitare eccessive erosione si lavora sui parametri:

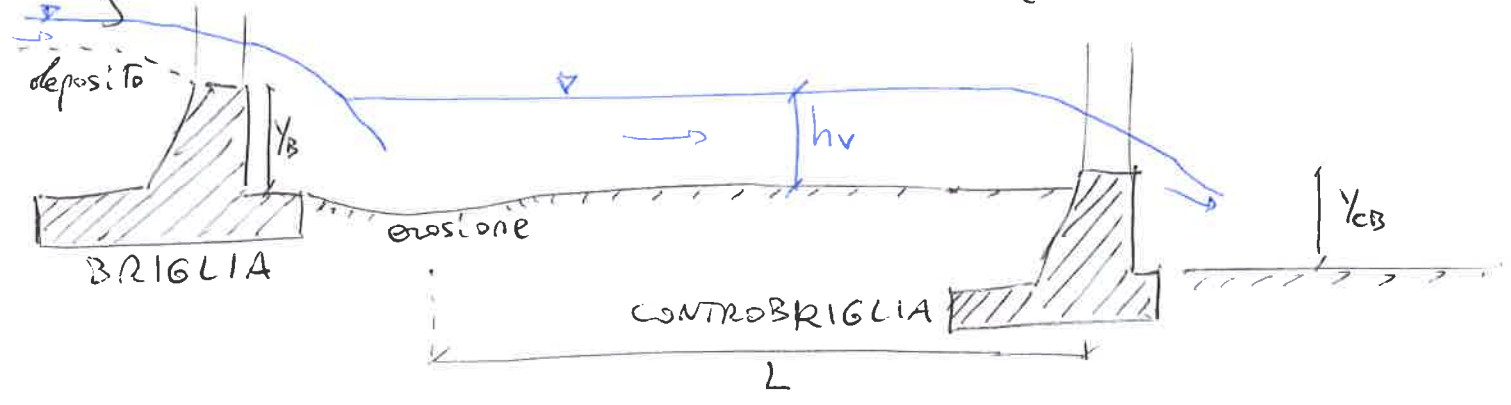
d_{50} aumentando il diametro si riduce l'erosione, ma con corazzamento l'intervento è inaffidabile.

Con una platea in cls a valle si migliora il d_{50} ma si ha forte sollecitazione dell'acqua.

L'intervento ideale sono le gabbionate con massi grossolani, si evita il trasporto, assorbe molta energia.



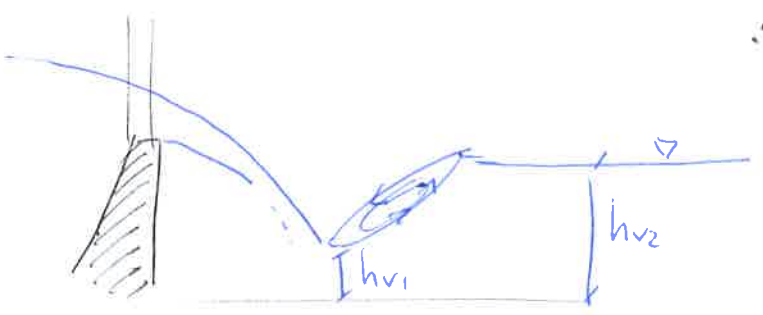
h_v aumentando il tirante di valle si riduce l'erosione, nel caso in cui $Fr < 1$ controllando la corrente da valle e annegando il risalto. Questo si ha grazie ad una CONTROBRIGLIA ($S_{v2} > S_{v1}$)

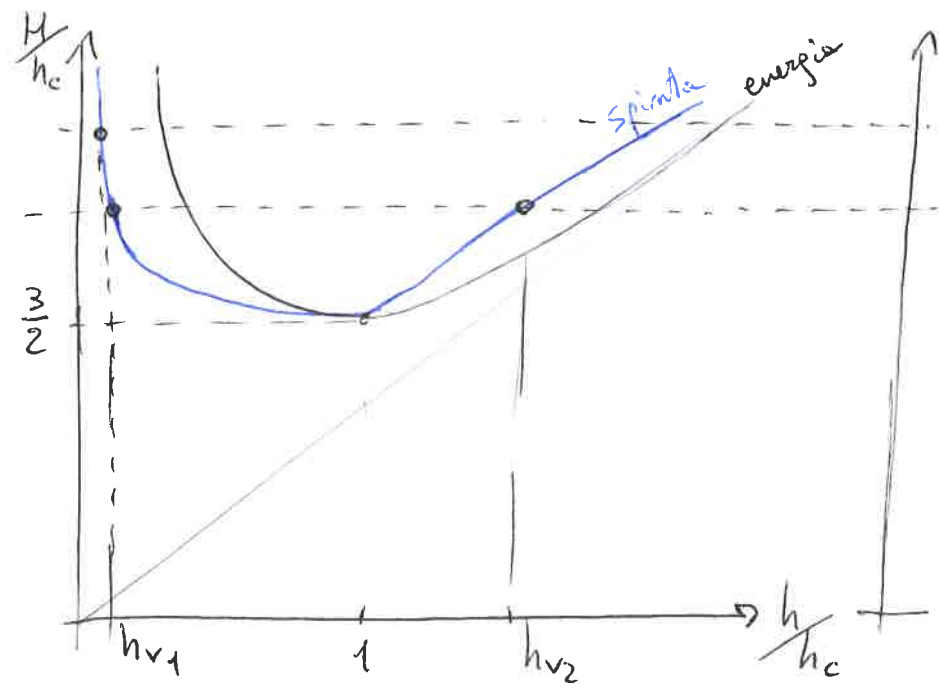


Quindi altro parametro progettuale è y_{CB} , ipotizzando un risalto libero ($S_{v2} < S_{v1}$).

Spinta

$$S = \rho S \frac{B h^2}{2} + \rho B u^2 h$$





H_{v1}
 ΔE
 H_{v2}
 in corrente lenta
 si conosce h_{v2} di
 valle, h_{v1} è incognito

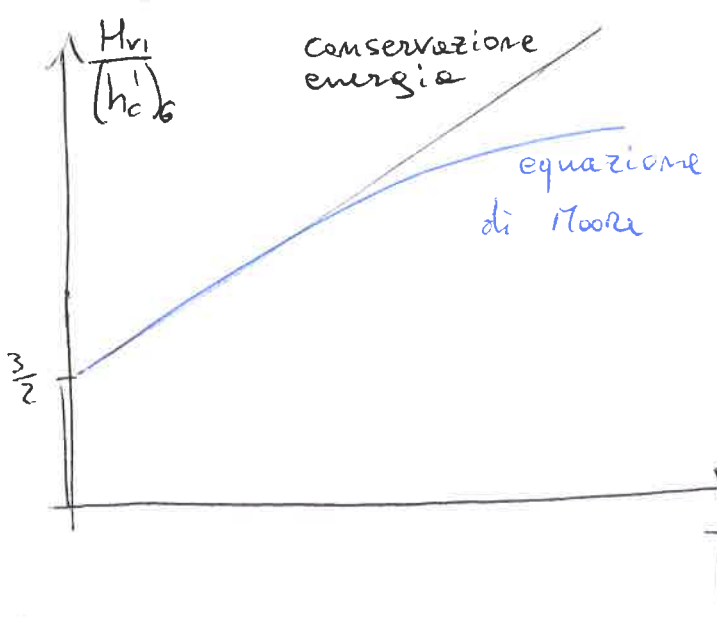
Per ipotesi $E_{v1} = Y_B + \frac{2}{3} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B_0^2 g}}$ quindi l'energia a valle conserva l'energia sulle briglie.

Quindi $h_{v1} + \frac{Q^2}{2g(B_{v1} h_{v1})^2} = Y_B + \frac{2}{3} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B_0^2 g}}$

si trova h_{v1} e si evita l'erosione con il dimensionamento delle controbriglia.

Ipotesi di dissipazione energetica →

Metodo di Moore



$M_{v1} = Y_B + \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B_0^2 g}}$
 $(h'c)_6$

$\frac{M_{v1}}{(h'c)_6} = \frac{Y_B}{(h'c)_6} + \frac{3}{2}$

Sperimentalmente Moore

trova $\frac{M_{v1}}{(h'c)_6} = \frac{3}{2} + \left(\frac{Y_B}{(h'c)_6}\right)^{0,63}$

↳ da cui si trovano le spinte S_{v1} e S_{v2} tramite h_{v1} , calcolando h_{v2} per la controbriglia.

5 Se la distanza L tra briglie e controbriglia è grande, si ha una pendenza del fondo Δz_{2-3} :

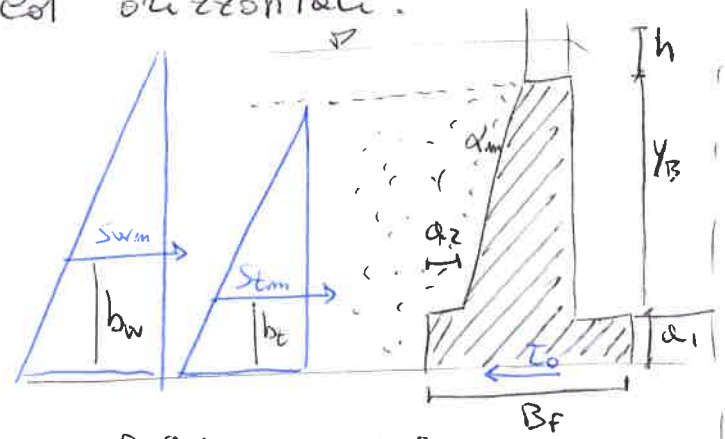
$$M_3 = \Delta z_{2-3} + M_2 - \frac{2 Q^2}{K_s^2 B_{23}^2 \left(\frac{h_2 + h_3}{2}\right)^{10/3}} \quad \text{a monte della controbriglia}$$

Con la conservazione di energia si trova

$$Y_{CB} = M_3 - \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B_0^2 g}}$$

quindi distanziare la controbriglia a monte a dissipare l'energia.

Le briglie sono sottoposte a delle spinte verticali ed orizzontali.



$$S_{wm} = \frac{\rho_s g}{2} (Y_B + a_1 + h)^2 B$$

$$S_{tm} = \frac{\rho_s g}{2} (Y_B + a_1 + \Delta z b)^2 B K_a (1-P) I_p$$

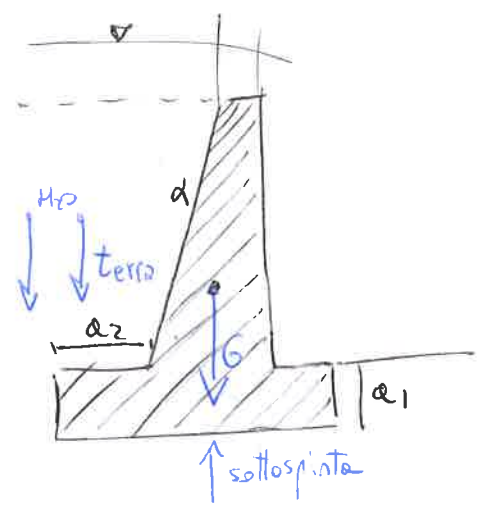
$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$$

$$b_w = \frac{1}{3} (Y_B + a_1 + h)$$

$$b_t = \frac{1}{3} (Y_B + a_1 + \Delta z b)$$

$T_0 \Rightarrow$ sforzo Coulombiano

$$T = \tan \varphi (\sum F_y)$$



$G =$ peso strutturae = $\gamma_{cis} \cdot$ Volume

$$H_0 = B \rho_s Y_B (a_1 + \tan \alpha)$$

$$terra = (\rho_s - \rho) a_1 B \left(Y_B + \frac{\tan \alpha}{2} \right)$$

sottospinta di filtrazione

$$B_s = B \cdot B_f \rho_g \frac{(Y_B + a_1 + h_m) + (h_v + a_1)}{2}$$

Verifiche progettuali

1. VERIFICA DI TRASLAZIONE

Rapporto delle somme delle forze verticali ed orizzontali -

$$\frac{\sum F_v}{\sum F_o} \tan \varphi \geq \rho_t \approx 1,5$$

2. VERIFICA AL RIBALTAMENTO

Rispetto allo spigolo di valle, le forze orizzontali sono ribaltanti, le forze verticali sono sollecitanti - Rapporto delle somme dei momenti stabilizzanti e ribaltanti -

$$\frac{\sum M_{stab}}{\sum M_{ribal}} \geq \rho_r \approx 1,5$$

3. VERIFICA ALLO SCHIACCIAMENTO

Il terreno deve sopportare il carico - Massimo sforzo ammissibile del terreno -

$$\sigma_{max, min} = \frac{\sum F_v}{B \cdot B_f} \left(1 \pm \frac{e}{B_f} \right)$$

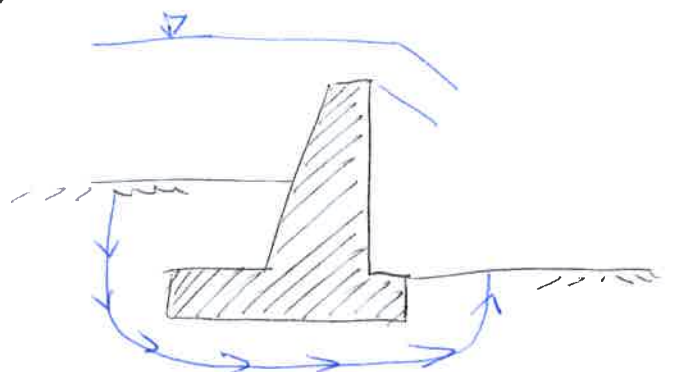
4. VERIFICA AL SIFONAMENTO

Rapporti sperimentali confrontati col tipo di terreno dai parametri

- Bligh (1812) $C_B = \frac{L_{min}}{\Delta h} > C_B^*$

- Lane (1835) $C_L = \frac{\frac{1}{3} L_{oriz} + L_{vert}}{\Delta h} > C_L^*$

| | | C_B^* | C_L^* |
|--------|--------------------|---------|---------|
| sabbia | fine | 18 | 8,5 |
| " | grossa | 12 | 5 |
| " | grossa ghiaia | 8 | 3,5 |
| " | grossa ciottoli | 5 | 2,5 |



6 Se le verifiche mom e verificate:

TRASLAZIONE → si aumenta T_0 o si allarga la fondazione

RIBALTAMENTO → si aumentano i bracci dei momenti stabilizzanti.

SCHIACCIAMENTO → si lavora sul materiale di fondo o si aumenta la superficie di fondazione, con pali (diaframmi).

SIFONAMENTO → si aumenta la lunghezza minima con un dente sotto la fondazione.

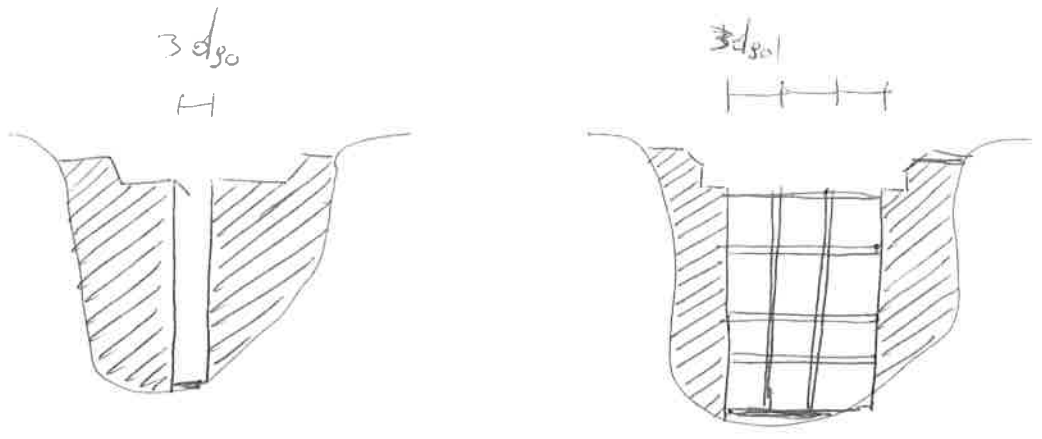
Le briglie chiuse sono di diversa TIPOLOGIA e con adattamento al territorio in funzione dell'ambiente in cui ci si trova. Possono essere in CLS, legno o a secco (con gallioni in pietra); possono avere contrafforti o forme ad arco per maggiore resistenza.



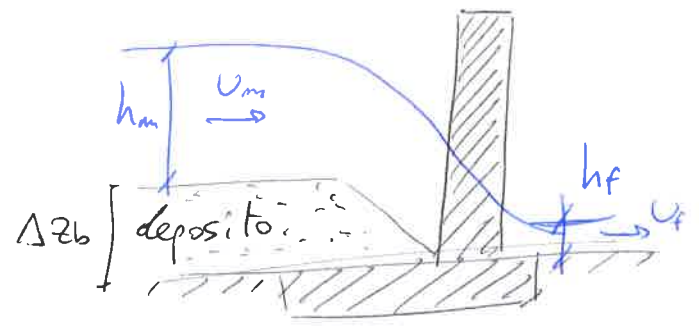
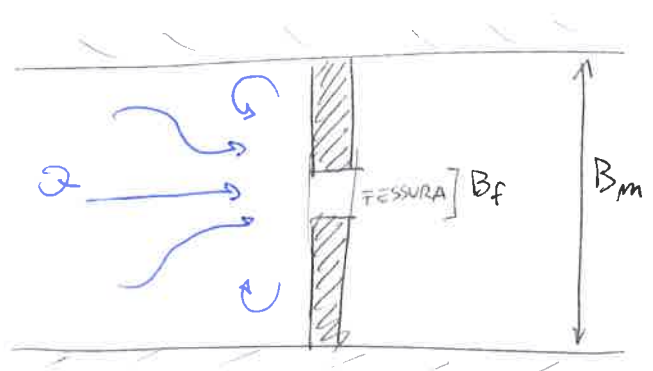
BRIGLIE APERTE

Le briglie aperte sono in grado di fare una selezione granulometrica della portata di mistura passante.

In genere si usa un'apertura minima di $d_g \approx 3 d_{50}$ con effetto di vaglio meccanico e occlusione di grande portata

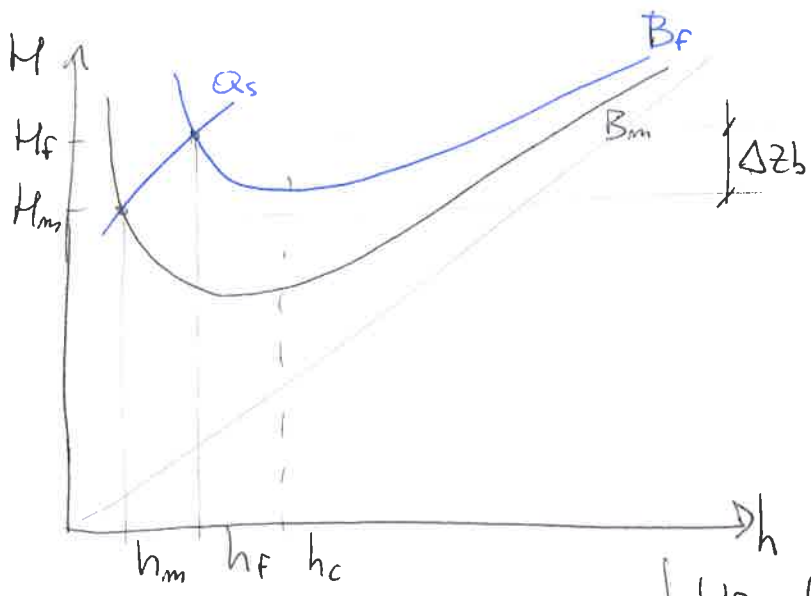


Le verifiche delle briglie aperte riguardano ~~la~~ l'idrodinamica invece che la statica delle forze.



Si considereremo due casi principali:

- CASO 1: $h_m < h_c$



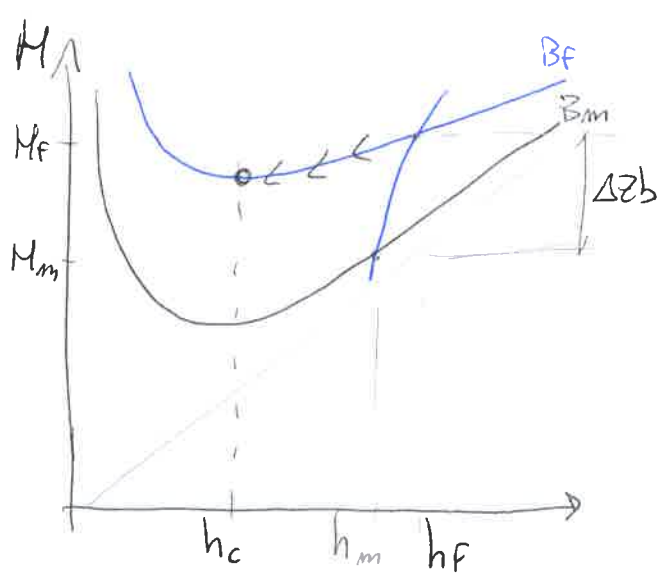
incognite $U_f, h_f, \Delta z_b$ in funzione delle condizioni di monte

$$\begin{cases} U_m h_m B_m = U_f h_f B_f \\ \text{cost.} \cdot B_m U_m^\alpha h_m^{-\beta} = \text{cost.} \cdot B_f U_f^\alpha h_f^{-\beta} \\ \Delta z_b + h_m + \frac{U_m^2}{2g} = h_f + \frac{U_f^2}{2g} \end{cases}$$

Quindi si ottiene

$$\begin{cases} U_f = U_m R^{1/\alpha} \\ h_f = h_m R^{(\alpha-1)/\alpha} \\ \frac{\Delta z_b}{h_m} = R^{1-\frac{1}{\alpha}} - 1 + \frac{F_{r_m}^2}{2} (R^{2/\alpha} - 1) \end{cases}$$

- CASO 2: $h_m > h_c$

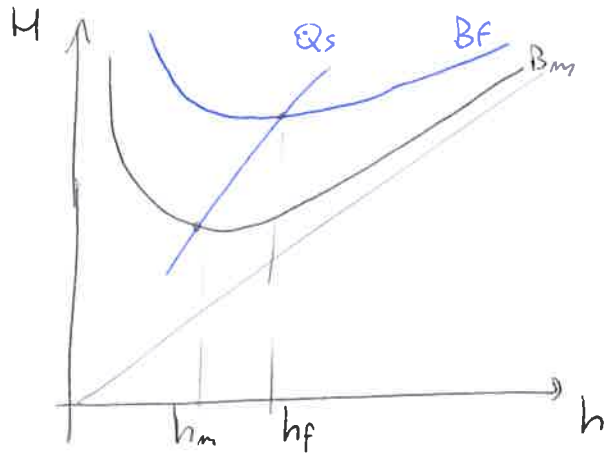


incognite $U_f, h_f, \Delta z_b$ in funzione delle condizioni critiche.

$$\begin{cases} U_m h_m B_m = U_f h_f B_f \\ U_f = \sqrt{g h_f} \quad \text{con } Fr = 1 \\ \Delta z_b + h_m + \frac{U_m^2}{2g} = \frac{3}{2} \sqrt{\frac{Q_f^2}{B_f^2 g}} \end{cases}$$

$$\frac{\Delta z_b}{h_m} + 1 - \frac{F_{r_m}^2}{2} = \frac{3}{2} (F_{r_m} R)^{2/3}$$

7
- CASO 3: transizione



incognite $U_f, h_f, \Delta z_b$ nelle
condizioni limite

$$U_f = U_m R^{1/\alpha} = \sqrt{g h_f}, \quad Fr = 1$$

$$\frac{U_m^2}{U_m^2} \frac{U_f^2}{g h_m} = \frac{g h_f}{g h_m}$$

$$Fr_m^2 \left(\frac{U_f}{U_m} \right)^2 = \frac{h_f}{h_m}$$

$$\Rightarrow \boxed{Fr_m^2 = R^{1 - \frac{3}{\alpha}}}$$

$$\text{se } \begin{cases} Fr_m > R^{1/2(1 - \frac{3}{\alpha})} \\ Fr_m < R^{1/2(1 - \frac{3}{\alpha})} \end{cases}$$

corrente veloce \rightarrow CASO 1 (Briglia larga)

corrente lenta \rightarrow CASO 2 (Briglia stretta)

OBIETTIVO della briglia aperta è quello di minimizzare la portata solida.

Con le incognite h e i_f (portante e pendenza) si mettono a sistema le equazioni di moto uniforme e Meyer-Peter e Müller:

$$Q = B K_s h \sqrt{i_f} R_H^{2/3} = B h^{8/3} \frac{21,6}{d_{50}^{1/6}} i_f^{1/2}$$

$$Q_s = d_{50} \sqrt{\Delta g d_{50}} B \left(\frac{U_*^2}{g \Delta d_{50}} - \theta_c \right)^{1,5} = d_{50} \sqrt{\Delta g d_{50}} B \left(\frac{5/8 h i_f}{\Delta d_{50}} - \theta_c \right)^{3/2}$$

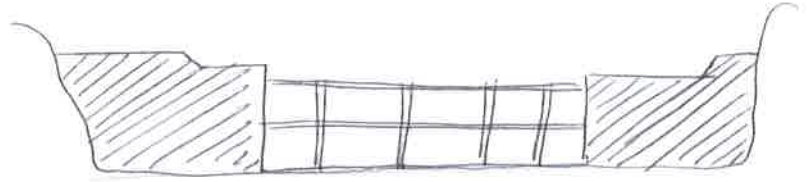
Tipologie costruttive briglie aperte

Esistono diverse tipologie in base al contesto ambientale

- BRIGLIA A GRIGLIA

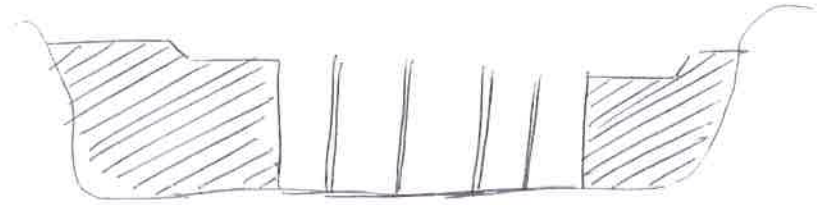
Intercede il materiale di dimensioni maggiori

ed il materiale legnoso. È di rapido intasamento.



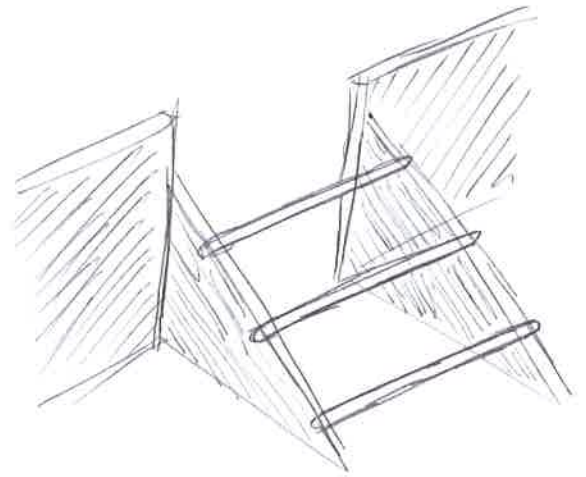
- BRIGLIA A PETTINE

Di più facile manutenzione



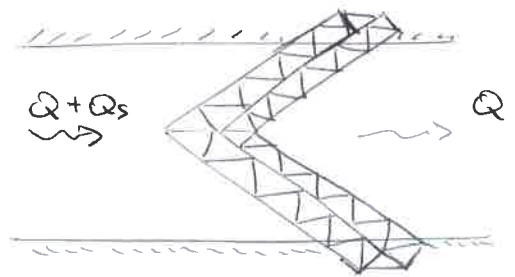
- BRIGLIA DI GENET

A travi orizzontali, il materiale si deposita sulle sbarre facendo filtrare l'acqua (veglia meccanica).



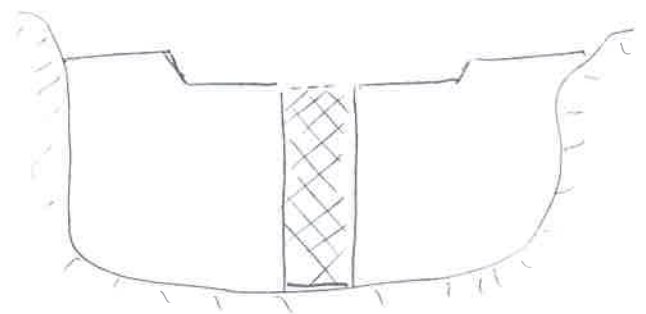
- STRUTTURA RETICOLARE

Filtra l'acqua con accumulo di materiale sul reticolo; molto costoso.



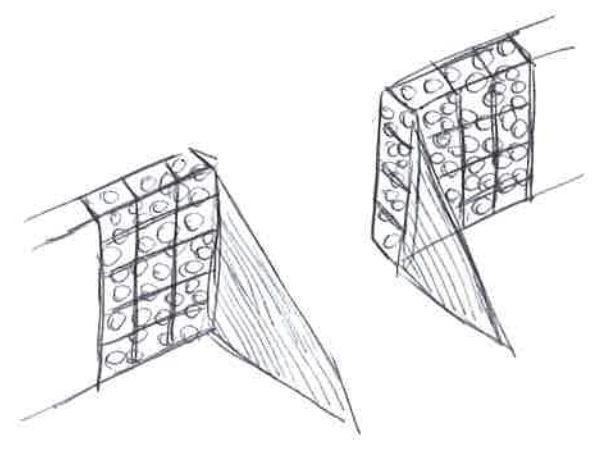
- BRIGLIE FILTRANTI

Trasformare una briglia chiusa in aperta fissurando con una griglia.



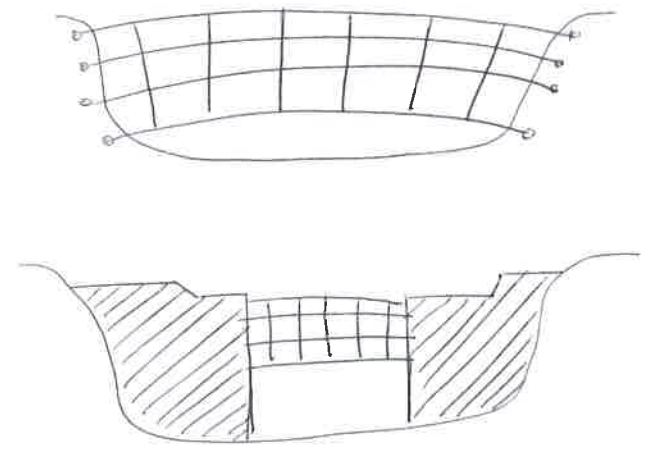
8 - BRIGLIE IN GABBIONI

Fatta di gabbie di rete metallica con pietrisco grossolano. Con contrafforti per sostenere meglio la struttura da valle.



- BRIGLIE A RETE

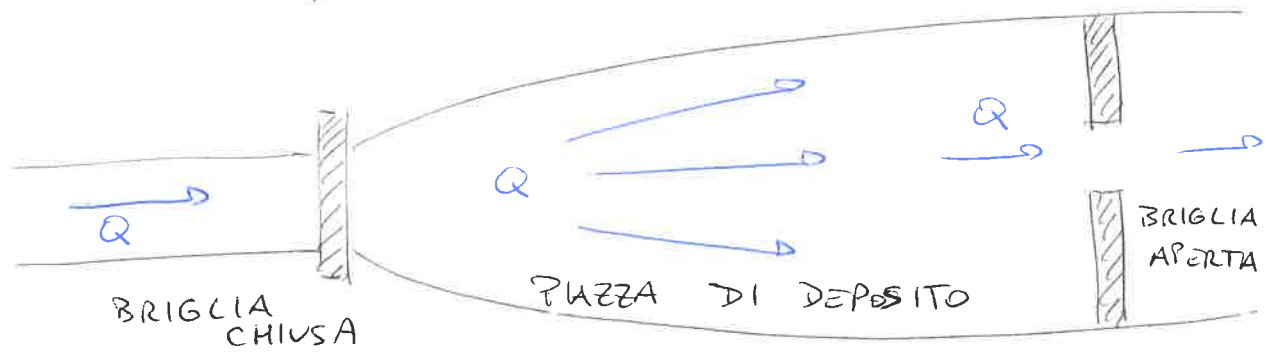
Per zone impervie, dove non si arriva con mezzi. Ancoraggio di funi alla roccia, economica e removibile per intasamento.



A monte delle opere si cerca di intercettare il materiale vegetale, tramite funi e griglie.

PIAZZA DI DEPOSITO

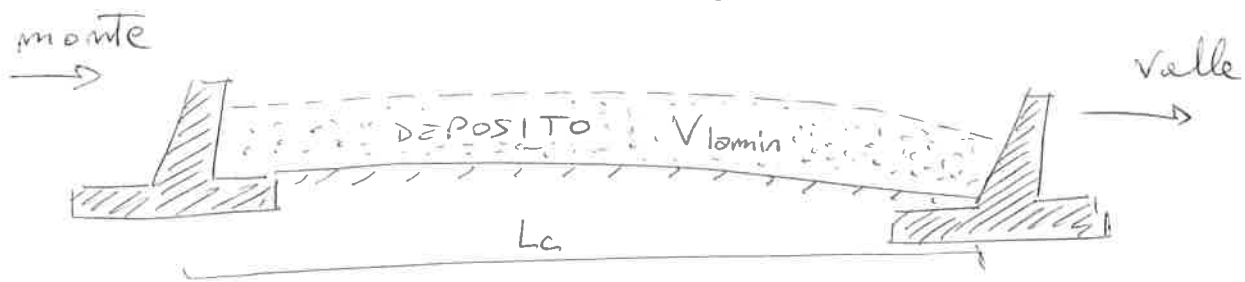
Si pone per raccogliere il deposito a monte dato per la laminazione delle portate solide per il funzionamento ottimale.



Ha un buon dimensionamento quando ha un volume corrispondente alle ~~briglia~~ piena. Il sottodimensionamento è dannoso per l'intera opera.

Vengono costruite in base all'orografia ed al terreno a disposizione; se la piazza è troppo grande si evita l'accumulo con deflettori.

L'efficienza della piazza di deposito si misura in base al materiale - $V_{lamin} = B_c (\Delta z_b + \frac{L_c}{2} (i_a - i_c))$



All'interno di una fessura bisogna garantire una corrente critica o supercritica $h_f \leq (h_c)_f$.

↳ Quindi si pone una rampa a valle della briglia per rendere la corrente veloce. Nei centri abitati l'acqua si fa scorrere in un canale in sicurezza (CUNETTON). -

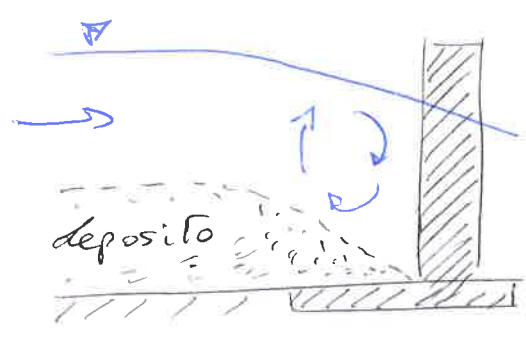
La discontinuità delle briglie impedisce la risalita della piena verso monte. Inoltre si ha l'erosione alle coste dato dal rilancio dei sedimenti.

Del punto di vista energetico, si ha grande dissipazione attraverso il risalto; si recupera con l'utilizzo di una turbina a valle, trasformando in ~~la~~ energia elettrica.

VAGLIO IDRODINAMICO

Il vaglio idrodinamico è un'evoluzione del concetto di vaglio meccanico delle classiche briglie.

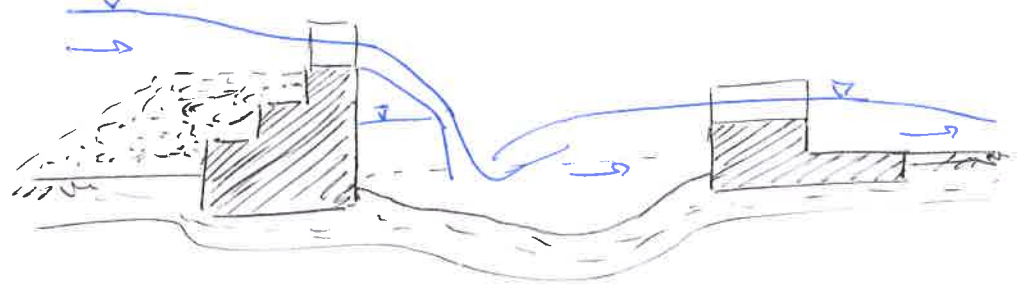
Lo studio idrodinamico trova un vortice a monte di una briglia attivando l'effetto di autopulizia del deposito.



In genere le briglie funzionano bene per portate solide basse, mentre per le più alte si ha intasamento.

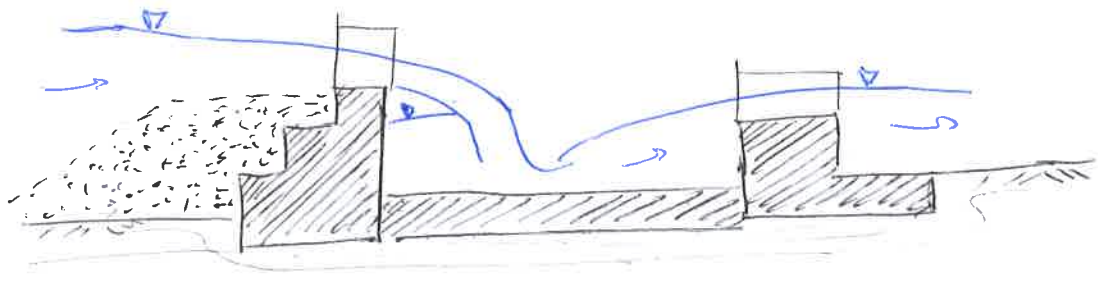
* DISSIPAZIONE ENERGETICA IN PIAZZA DI DEPOSITO

SENZA RIVESTIMENTO



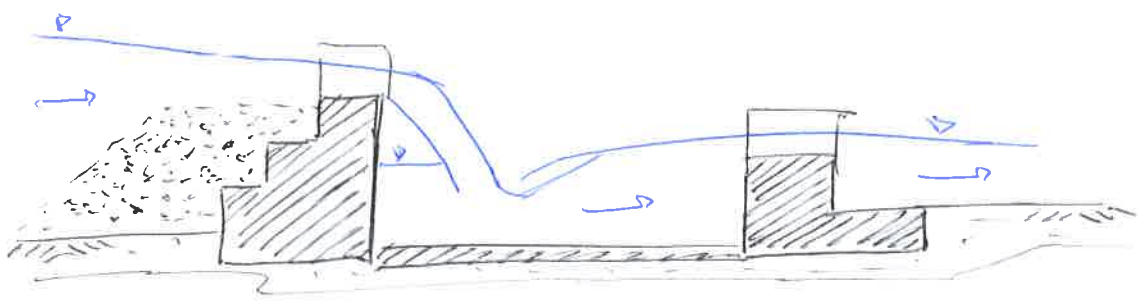
si consente l'erosione per dissipare l'energia

RIVESTITO e IN RILEVATO



Altezze critiche sulle controbriglia per svincolare il funzionamento idraulico

RIVESTITO e IN DEPRESSIONE



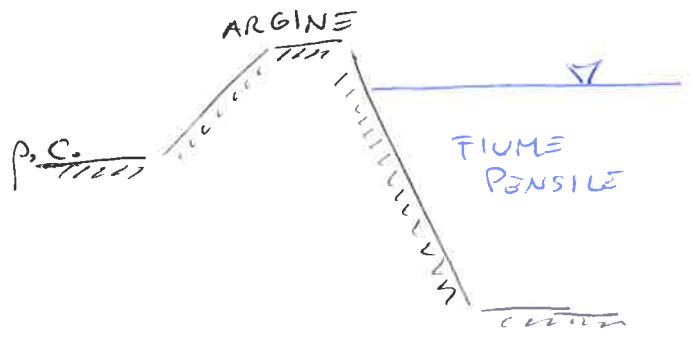
contiene il risalto idraulico

2. OPERE LONGITUDINALI

servono ad impedire all'acqua di esondare, tramite argini e muri di sponda.

ARGINI

Ribavati in terra, il piano campagna è più basso della superficie d'acqua.



Il deposito sul fondo alza la superficie portando il rischio di esondazione.

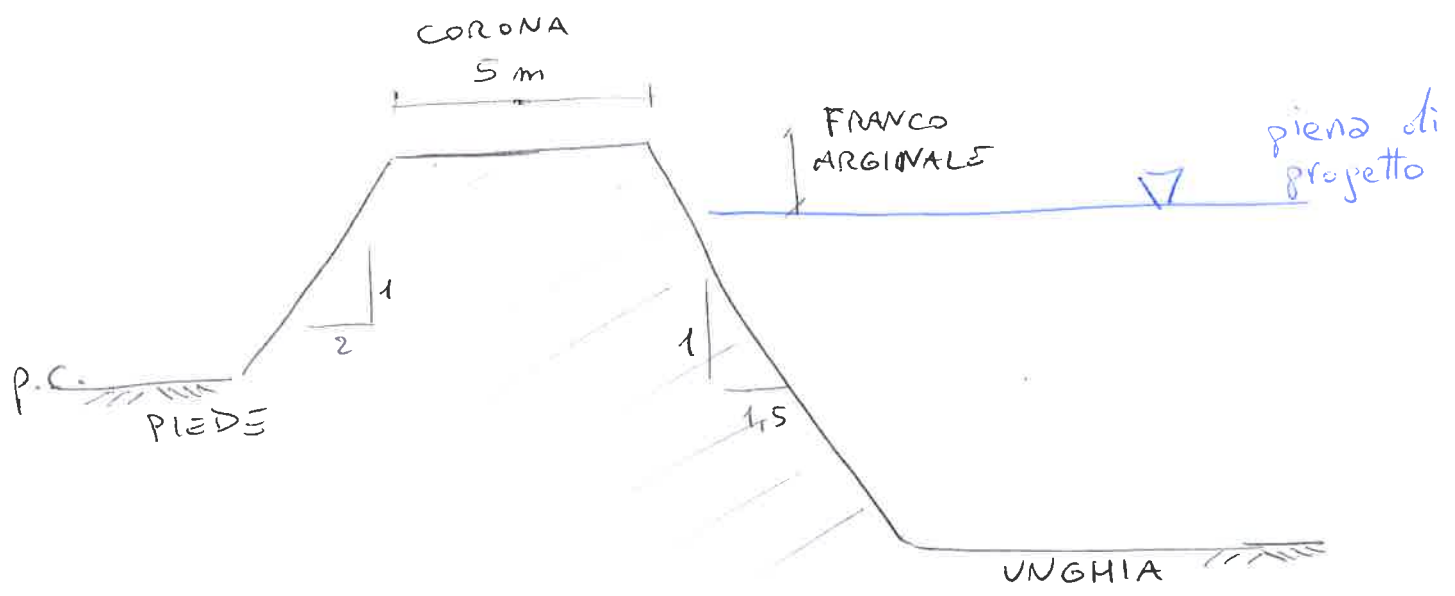
Alzare l'argine è la soluzione più semplice, ma spesso impraticabile per opere presenti sul piano campagna, alto impatto paesaggistico e ponti.

Tipologie

→ ARGINE SEMPLICE

Forma trapezica, sulle corone transitano mezzi. Il PAI fissa la piena di progetto con tempi di ritorno (T_r) di 100 o 200 anni, con un franco arginale di 1m.

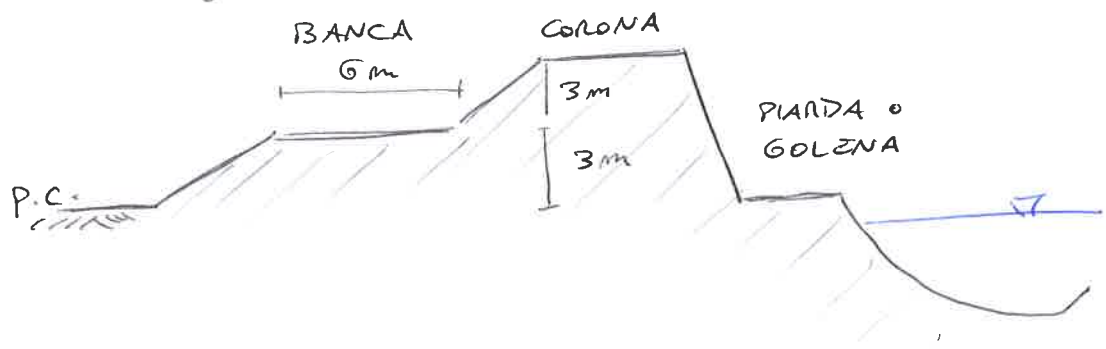
L'argine è impermeabile per evitare filtrazione, è alto massimo 4-5m dalla fondazione.



10

→ ARGINE CON BANCA

La banca è di circa 6m posta sul lato del pieno campo; mentre sul lato del fiume si ha una piarda o una gola.



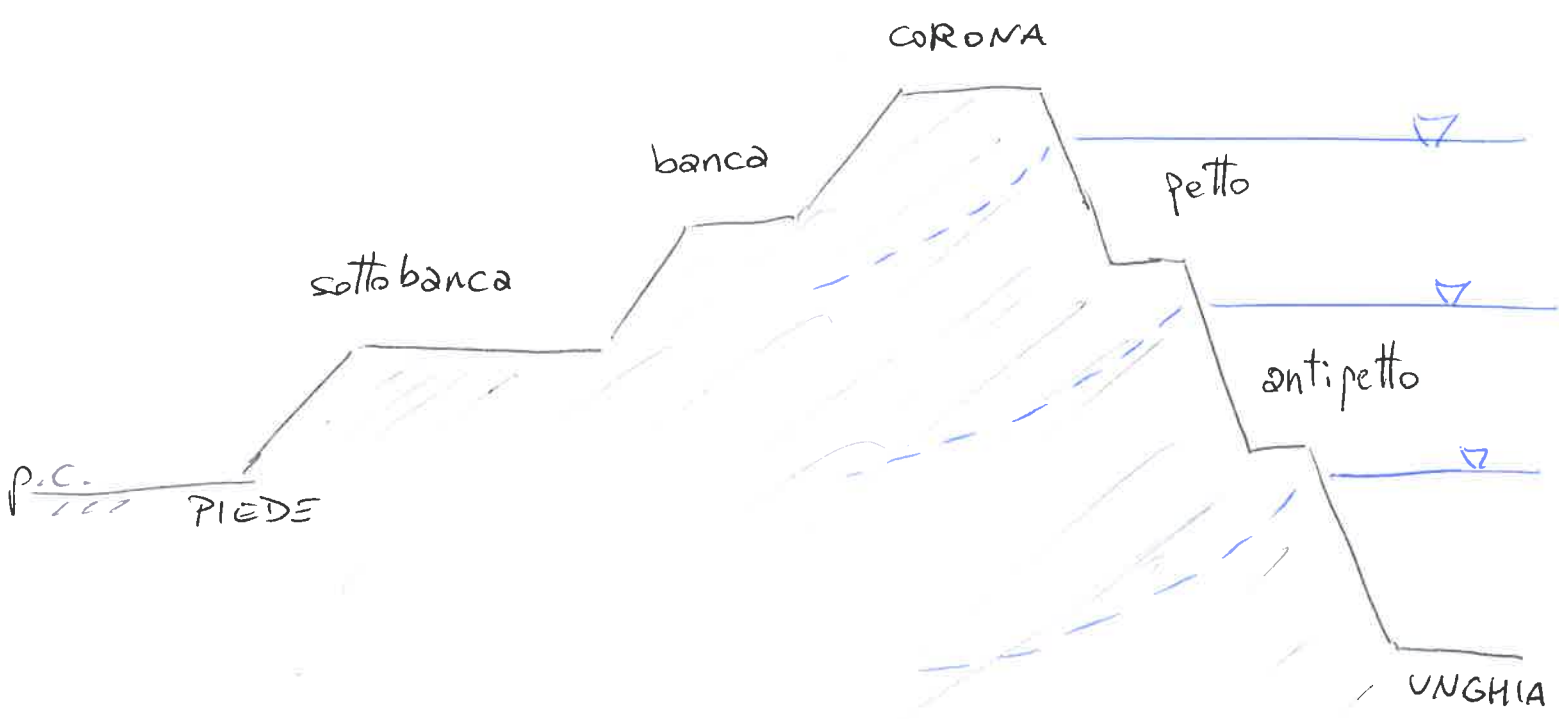
→ ARGINE ARTICOLATO

Composto da più elementi in entrambi i lati. Deve essere impermeabile per evitare la filtrazione.

In argille e terra, senza ciottoli e sterpaglie, ha un K di filtrazione $\approx 10^{-6} \div 10^{-8} \text{ m/s}$ (da legge di Darcy).

Il terreno può essere preso in loco, ma l'argilla deve essere secca per evitare il ritiro.

Si costruisce per strati dalla fondazione e ricoperto di materiale vegetale.



Parametri progettuali

SOMMITÀ ARGINALE: quota delle corone in funzione della portata di progetto col franco di sicurezza - Il tempo di ritorno è posto in base al danno potenziale (e al rischio). Quindi col modello afflussi - deflussi si trova la portata di progetto relativa -

TIRANTE DI PROGETTO: rilevato dalla portata di progetto secondo il modello matematico di moto vario e a fondo mobile bidimensionale. Non si possono usare modelli a fondo fisso e moto uniforme, in sfavore di sicurezza -

FONDAZIONE DELL'ARGINE: è il parametro da determinare, tenendo conto del punto più basso dell'alveo con depositi ed eventuali effetti locali, in prossimità di forme di fondo, curve o opere -

Le normative fa riferimento ai vincoli del Regio Decreto R.D. 523 del 1904, classificando in categorie:

- I. confini di stato,
- II. fiumi di grande interesse,
- III. opere di interesse nazionale,
- IV. altri corsi d'acqua.

Fissa dei vincoli di distanza

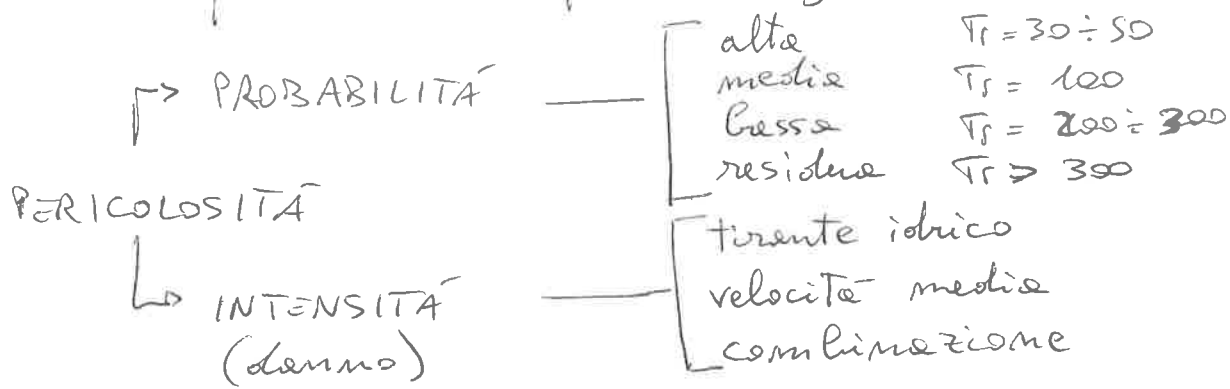
- < 8 m. con piane ordinarie, no sradicamento radici
- < 4 m. dal piede, nessuna piantagione
- < 10 m. dal piede, ammesse opere di difesa, strade, opere idrauliche, dissodamenti terreno, ma nessun edificio o opere interferente -

Nel 1988 si fa riferimento anche alla legge 183 di "difesa del suolo", riguardo l'assetto organizzativo e lo

11 sviluppo economico con la tutela dell'ambiente per la gestione idrica - le responsabilità passano al Presidente del Consiglio, con le Autorità di Bacino che facevano riferimento alla Direzione Nazionale della Difesa del Suolo.

Attualmente i pilastri legislativi sono il DL 152 del 2006 e il DL 48 del 2010, dalle direttive Europee sulla qualità dell'acqua e sulle piene.

Tra le mappature del PAI si rilevano aree a rischio, relative pericolosità e piani di gestione.



→ matrice di Burwal (PAI)

| intensità | probabilità | | |
|-----------|-------------|-------|-------|
| | alta | media | bassa |
| alta | P3 | P3 | P3 |
| media | P3 | P2 | P2 |
| bassa | P2 | P1 | P1 |

Da cui si interviene in maniera adeguata in funzione del rischio. $R = P \times D$

Bisogna abbassare la pericolosità attraverso opere di messa in sicurezza - la soluzione migliore è valutata attraverso lo studio di impatto ambientale.

Verifiche

1. VERIFICA DI STABILITÀ LOCALE

tramite le leggi geotecniche.

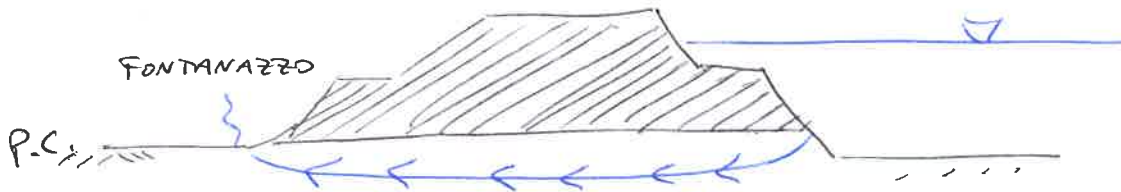
2. VERIFICA ALLA TRASLAZIONE

Rapporto tra le forze stabilizzanti e le forze ~~ribaltanti~~ destabilizzanti.

$$\frac{\sum F_{stab}}{\sum F_{destab}} \geq \gamma_t \approx 1,5$$

3. SIFONAMENTO

Regole di Bligh e Lane sperimentali, come nelle briglie, tramite i parametri C_B e C_L .



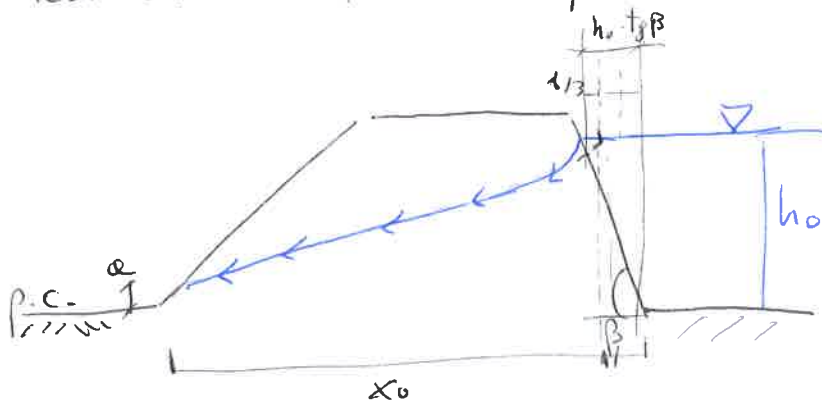
4. FILTRAZIONE

Ipotesi:
 ↙ moto permanente $\frac{\partial^2}{\partial x_i^2} (\bar{k}_i \cdot h^*) = 0$

↘ moto vario $\frac{\partial^2}{\partial x_i^2} (k \cdot h^*) = \frac{1}{1+e} \frac{\partial}{\partial t} (e - S_r)$

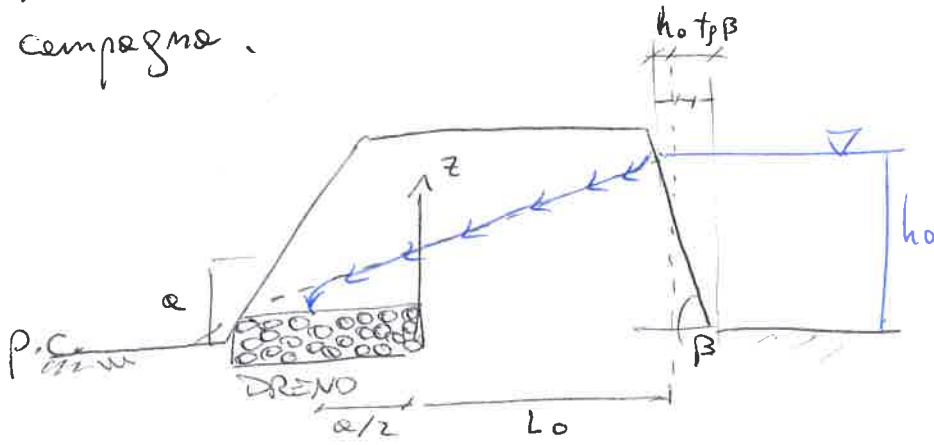
Attraverso metodi empirici

• Metodo di Scheffernack, per argine senza dreni, ipotesi di adattamento quasi rettilineo alla filtrazione.



$$\left\{ \begin{aligned} e &= \frac{x_0}{\cos \beta} - \sqrt{\frac{x_0^2}{\cos^2 \beta} - \frac{h_0}{\sin^2 \beta}} \\ q &= k e \frac{\sin^2 \beta}{\cos \beta} \end{aligned} \right.$$

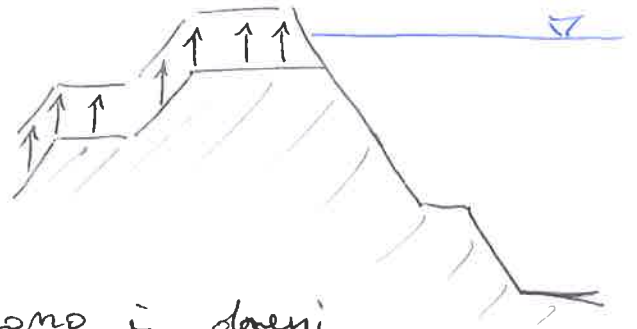
12
 • Metodo di Casagrande, per un argine con dreno nel lato campagna.



$$\begin{cases} a = \sqrt{h_0^2 + L_0^2} - L_0 \\ \varphi = k a \sin^2 \beta \end{cases}$$

Metodi di intervento

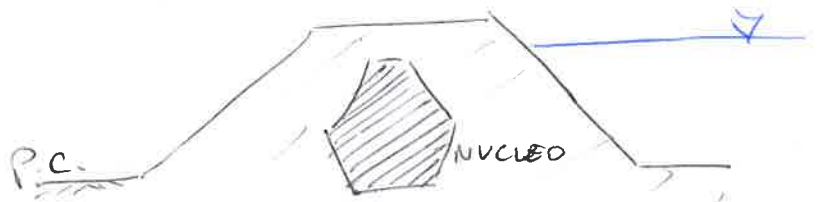
L'argine sormontato dalla piena di progetto vengono innalzati



Per gli argini esistenti si inseriscono i dreni, verticali o orizzontali, in entrambi i lati.



Oppure si usa il nocciolo centrale, drenante o impermeabile.

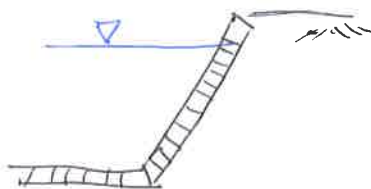


Si usano diaframmi in calcestruzzo o palancole in acciaio, sia in lato campagna che in lato fiume.

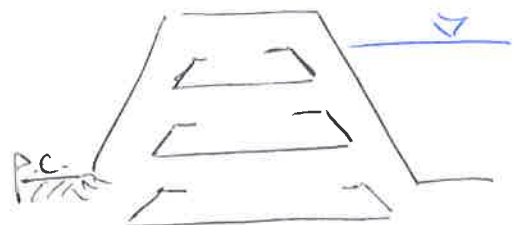
PALANCOLE A UNCINO



MATERASSI AL FONDO



ARGINI ARMATI



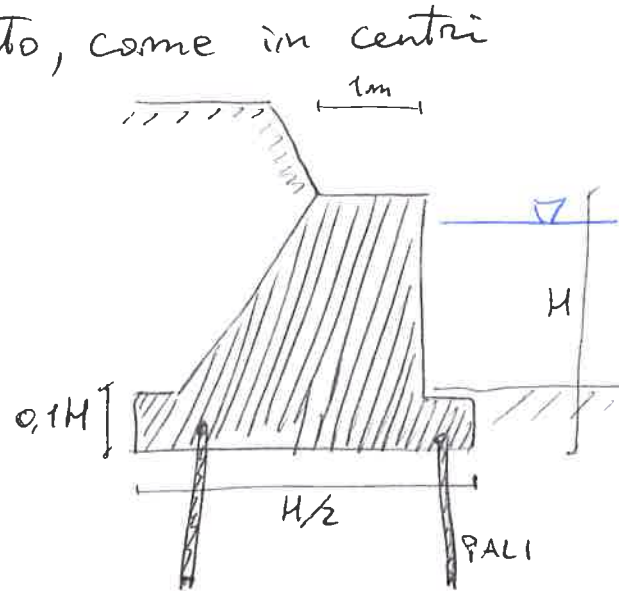
si richiede anche una fondazione della struttura attraverso una trincea di fondo



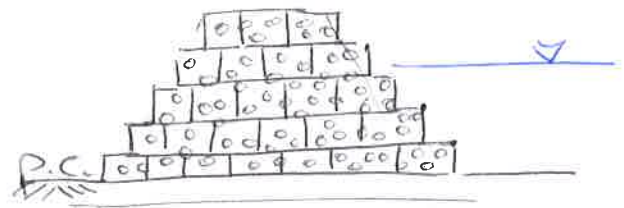
MURI DI SPONDA

In caso di poco spazio di intervento, come in centri abitati.

È liscio, quindi problematico dal punto di vista ecologico, allora si rivestono di strati vegetali riducendo l'impatto ambientale.



Possiamo essere anche in GABBIONI incastrati. A scale ed inclinati per ragioni statiche. La struttura è flessibile ed ecologicamente più adatta.



Verifiche

sono le stesse delle briglie

1. VERIFICA ALLA TRASLAZIONE

$$\frac{\sum F_v}{\sum F_o} \tan \varphi \geq \eta_t \approx 1,5$$

2. VERIFICA AL RIBALTAMENTO

3. VERIFICA ALLO SCHIACCIAMENTO

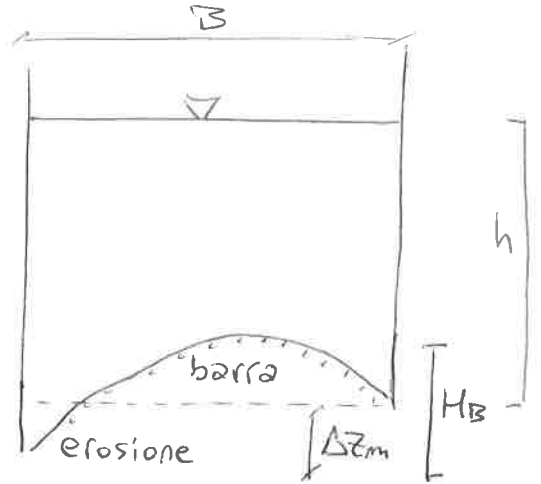
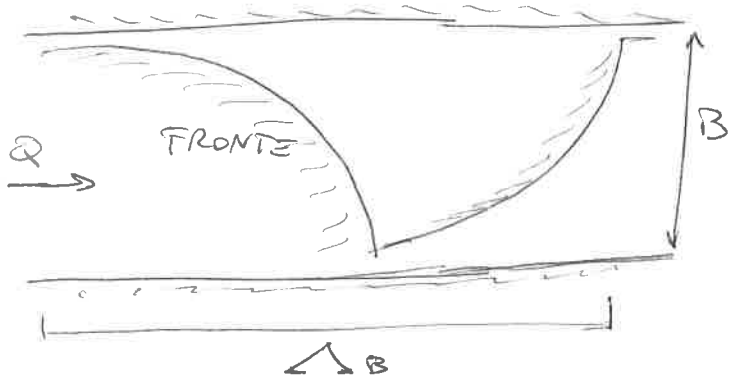
$$\sigma_{max} > \sigma_{amm}$$

4. EQUILIBRIO GLOBALE

Problematica: QUOTA DI FONDAZIONE

I modelli ~~di fondazione~~ matematici uni/li-dimensionali restituiscono un valore medio del fondo, ma non valutano gli effetti localizzati che costringono all'alveo di abbassarsi.

→ BARRE ALTERNATE



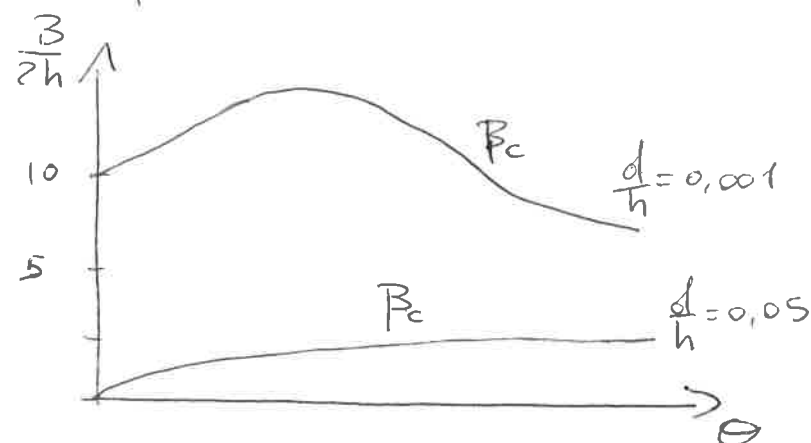
La barra si forma per scavo da erosione e tende a muoversi verso valle.

Si misurano con formule empiriche

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\Delta_B}{B} = 5 \left(\frac{h}{B} \frac{1}{C_f} \right)^{0,5}, \quad Fr < 0,8 \quad \text{e} \quad C_f = \left(\frac{1}{k} \ln \left(\frac{11h}{2d_{50}} \right) \right)^{-2} \\ \frac{\Delta_B}{B} = 180 \left(\frac{B}{h} \right)^{0,55}, \quad Fr > 0,8 \quad \text{e} \quad 24 < \frac{B}{h} < 70 \end{array} \right.$$

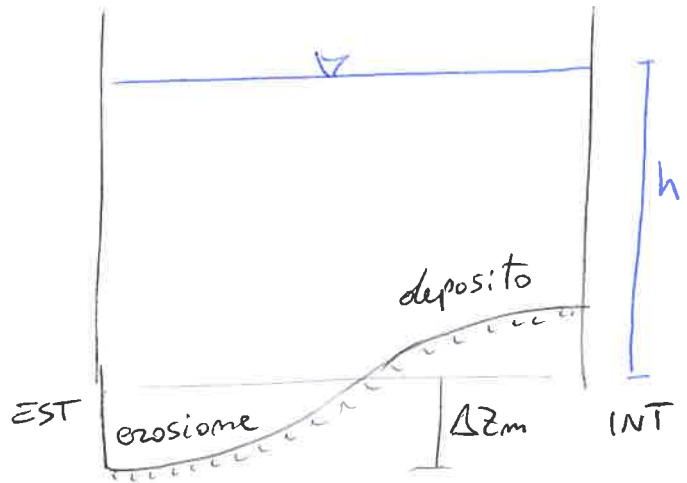
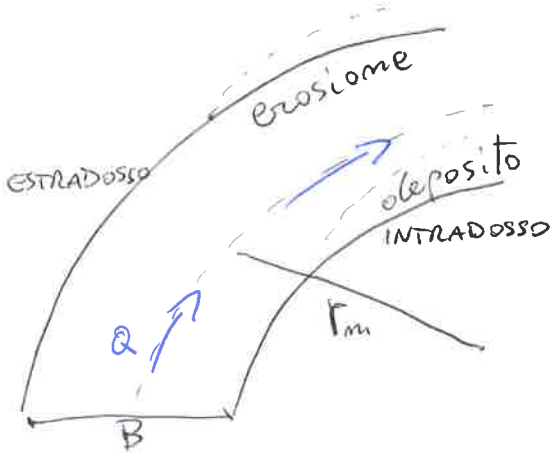
$$\frac{H_B}{B} = 0,044 \left(\frac{B}{h} \right)^{1,45} \left(\frac{h}{d_{50}} \right)^{-0,45} \quad \text{con} \quad \Delta Z_m \approx 0,57 H_B$$

Il criterio di esistenza dipende dal parametro di mobilità (Θ)



se $\beta = \frac{B}{2h} > \beta_c$ esistono
altrimenti non si hanno
barre al fondo

→ EROSIONE IN CURVA



Il moto in curva provoca erosione all'estradosso e deposito all'intradosso; si valuta l'effetto con le formule:

Formula di Thorne (1983)

$$\frac{\Delta z_m}{h} = 1,07 - \log\left(\frac{r_m}{B} - 2\right) \quad \text{per} \quad \begin{cases} 2 < \frac{r_m}{B} < 22 \\ h < 17 \text{ m} \\ 17 \text{ mm} < d < 0,3 \text{ mm} \end{cases}$$

Formule di ~~Medeco~~ Rozowski (MEDECO)

$$\frac{\Delta z_m}{h} = 3 A_T \frac{B}{r_m} \ominus \frac{1}{\frac{4r_m + 2B}{r_m} - 3 A_T \frac{B}{r_m}} \quad \text{per alvei subcritici}$$

con $A_T = 2 \left(\frac{n}{k}\right)^2 \frac{1}{(2+n)(3+n)}$ e $n = 8$ parete liscia
 $n = 12$ parete scabra

Formula di Tubino

$$\frac{\Delta z_m}{h} = \frac{B}{r_m} \ominus^{0,5} f_1 \quad \text{con ipotesi linearizzate e alvei subcritici}$$

con $f_1 \approx 12,72 - 65,66 \left(6 + 2,5 \ln\left(\frac{h}{2,5d}\right)\right)^{-1,2}$

PROTEZIONE DI SPONDA

Quando si interviene solo su una parte della geometria con massi alle rinfuse (rip-rip) o disposti singolarmente - il primo è più rapido e flessibile - È più ingombrante e con maggior impatto visivo - Favorevole dal punto di vista ecologico con una serie di nicchie per la fauna - si creano zone di separazione di corrente per forte eterogeneità idrodinamica -

Il dimensionamento avviene tramite il parametro di mobilità di Shields. $\Theta = \frac{U_*^2}{g \Delta d} < \Theta_{cr}$

$$\Theta_{cr} = \underbrace{\Theta_{co} \left(\cos \alpha_L - \frac{\sin \alpha_L}{\tan \varphi} \right)}_{\text{pendenze}} \underbrace{\left(1 - \frac{\sin^2 \alpha_{sp}}{\sin^2 \varphi} \right)^{0,5}}_{\text{sponda}} \underbrace{\left(1 + 0,67 \left(\frac{d}{h} \right)^{0,5} \right)}_{\text{sommersione}}$$

Formule di U.S.B.R. $d < \frac{A}{1} \frac{U^2}{2g}$

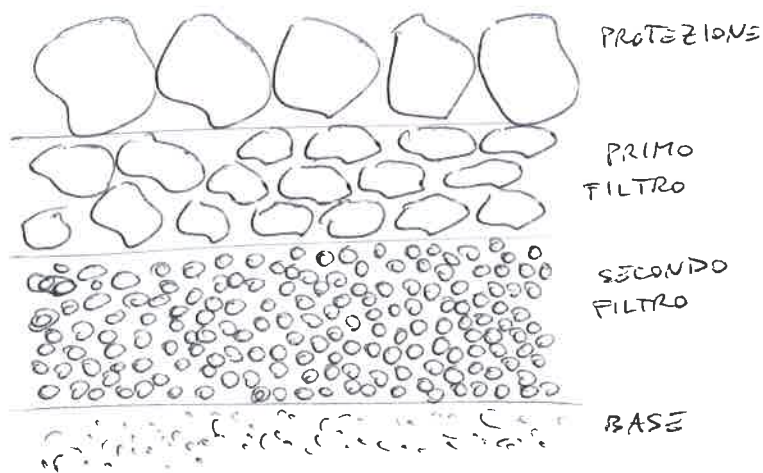
con $A \begin{cases} 0,2 & \text{poca turbolenza} \\ 0,5 \div 0,7 & \text{media turbolenza} \\ 1,4 & \text{alta turbolenza} \end{cases}$

Il materiale è scelto in base al fattore di forma, con angolo di attrito sfavorevole o favorevole -

FILTRI GRANULARI

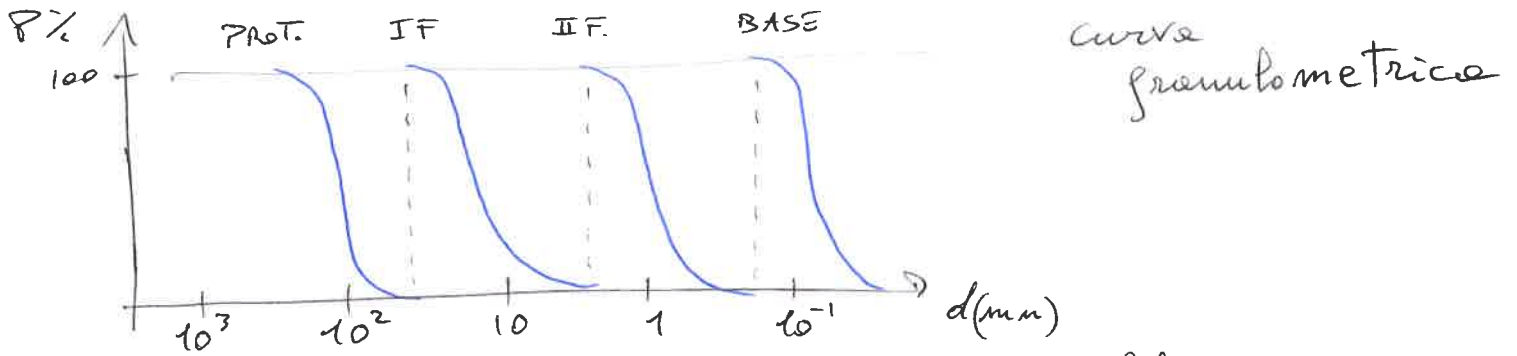
Strati con granulometria sempre minore, secondo un criterio di uniformità

$$5 \leq \frac{d_{15}(i)}{d_{15}(i-1)} \leq 5 \div 40 \quad \text{in base alla forma del materiale}$$



I criteri progettuali sono:

- la trattenuta, capacità di mantenere uno strato i-esimo al di sotto se è più fine



- la flessibilità, basata sullo spessore dei filtri

- sabbie / ghiaia sottile $0,05 \div 0,1$ m
- ghiaia / ciottoli $0,1 \div 0,2$ m
- massi $(1,5 \div 2) d_{50}$

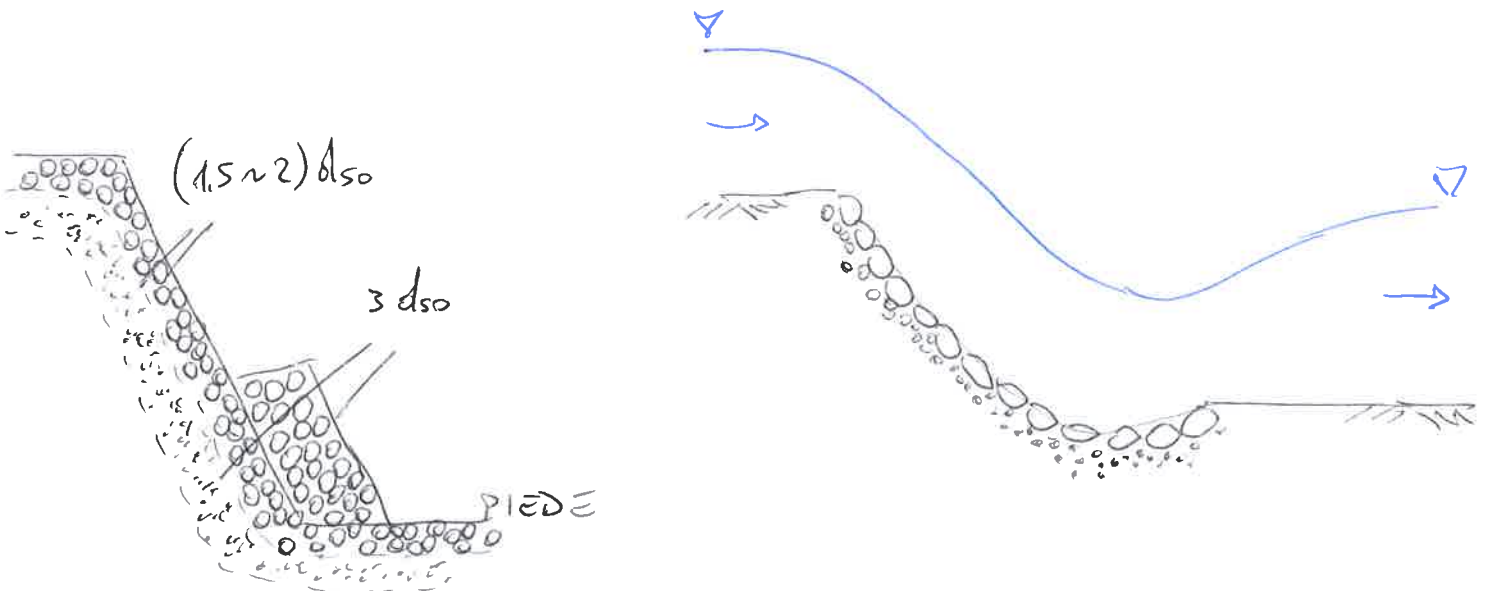
- la permeabilità, adattamento a rapide variazioni di superficie libera

- la stabilità, verificata con lo schema di Wörman

$$\frac{d_{15}(f)}{d_{85}(b)} = 6,25 \frac{1-P}{P} \frac{\delta f}{R_H} \left(\frac{R_H}{d_{85}(t)} \right)^n \frac{\Delta b}{\Delta t}$$

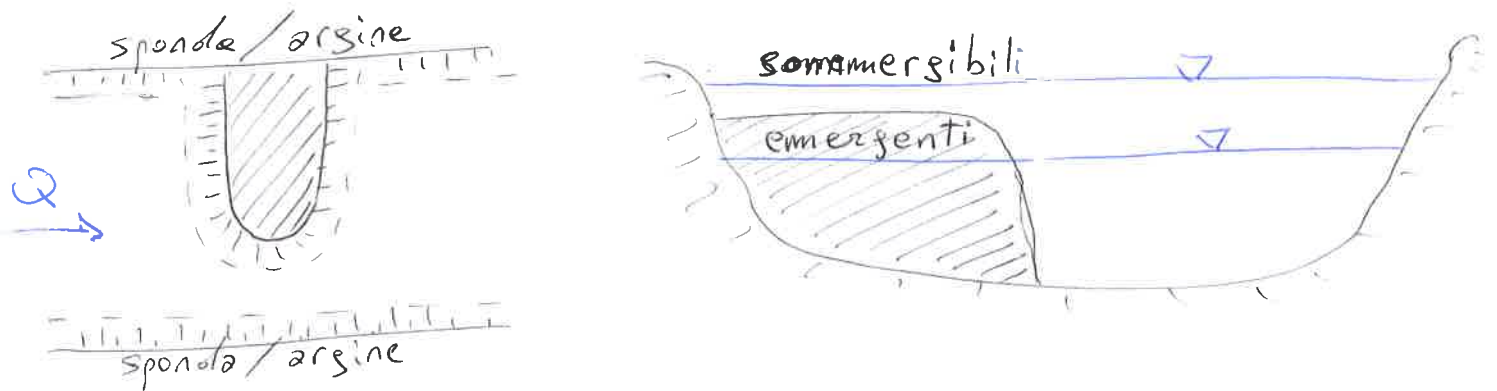
con gli strati
t, f, b

e τ = porosità
 $\Delta = \frac{P-f}{P}$
 δ = spessore

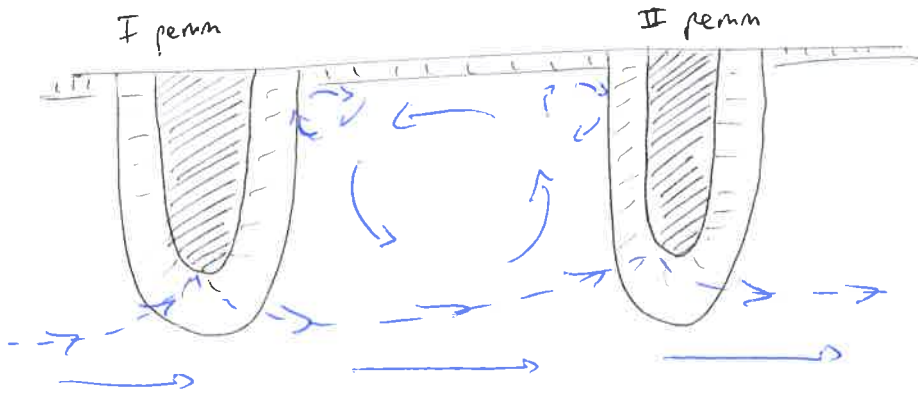


15 3. PENNELLI O REPELLENTI

Strutture trasversali o inclinate rispetto al corso d'acqua utili per problemi di erosione dell'argine e per favorire la navigazione.



Il pennello non è sollecitato staticamente avendo lo stesso livello dell'acqua in entrambi i lati, ma va verificata l'erosione essendo sempre seguito da altri.



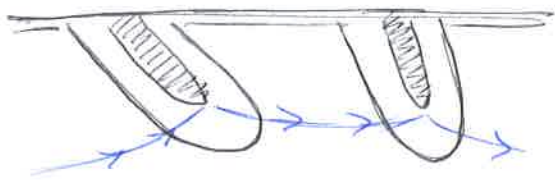
Si generano moti secondari circolari che erodono le sponde ed il pennello stesso.

Inoltre si ha un fenomeno di deposito tra i pennelli, dove l'acqua rallenta; ultima conseguenza è quella della vegetazione che si forma per variazione della superficie libera.

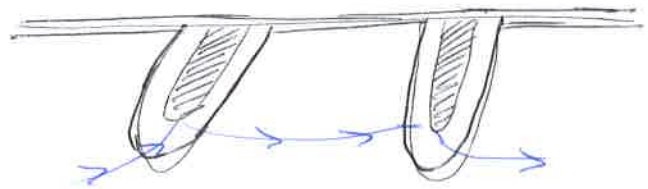
→ Porre i pennelli alla giusta distanza per un maggior controllo degli effetti di erosione e deposito, oltre alla limitata formazione delle barre in alveo.

I punti deboli dei pennelli sono alla testa, per maggiore sollecitazione dell'acqua.

CONVERGENTI



DIVERGENTI

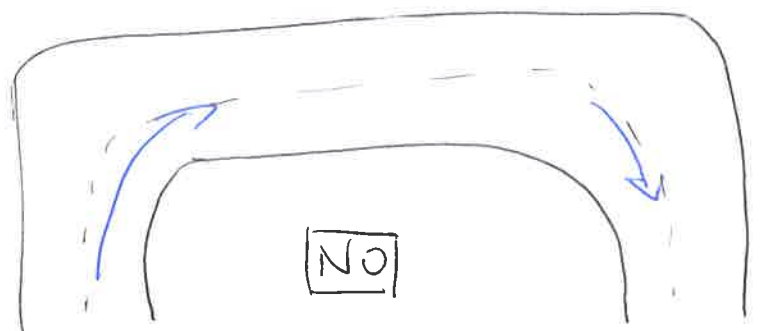
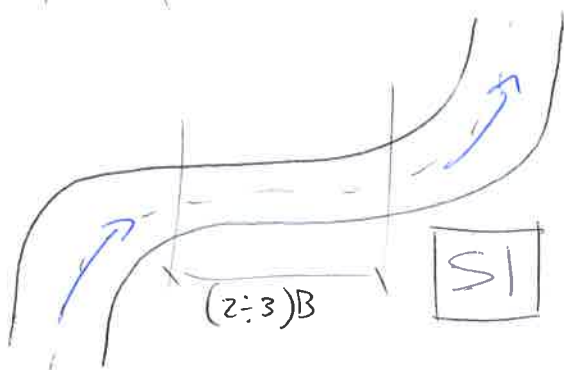
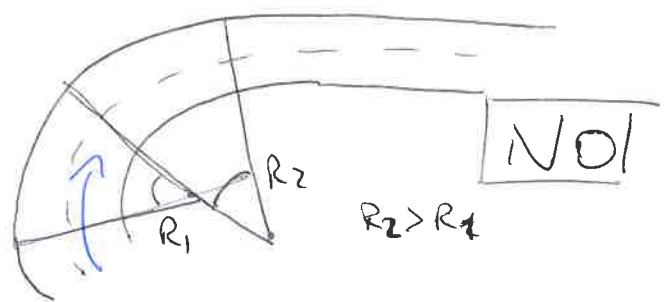
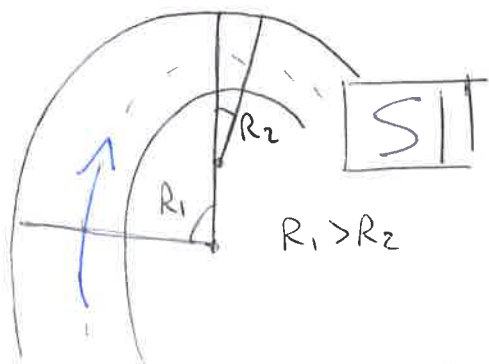


Problemi progettuali

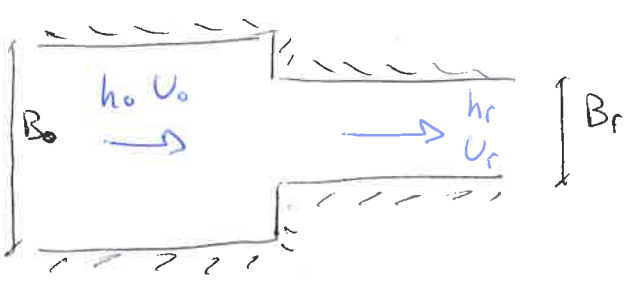
Per un corretto funzionamento dei pennelli è necessario un adeguato progetto seguendo delle regole:

- progetto del NUOVO TALWEG, ovvero le linee dei punti con maggiore profondità nell'alveo;
- lunghezza e altezza degli spigoli del pennello;
- distanza tra pennelli;
- orientamento con la sponda;
- problemi localizzati di erosione;
- modalità costruttive.

In genere vengono fatti in curva con angolo di curvatura maggiore di 50° , evitando isoriperie (stessa direzione) e diversa curvatura -



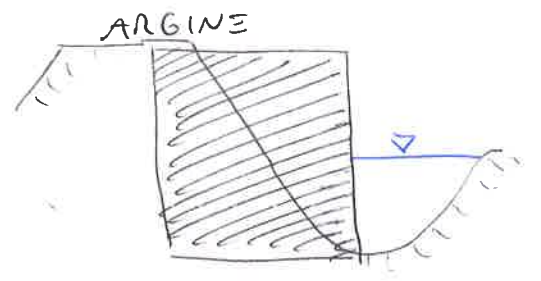
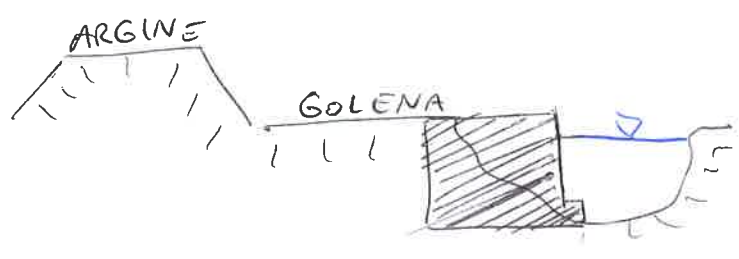
La presenza del pennello è un **RESTRINGIMENTO localizzato** e va analizzato come tale:



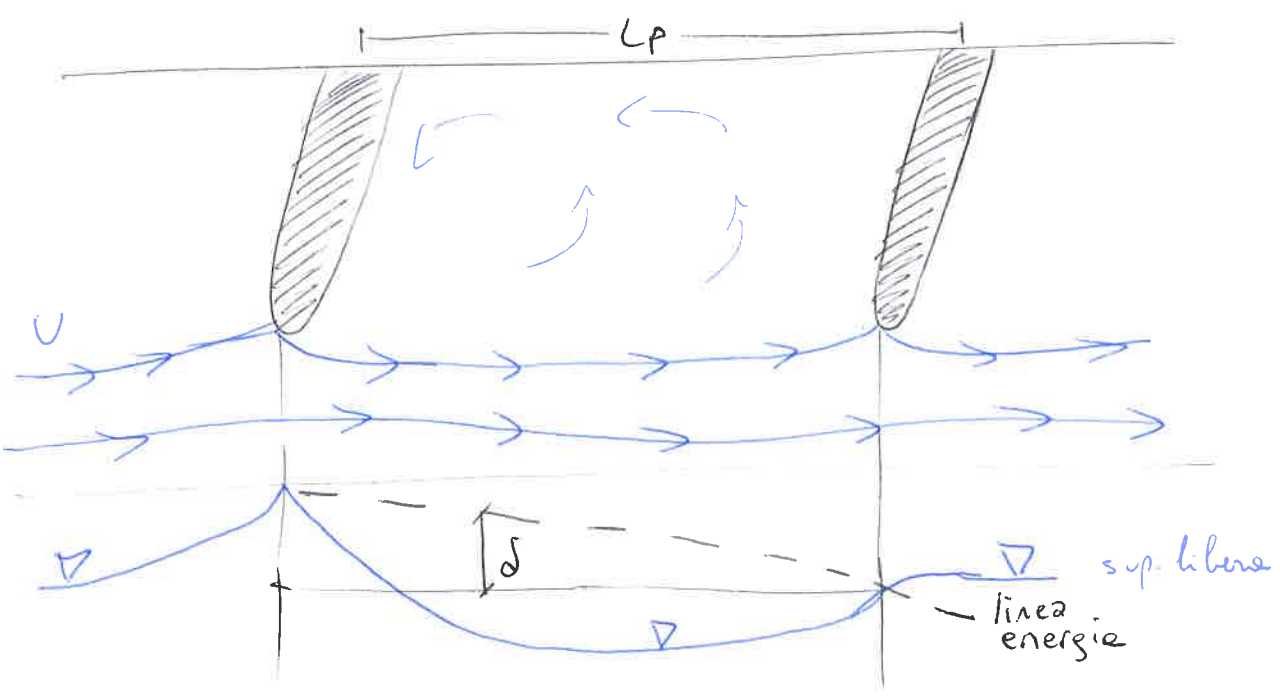
$$\begin{cases} Q = U_0 h_0 B_0 = U_r h_r B_r \\ Q_s = \text{cost.} \cdot B_0 U_0^\alpha h_0^{-\beta} = \text{cost.} \cdot B_r U_r^\alpha h_r^{-\beta} \end{cases}$$

$$\begin{cases} h_r = h_0 R^{\frac{\alpha-1}{\alpha+\beta}} & \text{espon. } 0,44 \div 0,54 \\ U_r = U_0 R^{\frac{1+\beta}{\alpha+\beta}} & \text{espon. } 0,2 \div 0,54 \\ i_r = i_0 R^{\frac{3-\alpha+\beta}{\alpha+\beta}} & \text{espon. } 0 \div 0,6 \end{cases}$$

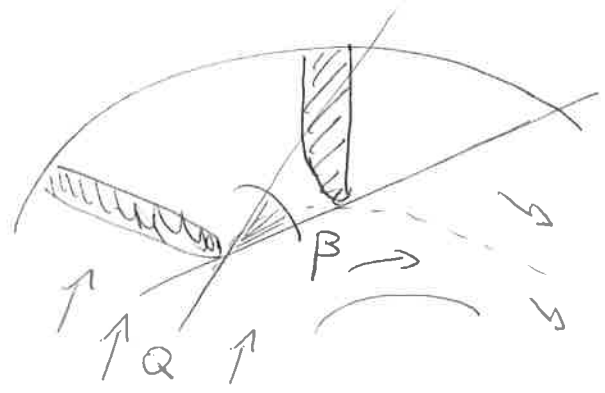
Quindi si impone una lunghezza $h \leq B_p \leq \frac{B_0}{4}$ dove $B_p = \text{spomole} \rightarrow \text{spigolo}$ mentre l'altezza è conforme allo scopo e all'argine.



La distanza tra pennelli è valutata secondo metodi semi-teorici: criterio di NEDECO, in cui $L_p \approx 0,6 \frac{U^2 h}{z g}$ dato che $\delta = i_s \cdot L_p < \frac{U^2}{z g}$



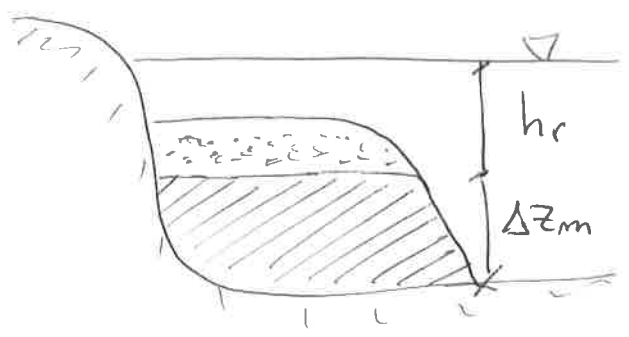
Il metodo geometrico impone l'angolo β (tra 8° e 16°) limite di posizionamento del II pennello.



Pennelli divergenti e sommersibili tendono ad erodersi, quindi le configurazioni ottimali sono:

- convergenti e sommersibili
- divergenti ed emergenti

Per i pennelli sommersibili, bisogna valutare l'erosione controllata sulla testata.

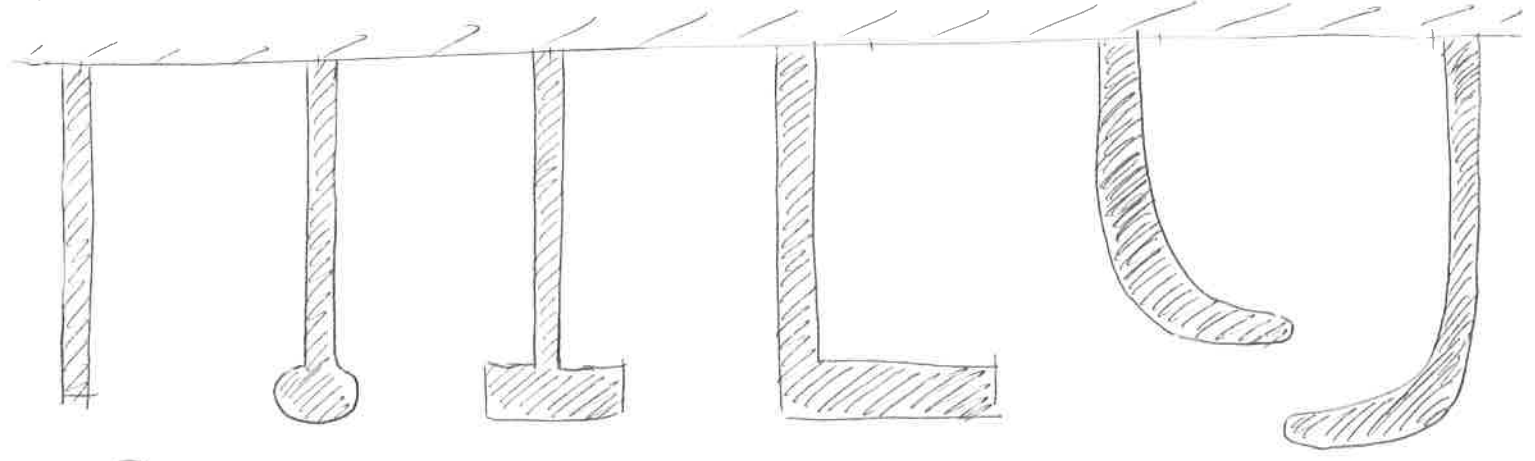


$$h_r + \Delta Z_m = K_p \left(\frac{Q}{B_o - B_r} \right)^{2/3}$$

K_p è un parametro = $\Pi_i k_i^3$

- k_0 = permeabilità
- k_1 = convergenza
- k_2 = curvatura
- k_3 = testata

FORME DI PENNELLI



$Q \rightarrow$
 RETTANGOLARE
 TESTA ROTONDA
 TESTA RETTANGOLARE
 TESTA PARALLELA
 CURVI Dritti o ROVESCIA

COSTRUZIONI

si segue una successione di strati dal nucleo alla copertura, con adeguata granulometria e filtri.

se si costruiscono all'asciutto si fanno in gabliani con il materasso sottostante.

Se si costruiscono sommerse si pone una serie di linee guida esternamente con palancole e Travi.

4. COLATE DI DETRITI

Le colate sono fenomeni impulsivi di dislocamento o scorrimento veloce ~~da~~ di enormi volumi solidi, che si sviluppa in tempi brevi. Interessano i bacini piccoli e nascono da una successione di piogge lunga e breve ma intensa.

Del punto di vista fisico sono fenomeni bifasici ad alta concentrazione solida; mentre le valanghe hanno composizione trifasica, e le lave vulcaniche sono di roccia solida e fusa.

Le PROBLEMATICHE studiate sono:

1. l'innescò;
2. la reologia;
3. le condizioni di portate di progetto;
4. l'urto su strutture;
5. la modellistica matematica;
6. come difendersi.

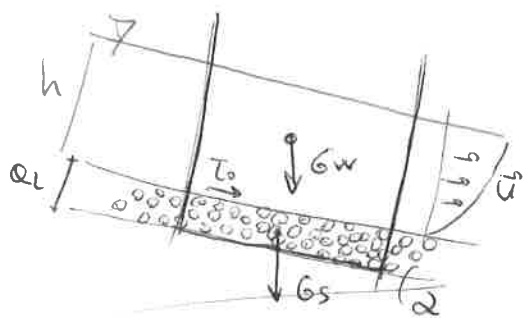
L'innescò

È provocato dal collasso di un ammasso granulare - si studia l'equilibrio con pendio indefinito, elencando le forze stabilizzanti e ~~le~~ destabilizzanti, nel volume di controllo.

$$T_0 = \rho g h \sin \alpha \quad G_s = \rho_s g C_* \alpha_L \sin \alpha$$

$$G = \rho g (1 - C_*) \alpha_L \sin \alpha \quad \text{con } C_* = 1 - P$$

La condizione di stabilità si ha con le forze stabilizzanti maggiori delle destabilizzanti ($T_0 + G_s + G_w$)



$$g \sin \alpha (C_* \alpha_L \Delta + h + \alpha_L) \leq \tan \varphi \Delta g \alpha_L \cos \alpha$$

$$\text{da } g \sin \alpha (p h + p \alpha_L (1 - C_*) + \rho_s \alpha_L C_*) \leq \tan \varphi (\rho_s - p) g \alpha_L \cos \alpha$$

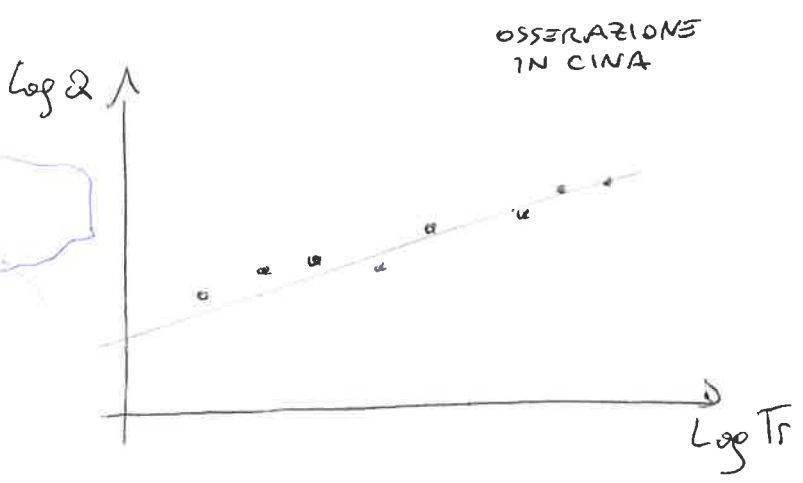
12 Nel caso in cui $0 < \frac{h_0}{\alpha_L} < 1,3$ si usa la formula di Takahashi

$$\tan \alpha \leq \tan \varphi \left(\frac{C_* \Delta}{C_* \Delta + 1 + \frac{h_0}{\alpha_L}} \right)$$

Significa che una colata si genera con $15^\circ \leq \alpha \leq 23^\circ$, quindi pendii di montagna.

Per $\begin{cases} \alpha < 15^\circ & \text{si ha trasporto di fondo semplice} \\ \alpha > 23^\circ & \text{si ha frana del terreno} \end{cases}$

Le condizioni di sviluppo di $\frac{h_0}{\alpha_L}$ sono di terreno saturo, quindi con una pioggia intensa e seguito di una lunga precipitazione.



Il tempo di ritorno corrisponde alla portata di picco della colata.

La reologie

si studia il legame tra colate e trasporto tramite la TEORIA DELLE PRESSIONI DISPERSIVE di Bagnold.

ipotizzando lo sforzo tangenziale dispersivo, con una pressione dispersiva, si ha la legge di Coulomb $\tau^s = p^s \tan \varphi$

trattando le colate come fluidi

$$p^s = p_s \left(\lambda d \frac{\partial v^s}{\partial y} \right)^2 \alpha_L \cos \varphi \quad \text{è l'equazione di stato.}$$

dove $\lambda = \frac{d}{S}$ è la concentrazione lineare nel salto

$$\text{se } \begin{cases} C \rightarrow 0 & \text{minime} \mapsto S \rightarrow \infty, \lambda = 0 \\ C \rightarrow C_* & \text{massime} \mapsto S \rightarrow 0, \lambda = \infty \end{cases}$$

Con particelle sferiche si trova $\lambda = \frac{C^{1/3}}{C_*^{1/3} - C^{1/3}}$

con $C_* = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 0,74$

La legge costitutiva di Bagnold per la reologia delle colate

$$\bar{\tau} = \rho_s \left(\lambda d \frac{\partial U^s}{\partial y} \right)^2 \alpha_L \sin \varphi = \tau^s \text{ per ipotesi di Bagnold}$$

Analizzando le forze in gioco si trovano le leggi di resistenza.

Nel moto uniforme si ha

$$\tan \varphi = \frac{\tau^s}{\rho^s} = \frac{\sin \alpha \int_y^h (1 + C \Delta) dy}{\cos \alpha \int_y^h C \Delta dy} \quad \text{costante, ma } C = f(\alpha) \text{ nella realt\`a}$$

Quindi la legge di trasporto solido $C = \frac{1}{\Delta} \frac{\tan \alpha}{\tan \varphi - \tan \alpha}$

La legge reologica della velocit\`a si trova integrando

$$dU^s = \sqrt{\frac{1}{(\lambda d)^2} \frac{1}{\rho_s \alpha_L \sin \varphi} \rho_s g (1 + \Delta C) \sin \alpha} (h - y)^{1/2} dy$$

$$\text{quindi } U^s = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_s} \frac{g (1 + \Delta C) \sin \alpha}{\alpha_L \sin \varphi}} \frac{1}{\lambda d} \left[h^{1,5} - (h - y)^{1,5} \right]$$

con la condizione in cui in $y=0$ (fondo) si ha $U^s \rightarrow 0$

La velocit\`a media della colata \u00e8

$$U_{DF} = \frac{1}{h} \int_0^h U(y) dy = K_{SDF} h^{2/3} \sqrt{\sin \alpha}$$

con $K_{SDF} \approx \frac{2}{5} \frac{h}{\lambda d} \sqrt{\frac{\rho}{\rho_s} \frac{1 + \Delta C}{\alpha_L \sin \alpha}} h^{1/6}$

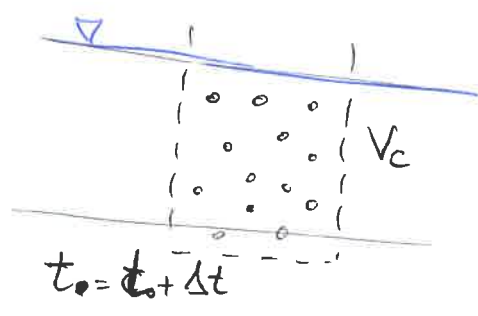
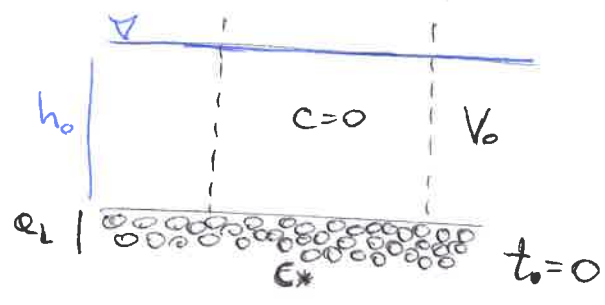
stimato circa $S \approx 15 \frac{m^{1/3}}{s}$

I limiti della teoria di Bagmolol sono:

1. il modello non considera il fatto che sul fondo non si hanno viti con $c \rightarrow c_*$ con la componente frizionale;
2. c nella realtà non è uniforme;
3. l'argilla aggiunge coesione (c_0) non prevista;
4. non si prevede il trasporto di fondo per $c \rightarrow 0$.

Le portate di progetto

L'evoluzione del fenomeno si ha con le due fasi



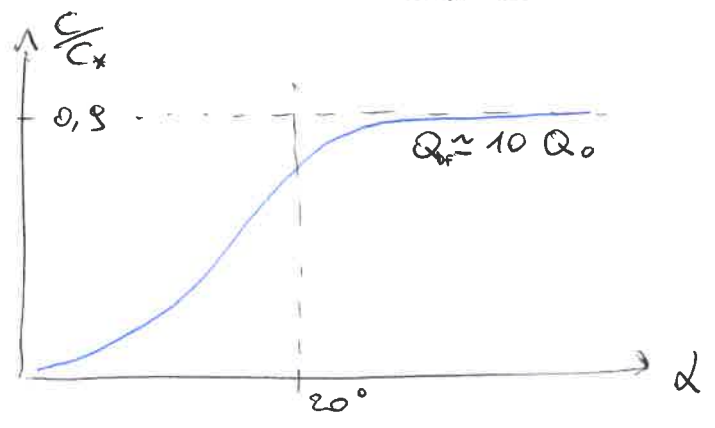
I bilanci di massa solida e fluida totale è

$$C_* V_* = V_c \quad \text{mentre} \quad V_0 + V_* = V_c$$

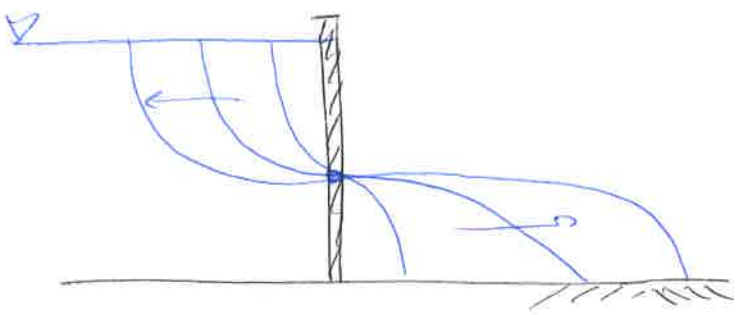
quindi $V_c = V_0 \frac{C_*}{C_* - C_0}$ e vale $Q_{DF} = Q_0 \frac{C_*}{C_* - C}$

La legge della concentrazione di Bagmolol è

$$C = \frac{1}{\Delta} \frac{\tan \alpha}{\tan \varphi - \tan \alpha}$$



Similitudine col dam break



Formula di Ritter

$$q = \frac{8}{27} h \sqrt{gh}$$

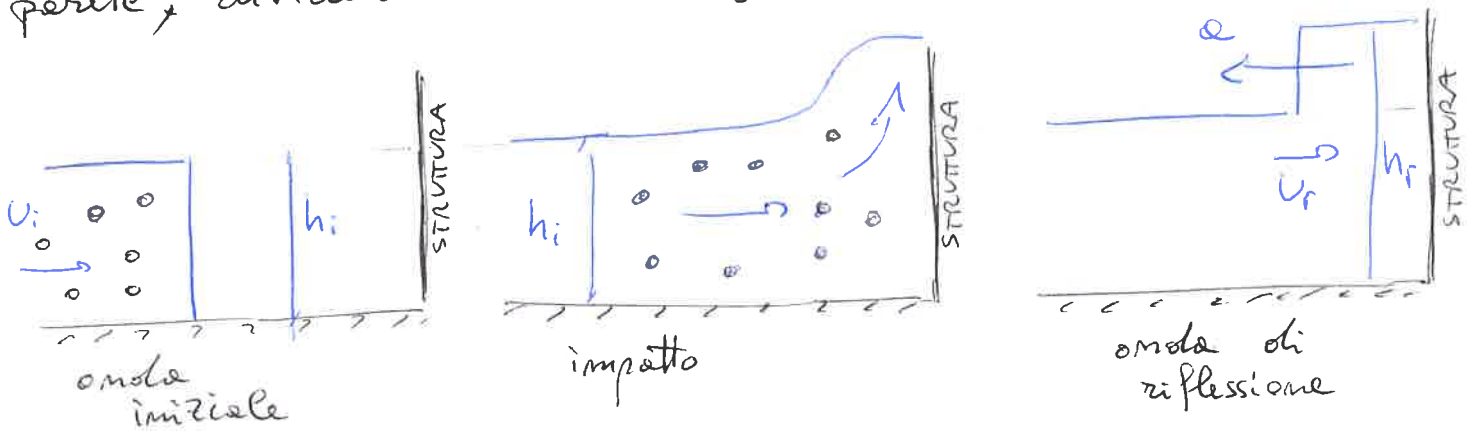
La colata forma un conoide verso valle e un'onda di piena che si arresta in breve tempo e prima della sezione di chiusura.

La parte più grossolana si trova sul fronte e ai lati, segno di riconoscimento di una colata passata.

In genere non si ripete il fenomeno nello stesso sito, ma va studiato un versante del bacino se è soggetto e colate in caso di evento estremo.

L'impatto sulle strutture

La colata è studiata come l'impatto di un'onda su una parete, dividendo le tre fasi:



Prendendo il sistema di riferimento solidale all'onda ($\alpha = \text{cost}$) si ha il volume di controllo soggetto alle conservazione

$$\begin{cases} h_i(\alpha + U_i) = h_r(\alpha + U_r) & \text{masse} \\ \frac{\rho_m g}{2} (h_i^2 - h_r^2) = \rho_m (U_r + \alpha)^2 h_r - \rho_m (U_i + \alpha)^2 h_i & \text{spinte} \end{cases}$$

si trova con $U_r \Rightarrow 0$ che $\left[\left(\frac{h_r}{h_i} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{h_r}{h_i} - 1 \right) - 2 F_{ri}^2 \frac{h_r}{h_i} = 0$

quindi $\frac{h_r}{h_i} = \left(1 + 1,5 F_{ri}^{1,2} \right)^{2/6}$ adimensionalizzato

La spinta idrostatica è

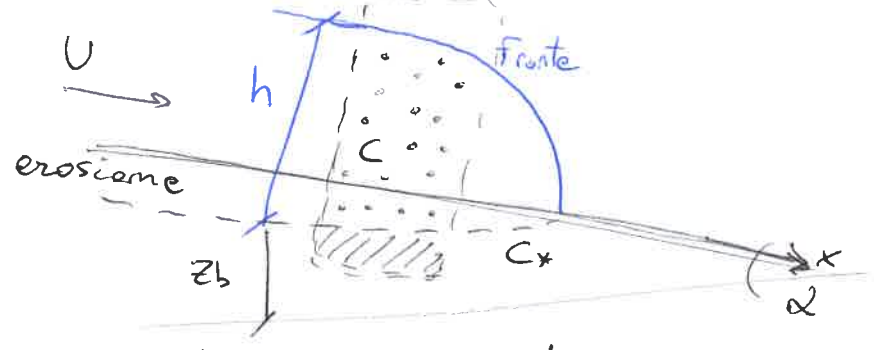
$$S = \frac{1}{2} \rho_m g h_i^2 B = \frac{1}{2} g B h_i^2 \rho_m \left(1 + 1,5 F_{ri}^{1,2} \right)^{2/6} \approx S_i \cdot 10$$

aumento notevole della spinta

20
 Le modellistiche matematiche

Si basa sulla conservazione fisica del trasporto solido sul fondo, erode e deposita $\Delta z_b = f(x, t)$

quindi $U, h, c = f(x, t)$



ipotesi isocinetica

$$\begin{cases} U = U_e = U_s \\ \rho_m = (1-c)\rho + c\rho_s \end{cases}$$

Il sistema di equazioni di conservazione è

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial t} [Ch + C_x z_b] \cos \alpha + \frac{\partial}{\partial x} [Ch U_s \cos \alpha] = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} [(1-c)h + (1-C_x) z_b] \cos \alpha + \frac{\partial}{\partial x} [(1-c)h U_e \cos \alpha] = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} [\rho_m U h] + \frac{\partial}{\partial x} [\rho_m U^2 h \cos \alpha] + \rho_m g h \frac{\partial h}{\partial x} + \rho_m g h \frac{\partial z_b}{\partial x} \cos \alpha = -(\tau_o^s + \tau_o^e) \end{cases}$$

Bagnold pone le condizioni per applicare il modello

$$C = \frac{1}{\Delta} \frac{\tan \alpha}{\tan \phi - \tan \alpha} \quad \text{e} \quad U_{DF} = K_{DF} \cdot h^{2/3} \sqrt{h \sin \alpha}$$

trovando tre soluzioni iperboliche

Molti software di modellazione pongono $\frac{\partial z_b}{\partial t} = 0$, senza erosione e deposito del fondo.

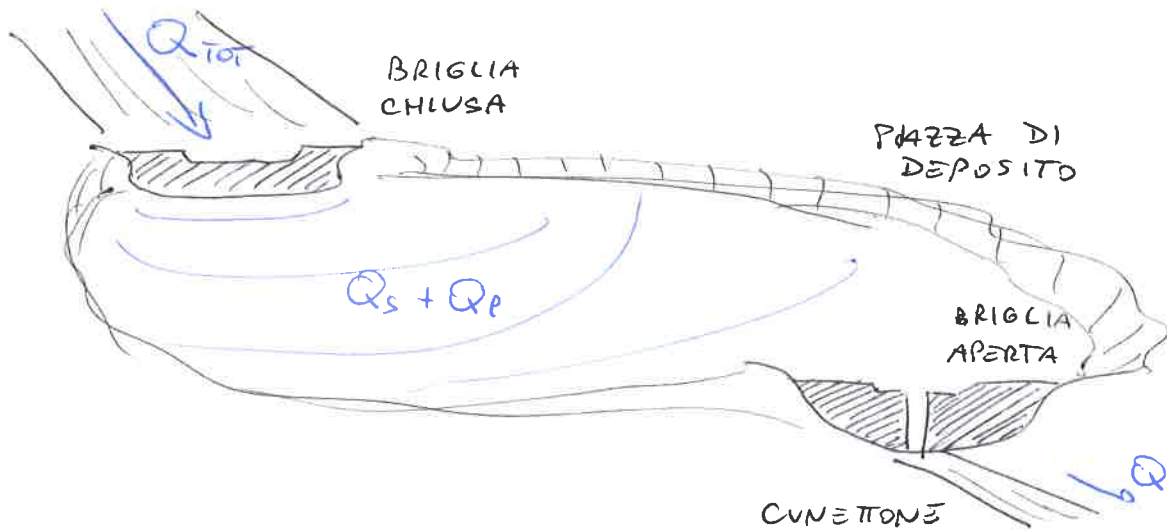
secondo la colata come fluido di Bingham, c'è moto superato un certo valore di soglia τ_o , con fluido omogeneo

legge reologica

$$\begin{cases} \tau = \tau_c + \kappa \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)^n, & U \neq 0 \\ \tau \leq \tau_c, & U = 0 \end{cases}$$

Come difendersi

Per le colate, e aree soggette, vengono utilizzate le serie di briglie chiuse con piazze di deposito adeguate e spesso molto grandi. La seconda briglia può essere a fessure per il deflusso della fase liquida.



classificazione [Hungry et al. (2001)]

| MATERIALE | CONTENUTO D'ACQUA | CONDIZIONI PARTICOLARI | VELOCITÀ | DENOMINAZIONE |
|--------------------|-------------------------------|--|---------------------|--------------------|
| DETRITO | SATURO | CANALE DEFINITO, CONTENUTO IDRICO ACCRESCIUTO DAL SITU | ESTREMAMENTE RAPIDO | COLATA DI DETRITO |
| FANGO | LIMITI DI LIQUIDITÀ | COLATA DI DETRITO FINE | MOLTO RAPIDO | COLATA DI FANGO |
| DETRITO | PRESENZA DI ACQUA LIBERA | PIENA | ESTREMAMENTE RAPIDO | PIENA DI DETRITI |
| DETRITO | VARIABILE | NO CANALE DEFINITO, BORGENTE RIPIDA E SUPERFICIALE | ESTREMAMENTE RAPIDO | VALANGA DI DETRITO |
| ROCCIE FRAMMENTATE | VARIABILE, MATERIALE ASCIUTTO | ROCCIA INTATTA, GRANDI VOLUMI | ESTREMAMENTE RAPIDO | VALANGA DI ROCCIA |

1 ESERCIZI

Dimensionamento paveta, briglia chiusa

DATI: condizioni coletta/portata

INCOGNITE: dimensioni paveta (B_g, h_g)

velocità di monte $U_m = \sqrt{g h_m} \cdot f_{rm}$ (I ipotesi di B_g)

quindi $Q_m = U_m \cdot A = \sqrt{g h_m} \cdot f_{rm} \cdot A = \sqrt{g h_m} f_{rm} \cdot B \cdot h_m$

e la portata solida (MPM) $Q_s = 8 B d \sqrt{g \Delta d} (\theta - \theta_c)^{1,5}$
 $\neq 8 B d \sqrt{g \Delta d} \left(\frac{4 \cdot h_m}{\Delta d} - \theta_c \right)^{1,5}$

approccio a: ~~trascurare~~ Trascurare il trasporto solido (Belanger)

in critica $Fr = \frac{U}{\sqrt{g h}} = 1$ e $h_g = \sqrt[3]{\frac{Q_g^2}{B_g^2 g}}$

si trova Y_6 $\left\{ \begin{array}{l} Y_6 = h_g + Y_f \quad \text{senza energia cinetica} \\ Y_6 = \frac{3}{2} h_g + Y_f \quad \text{con energia cinetica} \end{array} \right.$

approccio b: Trascurare il trasporto solido (energetico)

$$\left\{ \begin{array}{l} h_g + \frac{Q}{2 g h_g^2 (B_g + 2 n h_g)^2} = H_m \\ H_m = h_m + \frac{Q^2}{2 g h_m B_m} \end{array} \right. \quad [n \approx 0,5]$$

Trovando il valore di h_g

quindi Y_6 $\left\{ \begin{array}{l} Y_6 = h_g + Y_f \quad \text{senza energia cinetica} \\ Y_6 = \frac{3}{2} h_g + Y_f \quad \text{con energia cinetica} \end{array} \right.$

approccio c: considero il trasporto solido

il deposito ΔZ_b a monte è in funzione della portata

$$\frac{\Delta Z_b}{h_m} = \frac{B_m / B_g}{\sqrt{\frac{\theta_c}{\theta} \left(1 - \left(\frac{B_m}{B_g} \right)^{2/3} \right) + \left(\frac{B_m}{B_g} \right)^{2/3}}} - 1 + \frac{Fr^2}{2} \left(\frac{\theta_c}{\theta} - 1 \right) \left(1 - \left(\frac{B_m}{B_g} \right)^{2/3} \right)$$

Conservazione di MPM di Q, Q_s ed energia

→ soluzione approssimata: $\Theta \rightarrow \Theta_c$

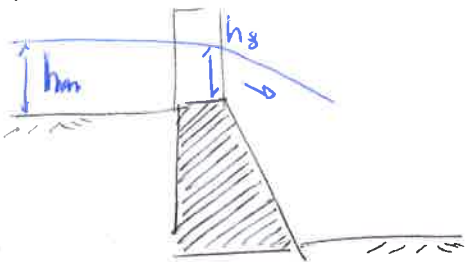
$$\frac{\Delta z_b}{h_m} = \frac{B_m}{B_g} - 1 \quad \leadsto \quad \Delta z_b = h_m \left(\frac{B_m}{B_g} - 1 \right)$$

quindi $Y_G = \Delta z_b + h_m + Y_f = \Delta z_b + h_m + \frac{U_m^2}{g} + Y_f$

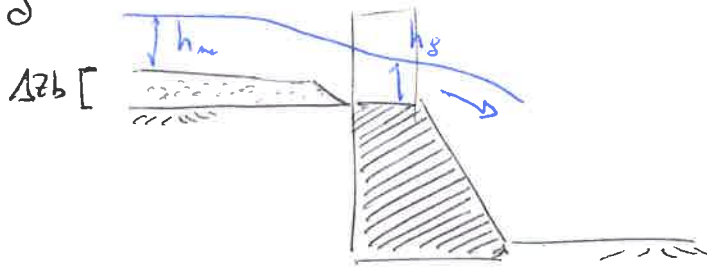
→ soluzione completa: $\Theta = \frac{h_m i_f}{d \Delta}$

$\frac{\Delta z_b}{h_m} =$ formula completa di MPM

quindi $Y_G = \Delta z_b + h_m + \frac{U_m^2}{2g} + Y_f$



approcci a, b



approccio c

Dimensionamento fessura, briglie aperte

DATI: condizioni colata / portata

INCOGNITA: larghezza fessura

per moto uniforme = h_m , quindi $Q_s = 8d \sqrt{g \Delta d} (\Theta - \Theta_c)^{1,5}$

bisogna laminare il volume solido $V_s = \Delta z_b \cdot A_{CASSA}$

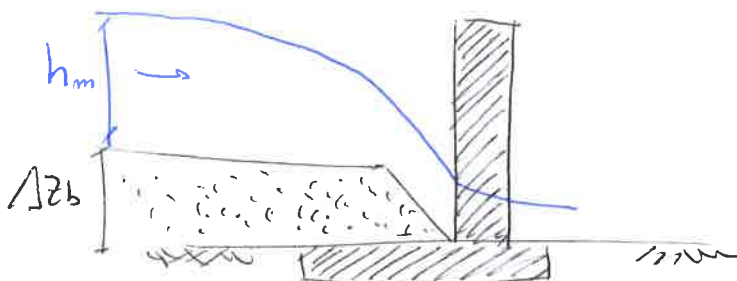
quindi $\Delta z_b = \frac{V_s}{A_{CASSA}}$

A sistema le portate solida e liquido

$$Q = B_{CASSA} \cdot K_s \cdot h_m^{2/3} i_f^{1/2}$$

$$Q_s = B_{CASSA} d \sqrt{g \Delta d} \left(\frac{i_f \cdot h_m}{\Delta d} - \Theta_c \right)^{1,5}$$

quindi $B_{fes} \Rightarrow$ da $\frac{\Delta z_b}{h_m} = \frac{B_m}{B_f} - 1$



2 Dimensionamento fessura per cassa d'espansione

DATI: idrogramma, dimensioni cassa, obiettivo volume
 della lamina

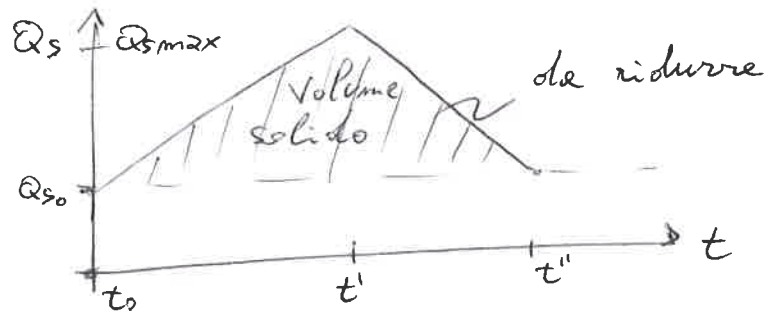
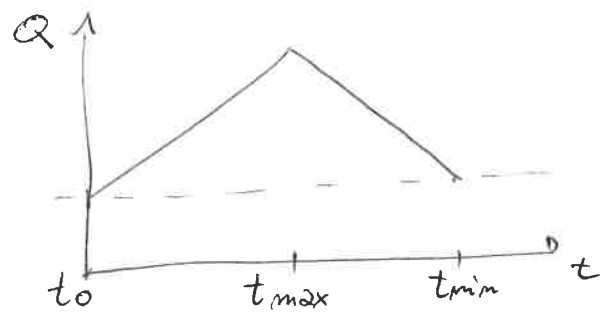
INCOGNITE: fessura delle briglie (di uscita)

definire l'altezza di moto uniforme

$$h_0 = \left(\frac{Q(t)}{B \cdot i_f^{1/2} \cdot K_s} \right)^{3/5}$$

in tempi diversi della piena (max/min)

$$\begin{cases} Q_s(t_{\max}) = B \cdot d \cdot 8 \sqrt{g \Delta d} \left(\frac{i_f h_0(t_{\max})}{\Delta d} - \theta_c \right)^{1,5} \\ Q_s(t_0) = B \cdot d \cdot 8 \sqrt{g \Delta d} \left(\frac{i_f h_0(t_0)}{\Delta d} - \theta_c \right)^{1,5} \end{cases}$$



~~$$V_s = \frac{(t'' - t_0) \cdot Q_s}{2}$$~~

$$V_s = \frac{(t'' - t_0) (Q_{s \max} - Q_{s0})}{2} \rightarrow V_{\text{obiettivo}} = \div \cdot V_s$$

quindi $A_{\text{CASSA}} = B_{\text{CASSA}} \cdot L_{\text{CASSA}}$

$$V_{\text{obiettivo}} = \Delta z_b \cdot A_{\text{CASSA}} \rightarrow \Delta z_b = \frac{V_{\text{obiettivo}}}{A_{\text{CASSA}}}$$

sono incognite i_f e h_m , quindi il sistema

$$\begin{cases} Q = B_{\text{CASSA}} \cdot h_m^{3/2} \cdot i_f^{1/2} \cdot K_s \\ Q_s = B_{\text{CASSA}} \cdot d \cdot 8 \sqrt{g \Delta d} \left(\frac{i_f h_m}{\Delta d} - \theta_c \right)^{1,5} \end{cases}$$

→ B_{fessura} si trova con le formule complete (o approssimate)

$$\text{di } \frac{\Delta z_b}{h_m} = f \left(\frac{B_{\text{CASSA}}}{B_{\text{fess}}}; \frac{\theta}{\theta_c} \right)$$

Gli argini della cassa si misurano col franco

$$H_{\text{CASSA}} = \Delta z_b + h_m + \gamma_f$$

Dimensionamento muri di sostegno

DATI: condizioni terreno, limiti di verifica

INCOGNITE: geometria muro

calcolo $K_A = \frac{\cos \varphi'}{\cos \delta \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \varphi') \cdot \sin \varphi'}{\cos \delta}} \right]}$ coefficiente di spinta attiva

spinta attiva $P_A = \frac{\gamma h^2}{2} K_A + 1,3 q h K_A$ da cui $\begin{cases} P_{AX} = P_A \cos \delta \\ P_{AY} = P_A \sin \delta \end{cases}$

sotto l'opera si valuta l'attrito $\varphi_d' = \arctan\left(\frac{\tan \varphi'}{\gamma}\right)$

quindi $\begin{cases} \delta \text{ laterale} = \frac{2}{3} \varphi' \\ \delta \text{ fondo} = \varphi' \end{cases}$

• Verifica scorrimento $R_d = \frac{(W + P_{AY}) \tan \varphi_d'}{\gamma_R} \geq N_d = P_{AX}$

• Capacità portante

calcolo base ridotta dall'eccentricità $B_R = B - ze$

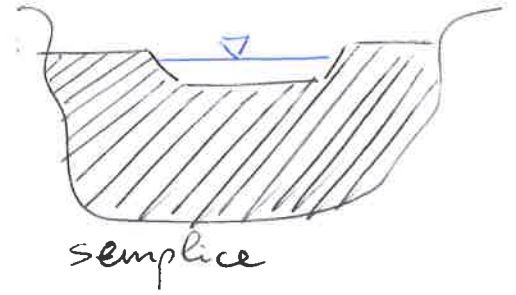
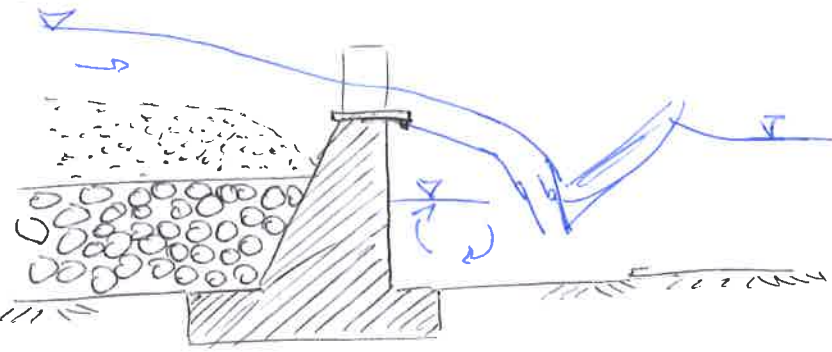
in cui $e = \frac{b}{2} - \frac{M_s - M_{AD}}{N}$

$q_{LIM} = \frac{1}{2} \gamma B_R N_{\gamma} i_{\gamma}$ formula semplificata di Brinch-Hansen

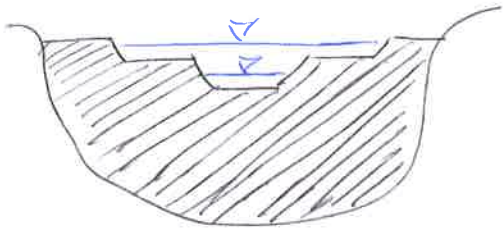
quindi $R_d = q_{LIM} \cdot B_R \geq N_d = P_{AY}$

DISEGNI OPERE

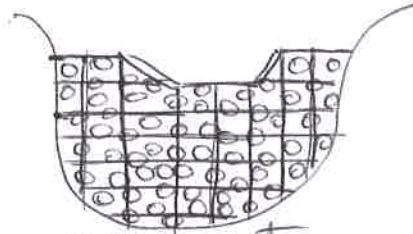
BRIGLIE CHIUSE



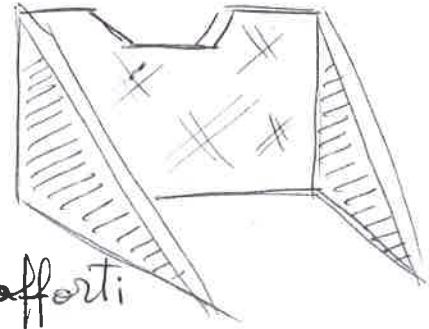
semplice



doppia parata

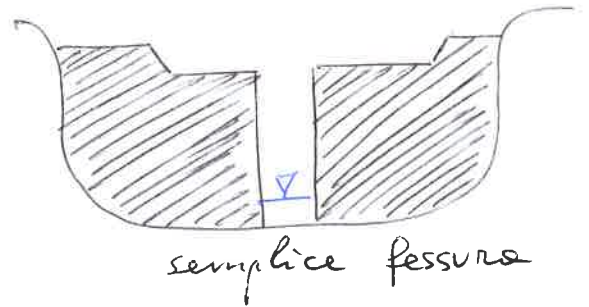
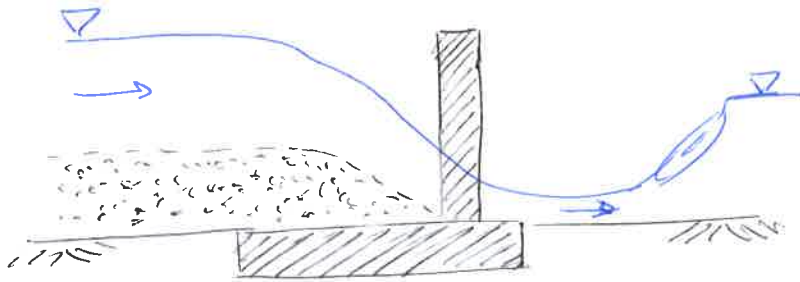


gabionate

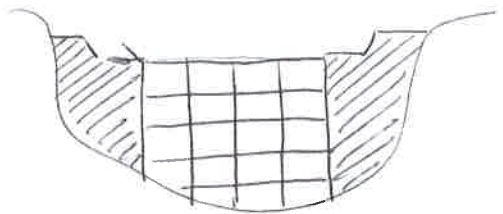


contrafforti

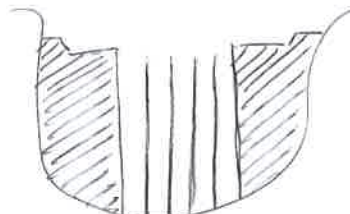
BRIGLIE APERTE



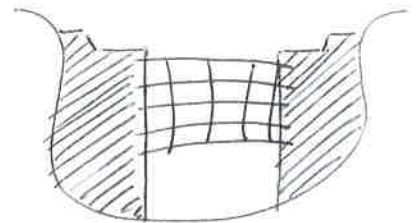
semplice fessura



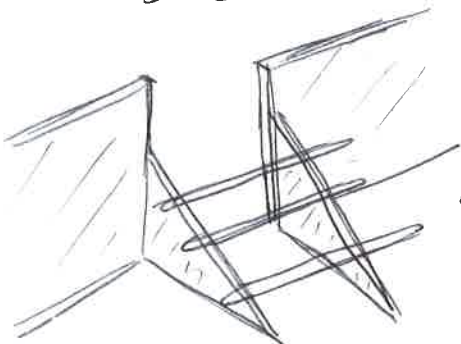
a griglia



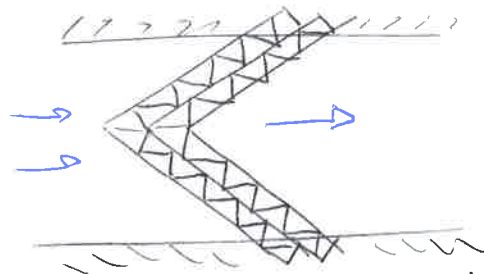
a pettine



a rete

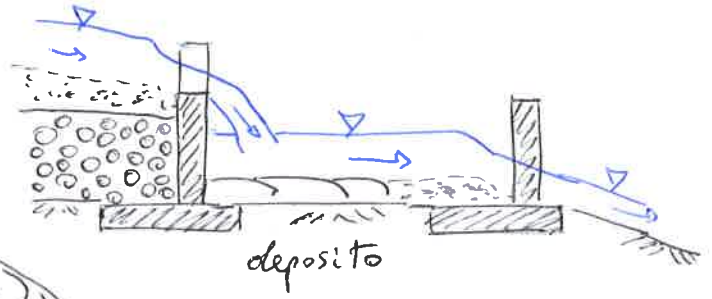
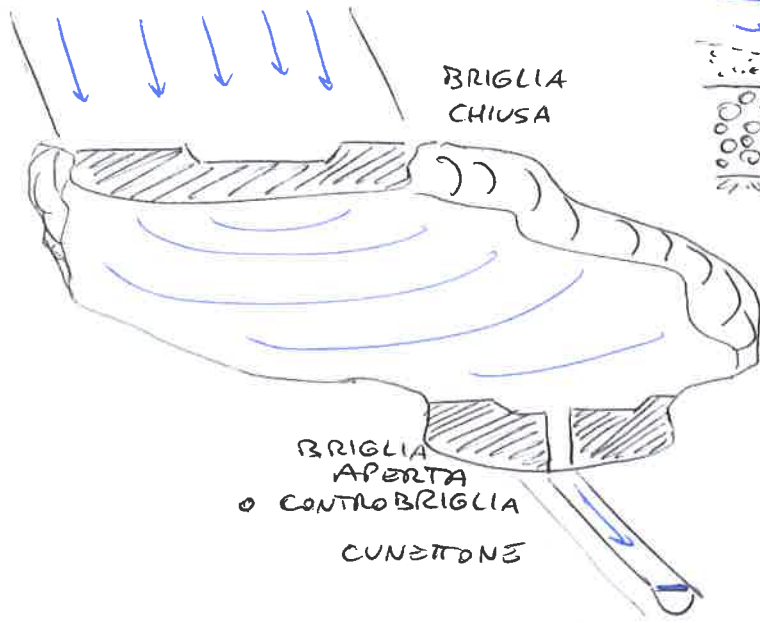


di Genet

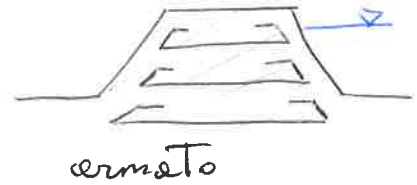
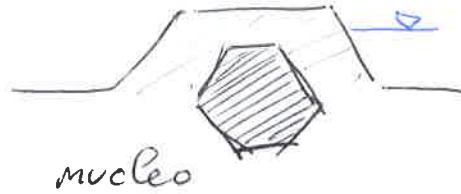
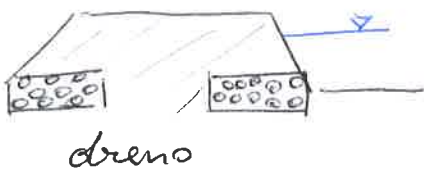
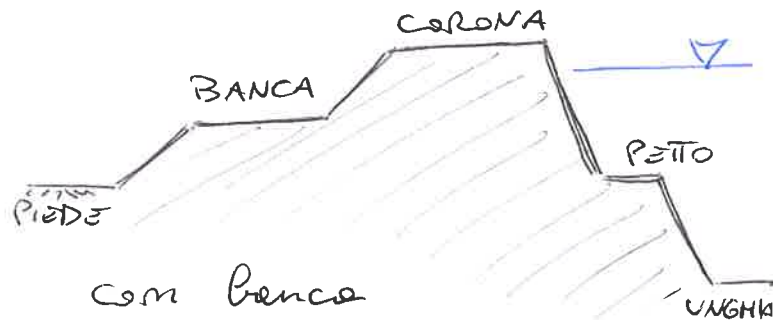
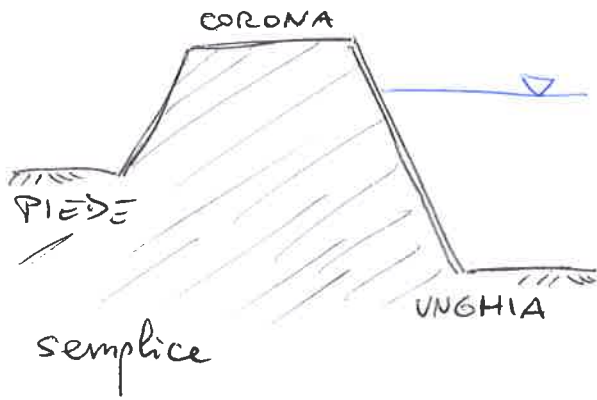


reticolare

PIAZZA DI DEPOSITO

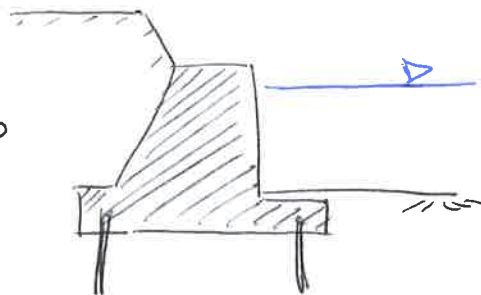


ARGINE

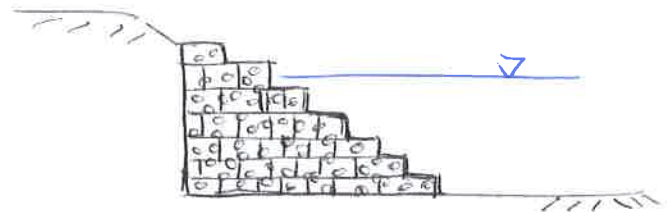


MURI DI SPONDA

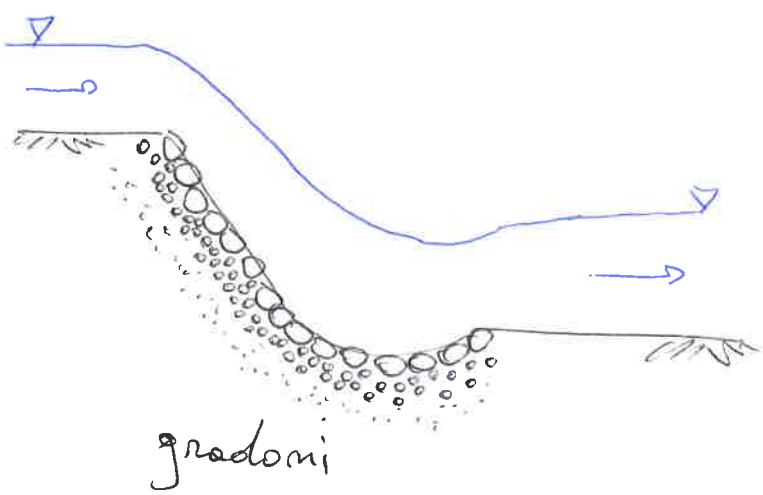
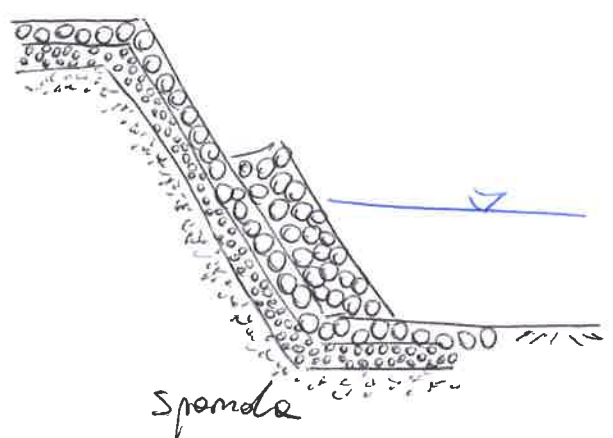
calcestruzzo



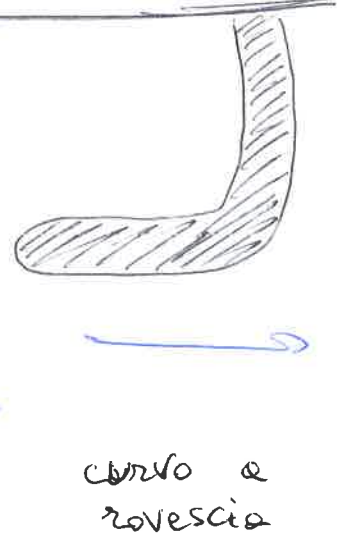
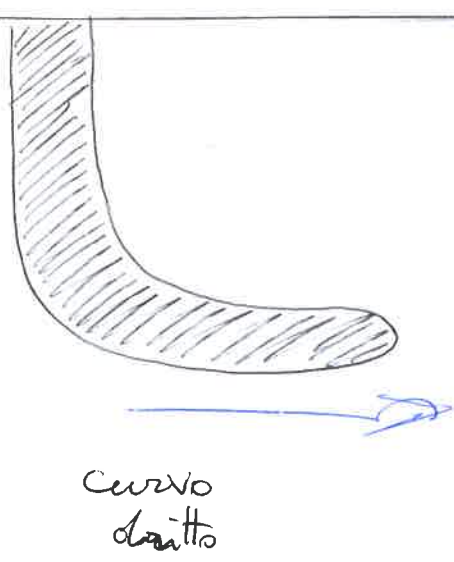
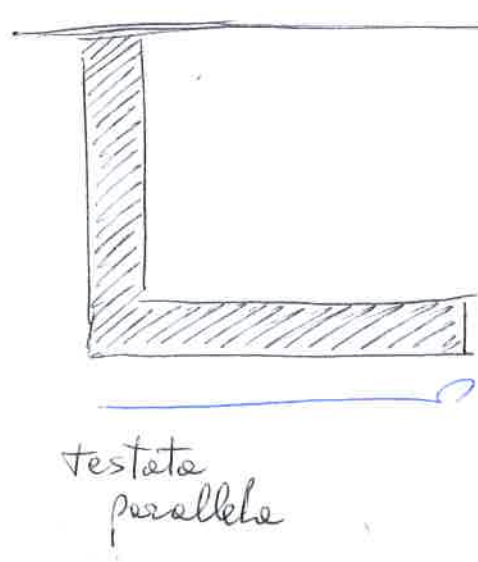
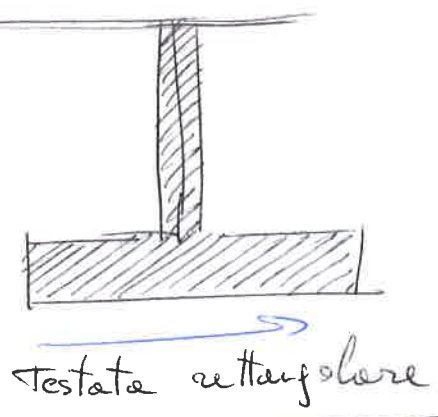
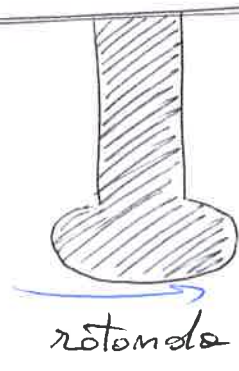
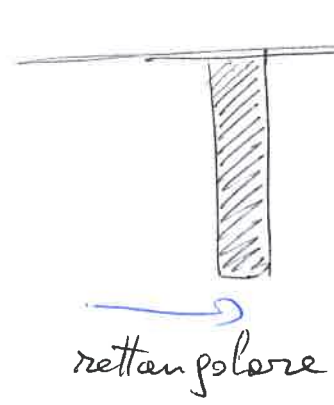
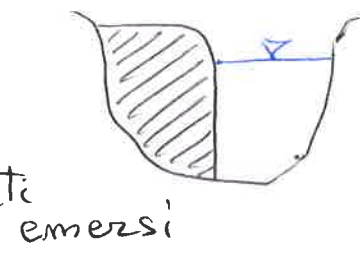
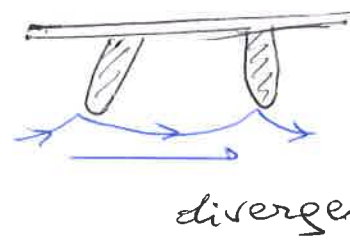
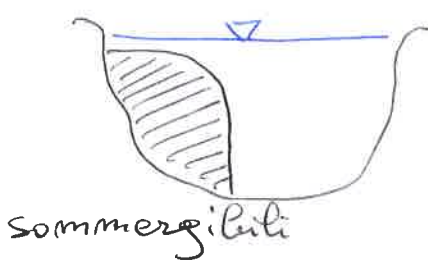
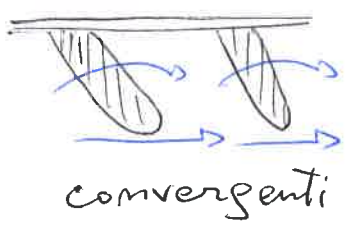
in gabioni



FILTRI GRANULARI



PENNELLI REPELLENTI



Focus: COLATE DI DETRITI

[L. Marchi UNIPD]

Variabilità spaziale

In uno stesso bacino è possibile riconoscere tratti della rete idrografica nei quali le colate detritiche rappresentano il processo di trasporto dominante ed altri interessati unicamente da piene idriche con trasporto solido.

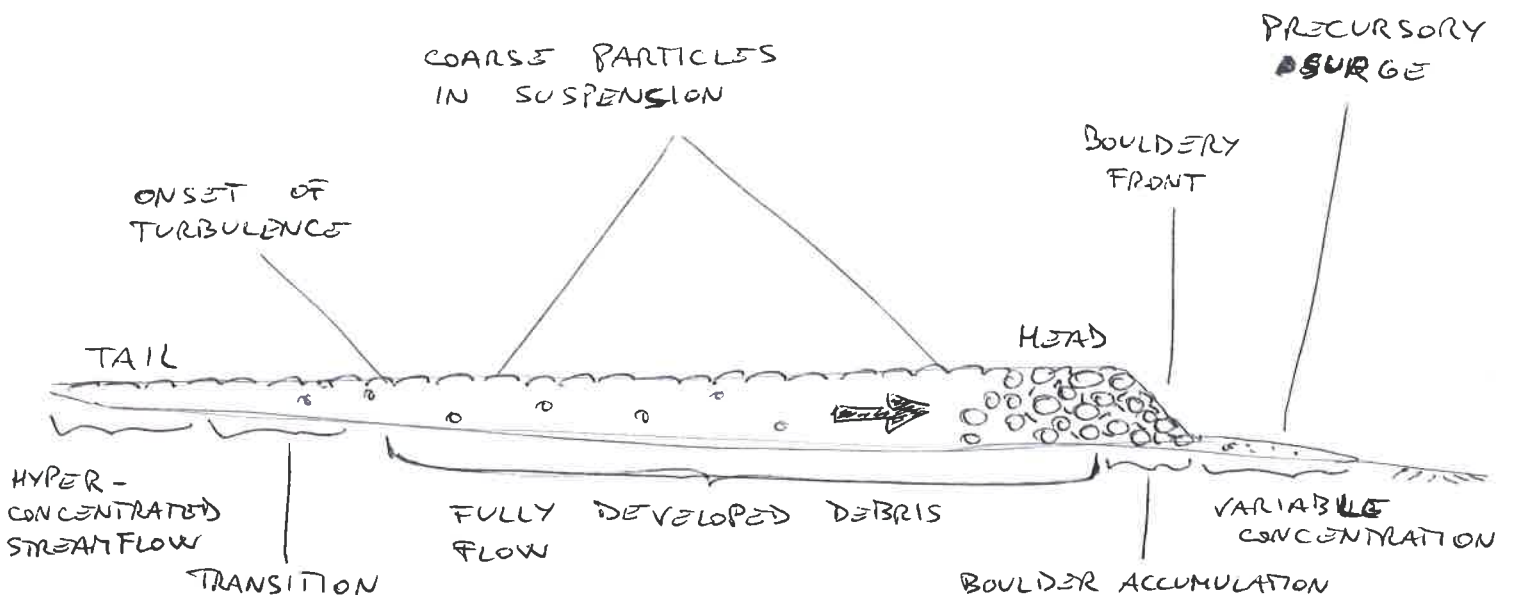
In termini generali, la predominanza dei due processi è controllata dai relativi rapporti fra pendenza locale ed estensione dell'area presente a monte.

Variabilità temporale

Le colate detritiche si manifestano tipicamente attraverso pulsazioni, con l'improvvisa comparsa di onde caratterizzate da un ~~fronte~~ fronte ripido ben definito.

Le singole pulsazioni sono solitamente di breve durata ma possono succedersi, intervallate da brevi periodi di stasi, anche per parecchie ore o per più giorni.

La presenza di numerose pulsazioni può essere espressione delle caratteristiche idrauliche del fenomeno o, in alcuni casi, può essere dovuta al fatto che l'apporto di materiale solido è dato da fenomeni franosi di grandi dimensioni.



Focus: MURI DI SOSTEGNO [da NTC]

Esistono diversi approcci in normativa (NTC 2018) con i coefficienti di sicurezza per il metodo semi-empirico.

$$\begin{cases} \text{DA1} & \text{combinazioni} & \begin{cases} C1 = A1 + M1 + R1 \\ C2 = A2 + M2 + R2 \end{cases} \\ \text{DA2} & \text{combinazione} & C = A1 + M1 + R3 \end{cases}$$

cioè azioni + parametri + resistenze

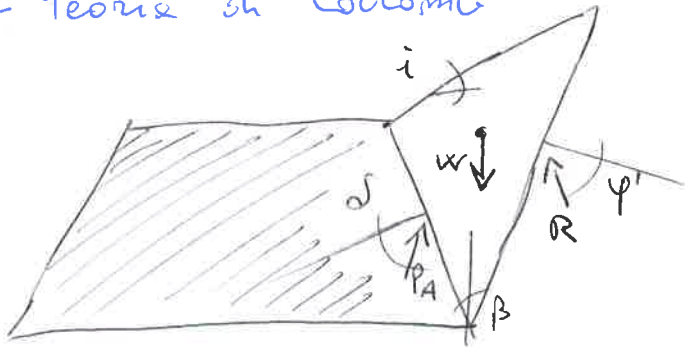
la verifica SLU è sempre $E_d \leq R_d$

dove si combinano i parametri per $E_d = f(F_i \cdot \gamma_F; \frac{x_i}{\gamma_x})$

mentre la resistenza è $R_d = \frac{1}{\gamma_R} f(f_i \cdot \gamma_F; \frac{x_i}{\gamma_x})$

Per i muri di sostegno si seguono 2 teorie:

- Teoria di Coulomb



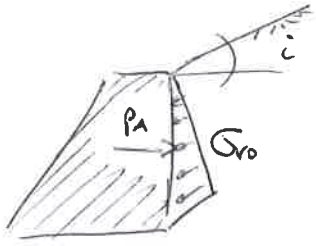
sono incognite
R e P_A valutati con $\delta = \frac{2}{3} \phi'$

⇒ con un procedimento iterativo, trovare la superficie di scorrimento tale per cui si ha spinta massima.

L'ipotesi di muro verticale ($\beta = 0$) si ha $P_A = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_A$ con il K_A coefficiente di spinta attiva

$$K_A = \frac{\cos \phi'}{\cos \delta \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi') \sin \phi'}{\cos \delta}} \right]}$$

- Teoria di Rankine ipotesi di $\delta=0$, quindi spinta attiva P_a parallela alla superficie.



si relazionano gli sforzi in profondità

$$\sigma_{v0} = \gamma z \cos i \quad \text{quindi}$$

$$\frac{\sigma_a}{\sigma_{v0}} = \frac{\cos i - \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi'}}{\cos i + \sqrt{\cos^2 i - \cos^2 \varphi'}}$$

con una superficie orizzontale $i=0$: $\sigma_a = \sigma_{v0} \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'}$

+ Capacità portante

con la formula di Brinch-Hansen del carico limite

$$q_{LIM} = \underbrace{\frac{\gamma B_R}{2} N_\gamma (s_\gamma i_\gamma d_\gamma g_\gamma)}_{\text{struttura}} + \underbrace{c' N_c (s_c i_c d_c g_c)}_{\text{coesione}} b_c + \underbrace{q N_q (s_q i_q d_q b_q g_q)}_{\text{carico}}$$

N = coefficiente di capacità portante

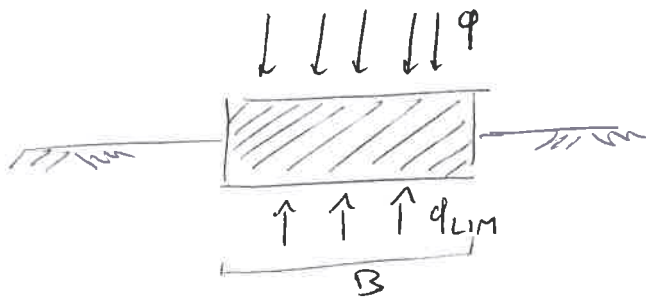
s = coefficiente di forma

i = fattore d'inclinazione carico

b = fattore d'inclinazione base

g = fattore d'inclinazione fondazione

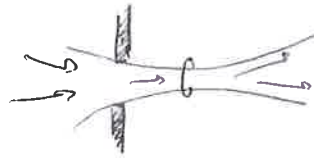
d = fattore d'inclinazione piano campagna



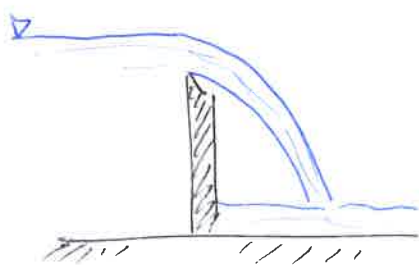
Focus: TERMINI

TALWEG: In geografia fisica, la linea (cammino della valle) che unisce tutti i punti più bassi lungo un fondovalle. Nella navigazione fluviale, il filone (o solco) d'impluvio, cioè quella parte del fiume in cui le acque sono più profonde e maggiore è la velocità della corrente.

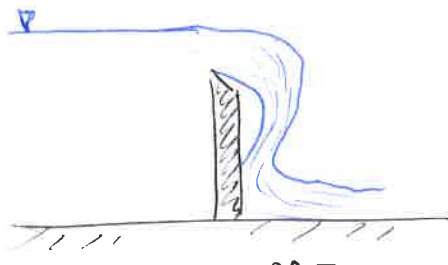
VENA CONTRACTA: è il punto in cui il diametro di un getto è minimo, quindi si ha minima sezione e massima velocità.



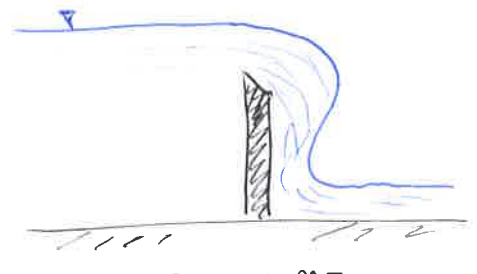
NAPPE: è un foglio (o cortina d'acqua) che scorre su uno sbarramento. Le caratteristiche inferiore e superiore dell'acqua hanno caratteristiche diverse, che caratterizzano il modo in cui una nappe può scorrere attraverso le strutture. Si distinguono le strutture idriche per caratterizzare la formazione di una falda. Viene costruita una ~~galleria~~ faretta appropriata in modo tale che la diga non si deteriori per le vibrazioni o per cavitazione dell'aria.



FREE NAPPE



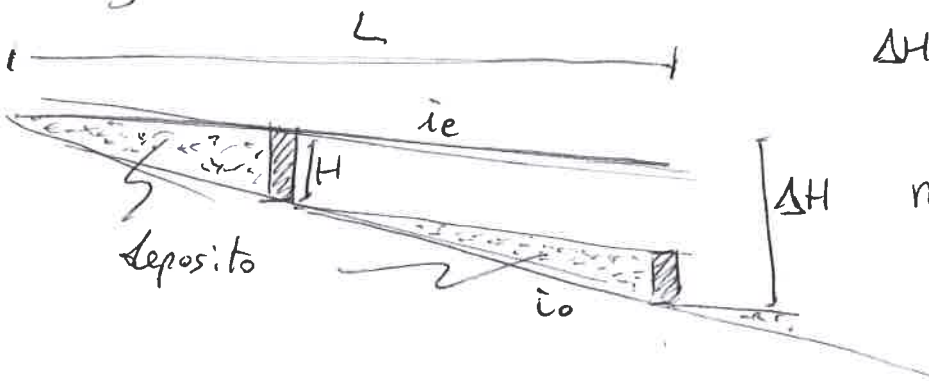
DEPRESSED NAPPE



CLINGING NAPPE

BRIGLIA DI CONSOLIDAMENTO: scopo di controllo di fondo degli alvei in erosione.

Progettazione numero di briglie



$$\Delta H = i_o L - i_e L = (i_o - i_e) L$$

carico energetico

$$n = \frac{\Delta H}{H} = \frac{(i_o - i_e) L}{H}$$

con ipotesi di moto incipiente

$$\frac{R_H \cdot i_{fc}}{\Delta d} \approx 0,06 \text{ (SHIELDS)}$$

quindi $i_{fc} (= i_e) = 0,06 \Delta \frac{d}{H}$ canale largo

BRIGLIA DI TRATTENUTA: contenere la colata o trasporto con una pendenza adeguata.

Da shields e MPM $Q_s = B d \sqrt{g \Delta d}^3 (\theta_o - \theta_c)^{1,5}$

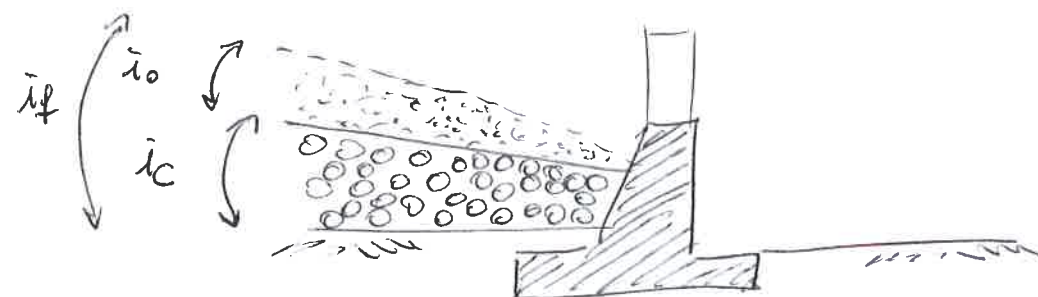
→ ovvero $\theta_o = \theta_c + \underbrace{\left(\frac{Q_s}{B d \sqrt{g \Delta d}^3} \right)^{2/3}}_{\text{incremento del punto critico}}$

$$\theta = \frac{U_*^2}{g \Delta d} = \frac{R_H g i_f}{g \Delta d} \Rightarrow i_f = \theta \Delta \frac{d}{R_H}$$

$$\frac{i_o R_H}{\Delta d} = \frac{i_c R_H}{\Delta d} + \left(\frac{Q_s}{B d \sqrt{g \Delta d}^3} \right)^{2/3}$$

$$i_o = i_c + \frac{\Delta d \left(\frac{Q_s}{B d \sqrt{g \Delta d}^3} \right)^{2/3}}{R_H}$$

l'angolo di correzione è $i_f = \frac{\Delta d \left(\frac{Q_s}{B d \sqrt{g \Delta d}^3} \right)^{2/3}}{R_H}$



Focus: BRIGLIE 1 [wikipedia]

È un'opera di ingegneria idraulica posta trasversalmente all'alveo in cui è fondata, concepita per la sistemazione idraulica dei torrenti montani.

• BRIGLIE CLASSICHE

Costituita da un muro generalmente a sezione trapezica con paramento di monte spesso verticale ed una fondazione in alveo e sulle sponde sulle quali il muro stesso si immerge.

La gaveta può essere di varie forme e si colloca nella parte centrale dell'opera; invece, le parti del muro che dalle gaveta si estendono fino alle sponde sono dette ali ed hanno generalmente un'inclinazione del 10%.

Il compito della gaveta è quello di contenere il corso d'acqua nelle normali condizioni di deflusso, evitando così che la corrente possa erodere le sponde dell'opera o aggirarle.

La gaveta è sporgente rispetto al corpo della briglia, in modo da evitare che il getto uscente impatti sul paramento di valle e sulle fondazioni.

Il corpo della briglia può essere dotato di fori (orini) col compito di ridurre il carico idrostatico a monte, in maniera più fitta nella parte bassa.

La fondazione viene dotata di un tagliome o di un diaframma in modo da ridurre ~~il carico idrostatico a monte~~ l'azione filtrante al di sotto della briglia ed arginare il rischio di sifonamento.

Lo scopo primario è quello di evitare l'erosione dell'alveo nei torrenti in fase di scavo. Costituisce infatti uno sbarramento che trattiene il materiale proveniente da monte; in tal modo, una volta che la briglia risulta completamente interrta, l'alveo del torrente raggiunge la sua pendenza di

equilibrio ad una quota superiore, invece che erodendolo l'alveo stesso. Le briglie vengono realizzate tipicamente per proteggere i versanti posti a monte delle stesse da fenomeni franosi; oppure, dopo la frana, è utile per "rincazzare" i versanti stessi ed evitare che il torrente eroda il piede della frana, aggravando il fenomeno.

Per lo studio strutturale dell'opera occorre considerare due condizioni: quella prima dell'interrimento, cioè quando la briglia è stata appena realizzata e a monte si ha solo accumulo d'acqua, e quella dopo l'interrimento, quando a monte della briglia lo spazio disponibile è completamente occupato dal materiale di trasporto solido proveniente da monte. Si verifica la stabilità al ribaltamento dell'opera.

• BRIGLIE SELETTIVE

Realizzate in modo analogo alle classiche. Non hanno il compito di evitare l'erosione dell'alveo, ma di trattenere il materiale di granulometria grossolana. Per assolvere a tale funzione alle grate si sostituisce un'apertura le cui dimensioni dipendono dalla granulometria del materiale che si intende trattenere. L'apertura può essere realizzata in modi differenti; costituita da una semplice fessura piuttosto che da una griglia in acciaio. Il materiale accumulato deve essere periodicamente rimosso per mantenere la funzionalità dell'opera.

Focus: BRIGLIE 2 [csalzumit]

Le OPERE TRASVERSALI hanno lo scopo di consolidare l'alveo imponendogli una minore pendenza e di ridurre l'erosione del corso d'acqua e del bacino di raccolta, mettendo l'alveo a riparo da erosioni anche durante le piene -

Le briglie sono manufatti trasversali all'alveo che introducendo salti di fondo, ~~sono~~ diminuiscono per tratti la pendenza, riducono il trasporto solido e stabilizzano le sponde; sono realizzate prevalentemente in alvei montani a forte pendenza. La parte centrale attraverso la quale viene convogliata la portata del corso d'acqua è la gaveta di forma trapezica, delimitata lateralmente da ali rivestite di pendenza $1/10$, che si collegano alle sponde - le briglie poggiano su fondazioni che ripartiscono le sollecitazioni sul terreno -

Verifiche $\left\{ \begin{array}{l} \text{IDRAULICHE, corretto deflusso delle portate, assenza} \\ \text{di erosione, assenza di sifonamento.} \\ \text{STATICHE, verifiche a varie condizioni di carico} \\ \text{con le colate detritiche.} \end{array} \right.$

TIPOLOGIE

- a parete verticale, di semplice realizzazione, indicate per opere idrauliche di modesta importanza, a valle la vena è completamente eretta e distaccata dalla briglia riducendo l'abrasione, ma erode il fondo dell'alveo a valle con un risalto idraulico - Per favorire il risalto e controllare la profondità dello scavo, si dispongono dei dispositivi a valle delle zone di caduta
- con parete di valle a gradoni, consente una dissipazione progressiva del carico mediante una serie di piccoli risalti, e

adatta a manufatti di modesta altezza e per valori contenuti di portate. I gradoni possono essere piani e senza rivestimento, o presentare una copertura in calcestruzzo.

- con parete a valle inclinata, si impiega nei manufatti con altezza fuori Terra superiore a 10m con grandi portate e modesto trasporto solido, la lama stramazzaante è aderente alla pavimentazione, al piede dello ~~scivolo~~ scivolo si dispone il bacino di dissipazione in rilevato o in depressione.

FORME

- a gravità, resistono alle spinte del terreno e dell'acqua in virtù del peso proprio; il loro profilo trasversale è di solito trapezio.
- ad arco, in caso di alveo stretto ed inciso fra pareti rocciose alle quali la struttura ad arco trasferisce la spinta; la sezione è trapezio.
- aperte o filtranti, con un corpo con un'apertura centrale nel quale viene alloggiato un filtro, avente la funzione di operare una selezione granulometrica del materiale trasportato dalla corrente.

MATERIALI

- in legname, palificate ad una parete, costituita da pali disposti con l'asse verso la corrente, accostati così da formare una gaveta a V, che favorisce la concentrazione della corrente nella parte centrale della sezione trasversale; la platea a valle è realizzata interamente in legno o in blocchi lapidei. Le briglie convessa è costituita da pali disposti su due piani sovrapposti e orientati con angoli di 30°-35° rispetto alla direzione principale della corrente.

- 2
- in legname e pietrame, si ottengono collegando tra loro legni trasversali e longitudinali assieme a pietrame. Opere trasversali di altezza contenuta.
Vantaggi: disponibilità in loco del materiale e basso costo;
Svantaggi: durata ridotta delle parti in legname.
 - in pietrame a secco, grosse pietre vengono disposte trasversalmente al corso d'acqua, secondo una pendenza variabile. Possono essere legati fra loro con cavi in acciaio, la forma è sagomata in modo da originare la gobba nella zona centrale. Sono poste in corsi d'acqua con tratto solido contenuta, presenza in loco di massi, pendenze non superiori al 12-16%.
Vantaggi: basso impatto ambientale e paesaggistico;
Svantaggi: bassa resistenza strutturale.
 - in massi cementati e legati, muri di sostegno realizzati con un getto di cemento sul quale vengono posate alcune file di massi, con pendenze variabili. L'uso del calcestruzzo permette di realizzare opere di altezza e pendenze maggiori sino al 20%, ma più difficile da realizzare in quanto si deve deviare il flusso dell'acqua durante la sua costruzione.
Vantaggi: buona resistenza strutturale e basso costo di veloce realizzazione;
Svantaggi: rigidità e scarso adattamento, impermeabilità e maggiori sollecitazioni.
 - in pietrame in gabbioni, realizzati con rete metallica a maglia esagonale di filo d'acciaio zincato, realizzate dove vi è una buona disponibilità di pietrame.
Vantaggi: basso costo, facile da assemblare, elasticità.
Svantaggi: dimensioni maggiori, sconsigliate in aree inadatte e modesta durata delle opere.

- in calcestruzzo, a sezione trapezica, rivestite in pietrame. Poste in zone di altezza considerevole, particolari esigenze strutturali, scarsa disponibilità di massi, contesti urbani.
- Vantaggi: elevata resistenza strutturale;
- Svantaggi: costi elevati.

OPERE ACCESSORIE

- muri d'alveo
- platea
- controbriglie

BACINO DI DISSIPAZIONE

- senza rivestimento, la platea è assente, cosicché la vena strariccia erode il fondo formando un bacino naturale. La controbriglia a valle ha la funzione di controllare la profondità massima di erosione che non deve raggiungere il piano di fondazione della briglia e permettere la formazione di un risalto tra le briglie.
- rivestito e in rilievo, la platea è pavimentata mentre la controbriglia è rilevata rispetto al fondo dell'alveo, in tal modo sulle gavate della controbriglia si forma un'altezza critica che svincola il funzionamento idraulico del bacino di dissipazione.
- rivestito e in depressione, la quota del fondo è stabilita in modo che il risalto si formi e rimanga contenuto nel bacino stesso.

CUNETTONI

Consigliabile quando ~~è~~ non sia possibile innalzare il letto del torrente con le gradinate. Si trasforma l'alveo in canali con forte pendenza, sezione ristretta, buona profondità, rivestimento realizzato in pietrame posto a

secco o legato con malta cementizia. I cuneiformi riducono l'erosione del fondo e delle sponde, assicurano una velocità elevata e il trasporto di materiali.

SOGLIE

sono sbarramenti trasversali di altezze modeste, che di solito non emergono dal fondo dell'alveo, con lo scopo di evitarne lo scavo, non sono opere strutturali.

RIVESTIMENTI

Utilizzati sia sulle sponde che sul fondo degli alvei, proteggono da erosioni evitando fenomeni di scalzamento sulle opere esistenti, senza alcuna funzione di sostegno, vengono realizzati in particolare per la difesa di attraversamenti del corso d'acqua. Hanno uno spessore trascurabile, permeabili o impermeabili, rigidi o flessibili.

Protezioni spondali

Le difese di sponda vengono utilizzate per difendere aree urbanizzate, edifici isolati, ferrovie, opere di attraversamento del corso d'acqua. La scelta della difesa da adottare va fatta in base alla natura della sponda da proteggere, alla durata delle piene e alla forza di trascinamento esercitata dalla corrente. L'influenza di queste opere sul regime di corrente è limitata alla modifica della scabrezza dell'alveo. Queste strutture debbono essere sempre progettate eseguendo verifiche statiche e idrodinamiche della corrente in termini di tensioni di trascinamento; in funzione di questi calcoli si valuta quale tipo di opera da costruire.

TIPOLOGIE

- rigide, adatti a corsi d'acqua caratterizzati da limitati scavi di fondo o quando l'opera può essere impostata direttamente su roccia non erodibile.

→ muro di sponda; opera di sostegno a gravità di inclinazione superiore al 100%, hanno fondazioni profonde ed estese (2-3m) protette da grossi massi per ridurre l'erosione. Posizionate in tratti di sponda in cui lo spazio disponibile è limitato. Fatto in calcestruzzo rivestito in pietrame, massi cementati, massi a secco, calcestruzzo armato.

Vantaggi: resistenza e durabilità strutturale;

svantaggi: rigidità, impermeabilità e aumento della velocità.

- flessibili,

→ scogliere; si presuppone la presenza di sponde ad inclinazione non accentrate. Il punto più delicato di questa difesa è il piede e quindi, per evitare lo scalzamento, occorre costruire una solida base con grossi massi. Fatto in massi e calcestruzzo, massi a secco, massi a secco legati, in gallioni, legname e pietrame.

Vantaggi: resistenza, si adatta al terreno, permeabile, durabilità, costi bassi e facile manutenzione;

svantaggi: costi elevati se i massi non sono in loco.

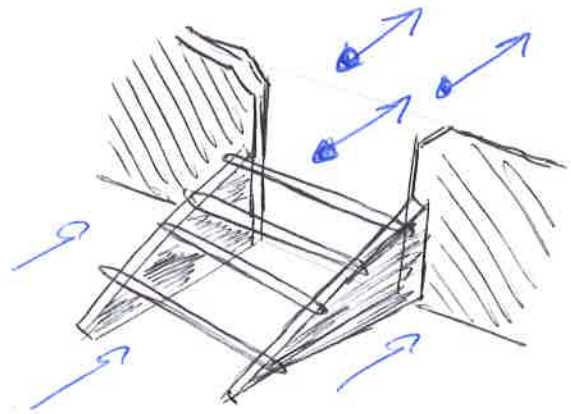
PENNELLI

Opere che deviano la corrente dalla zona che deve essere protetta, posti a monte della stessa. Si tratta di opere che sporgono in alveo e che vengono realizzate soltanto se la larghezza di questo lo consente. La loro altezza deve essere sufficiente perché non siano mai sommontate durante le piene. È importante ricordare che la deviazione della corrente può provocare danni sulla sponda opposta, di questo bisogna tenere conto in fase di progetto.

Focus: BRIGLIE SELETTIVE di GENET [UNIPA]

Come e' noto, le briglie selettive, si differenziano da quelle chiuse perche' presentano un vano nella zona centrale del manufatto. L'impiego di una briglia aperta consente di effettuare un arresto non indiscriminato del materiale solido tramite un'azione di selezione granulometrica. Nella briglia selettiva a reticolo il vano centrale interessa tutto il corpo dell'opera, raggiunge la base della stessa e contiene una griglia posizionata su un piano inclinato.

Nel 1952 Genet brevettò un nuovo tipo di briglie filtrante che presenta una griglia inclinata verso valle ammorsata nelle ali del manufatto.



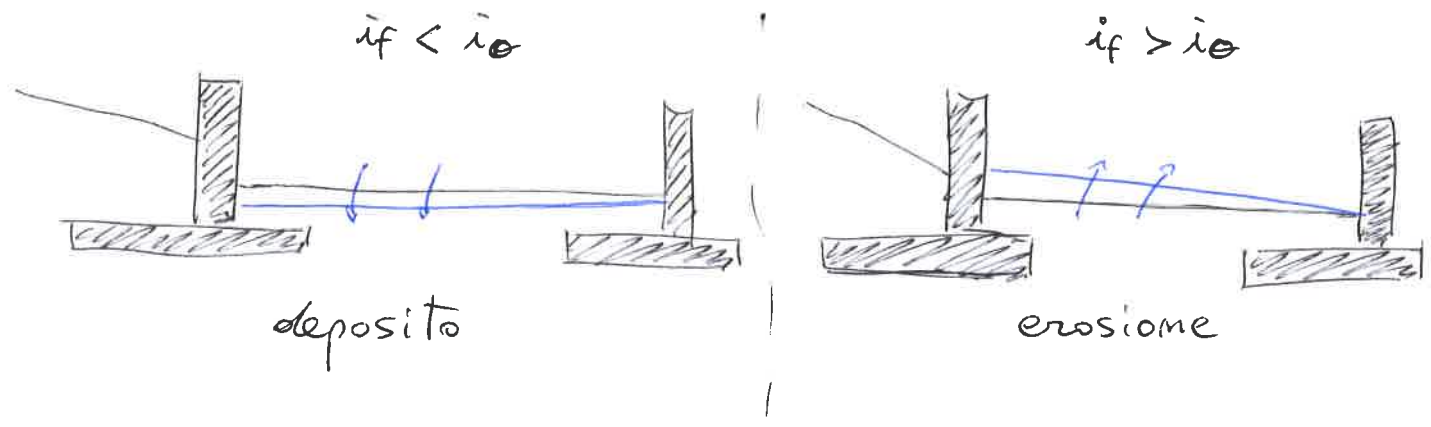
La briglia a reticolo per conseguire gli scopi della sistemazione deve determinare un rallentamento della corrente a monte, pertanto, il processo di efflusso che si realizza attraverso la griglia ecclive è quello determinato da una corrente lenta in moto permanente ~~dalla~~ sulle griglie e con portata decrescente lungo il percorso.

SISTEMAZIONE A GRADINATA

La pendenza che si instaura fra le briglie deve essere tale da evitare fenomeni di erosione e deve essere quindi determinata imponendo l'equilibrio nel lungo periodo fra erosione e deposito. Occorre valutare il ~~trasporto~~ carico solido della corrente da monte, ed imporre equilibrio fra detto carico solido e la capacità di trasporto della corrente. La determinazione della pendenza di correzione è operazione delicata, per l'incertezza insita nelle valutazioni di cui sopra, che è ovviamente variabile nel tempo in funzione del regime della corrente stessa. Un limite inferiore della pendenza di correzione è ottenuto imponendo che il materiale di fondo alveo sia stabile, in accordo alle valutazioni ottenute da Shields. Ciò equivale ad imporre che non si verifichi alcuna erosione, condizione che potrebbe implicare il verificarsi di deposito di materiale.

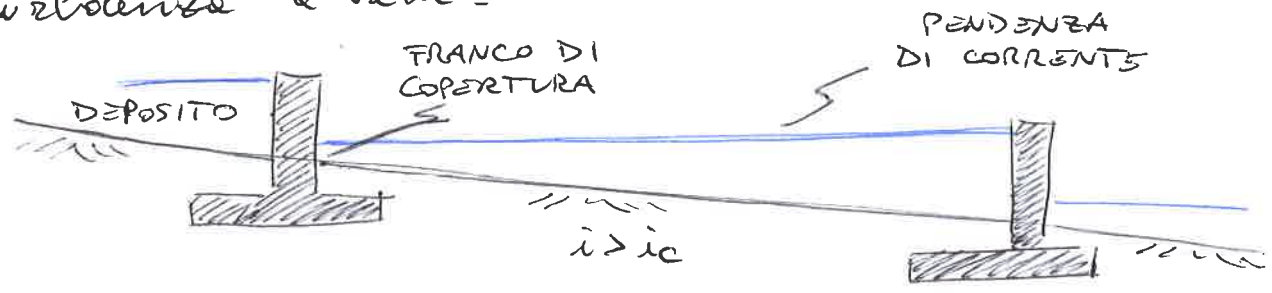
È importante considerare la conseguenza di una progettazione imprecisa. Se la pendenza di correzione è troppo bassa, si verifica deposito fra le briglie. Il deposito sarà prevalente subito a valle delle briglie, dove la corrente è molto carica di materiale; successivamente sarà meno significativo essendosi parte già depositato. Questo fenomeno incrementa la pendenza d'alveo fino allo stabilirsi della pendenza della condizione d'equilibrio. Se la pendenza di correzione è troppo alta, si verifica erosione del tratto di alveo subito a valle delle briglie, come naturale conseguenza della naturale tendenza della corrente

e indurre una pendenza più ridotta, rovinando le briglie.



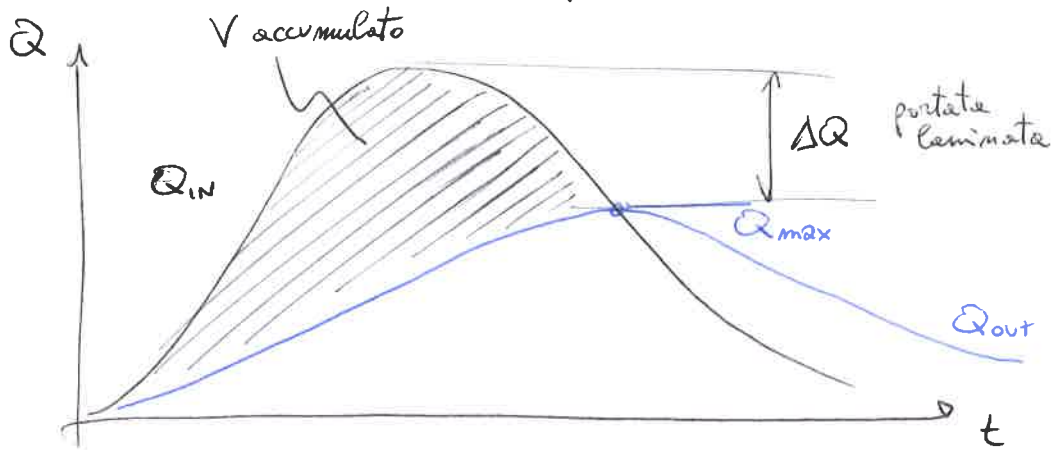
POSIZIONAMENTO DELLE BRIGLIE LONGITUDINALI

In direzione longitudinale la distanza si fa in funzione della pendenza d'alveo. Può essere raggiunta posando in opera numerose briglie di altezza contenuta e poste a distanze ravvicinate, oppure meno briglie più alte e maggior distanza. Tra le briglie bisogna ottenere il moto uniforme (circa 100-200m). È bene evitare opere di altezza eccessiva, che sono più vulnerabili e portano turbolenza e velle.

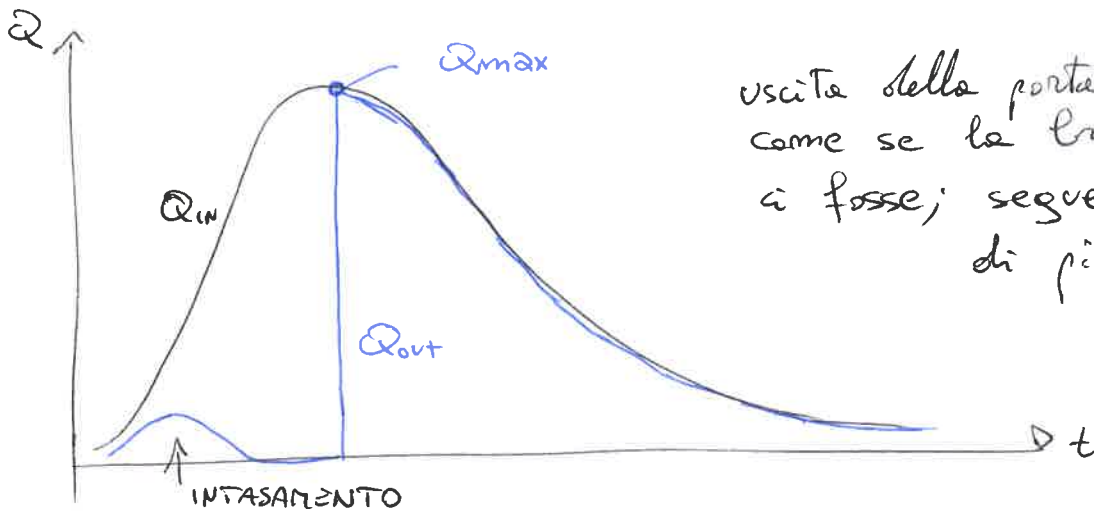


Se la briglia si intasa

La laminazione della portata di una briglia è



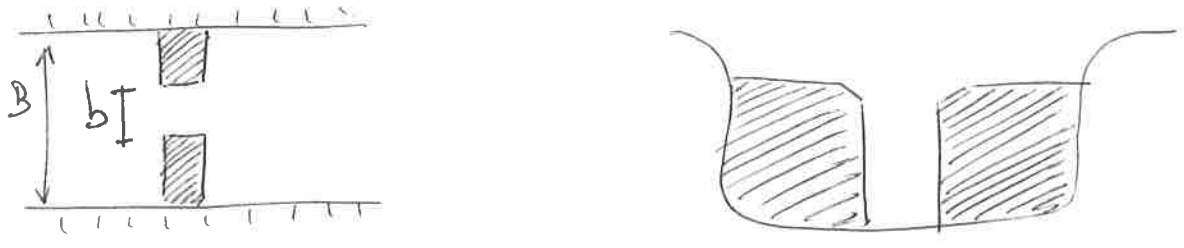
Se si ha un'intasamento della fessura, l'effetto di laminazione non avviene.



uscita della portata
come se la briglia non
si fosse; segue l'onda
di piena

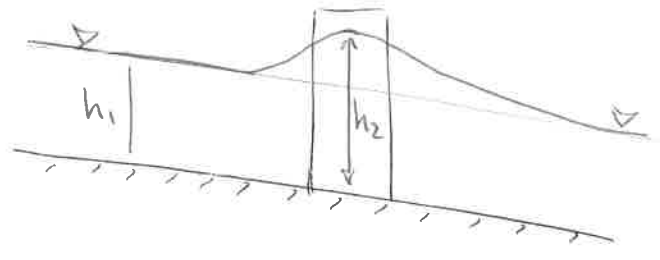
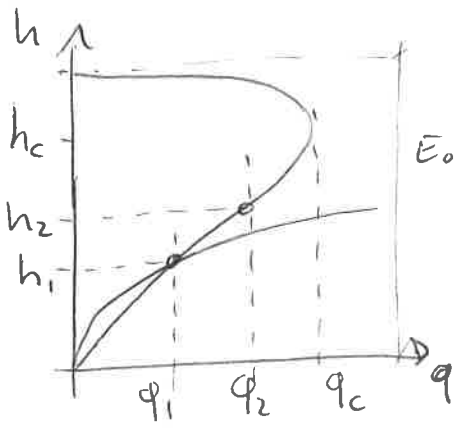
Focus: FUNZIONAMENTO IDRAULICO [Ing. Fugazza]

Si fa riferimento ad una briglia a fessure, che si estende in tutto il corpo fino al fondo del torrente



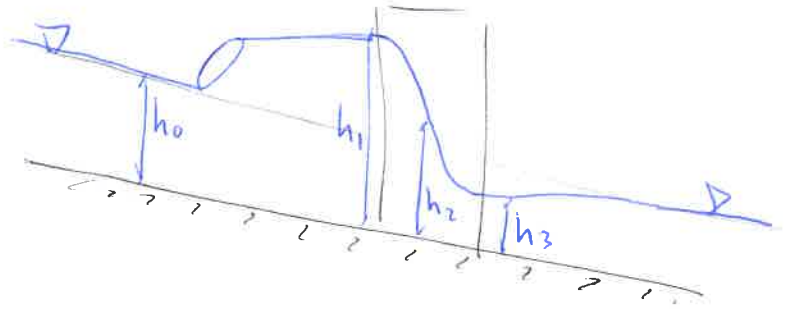
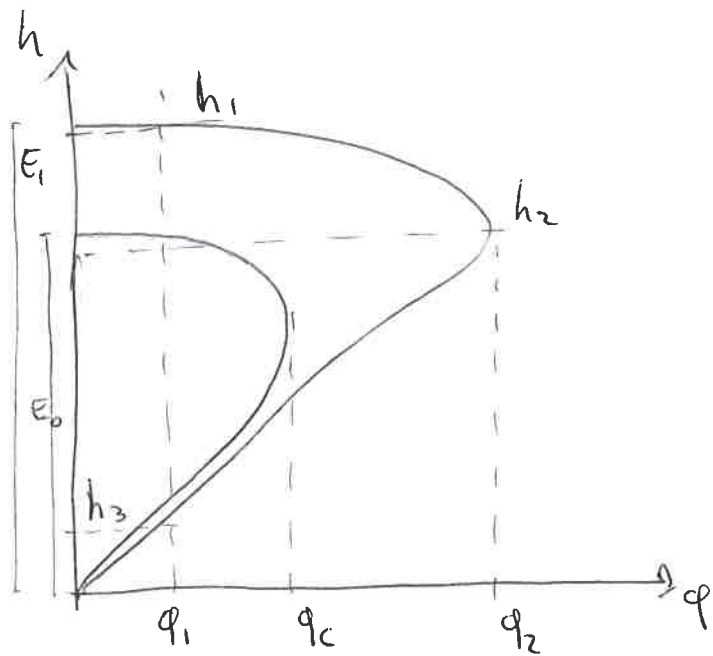
Il principale parametro di dimensionamento risulta $r = \frac{b}{B}$ detto rapporto di strozzamento ($\Rightarrow r = \frac{1}{R}$).

Se la fessura è larga ($r \rightarrow 1$) l'energia E_0 rispetto al fondo, corrispondente all'altezza di moto uniforme di monte h_0 e alla portata specifica $q_1 = \frac{Q}{B}$ (corrente veloce) è sufficiente perché la corrente passi ~~da~~ con portata specifica $q_2 = \frac{Q}{b}$ attraverso la fessura. Si realizza un semplice innalzamento del pelo libero e la corrente resta veloce.



se la fessura è stretta ($r \ll 1$) l'energia E_0 non è sufficiente; la corrente diventa lenta tramite un risalto idraulico a monte della fessura e recupera l'energia innalzando il pelo libero con il tirante h_1 .

l'energia E_1 corrispondente è la minima sufficiente perché la corrente passi attraverso la fessura in condizioni critiche con l'altezza h_2 .



Dovrà dunque essere $E_1 = \alpha \times E_0$, con $\alpha > 1$.

Si ipotizza l'equazione di conservazione di energia tra h_1 e h_2 e che in h_2 sia la condizione critica.

Si ricave

$$r = \frac{b}{B} = \frac{\left(\frac{3}{2g^{1/3} \alpha}\right)^{3/2} q_1}{\left(h_0 + \frac{q_1^2}{2g h_0^2}\right)^{3/2}}$$

Considerazioni di tipo energetico sull'ampiezza della fessura

[Prof. Benedetti]

Note le condizioni più favorevoli al deposito si può fornire un primo criterio di progettazione: la larghezza della fessura deve essere tale da provocare un risalto a monte della soglia; l'energia specifica minima nella fessura deve essere superiore a quella di moto indistur-

ato del canale.

Non esiste una dimensione univoca per garantire che ciò avvenga: basta infatti che la corrente presenti energia specifica inferiore a quella del restringimento.

Secondo Cole (1870) si deve porre l'energia specifica minima nel restringimento pari a circa 1,5-2 volte quella

della corrente di moto uniforme, a monte, anche se non esiste né una verifica sperimentale né una giustificazione teorica di questo criterio.

Nonostante questo, il problema relativo al dimensionamento rimane; la lunghezza ottimale della fessura dovrebbe essere progettata in funzione della possibilità di autopulizia del volume depositato:

- con una fessura stretta è possibile fermare una maggior quantità di trasporto solido;
- mentre con una fessura più larga si permette una migliore autopulizia del bacino a monte della briglia durante le piene minori.

Si può calcolare la lunghezza massima della fessura con presenza di un profilo di rigurgito e di corrente lenta. Imponendo che la fessura b_f sia tale ~~da~~ che l'energia specifica di moto uniforme H_0 sia inferiore all'energia specifica minima della sezione nella fessura, si può scrivere:

$$\omega \left(h_0 + \frac{Q^2}{2gB^2h_0^2} \right) \leq 1,5 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{B^2g}} \quad \text{con } \omega = \text{coeff. di proporzionalità}$$

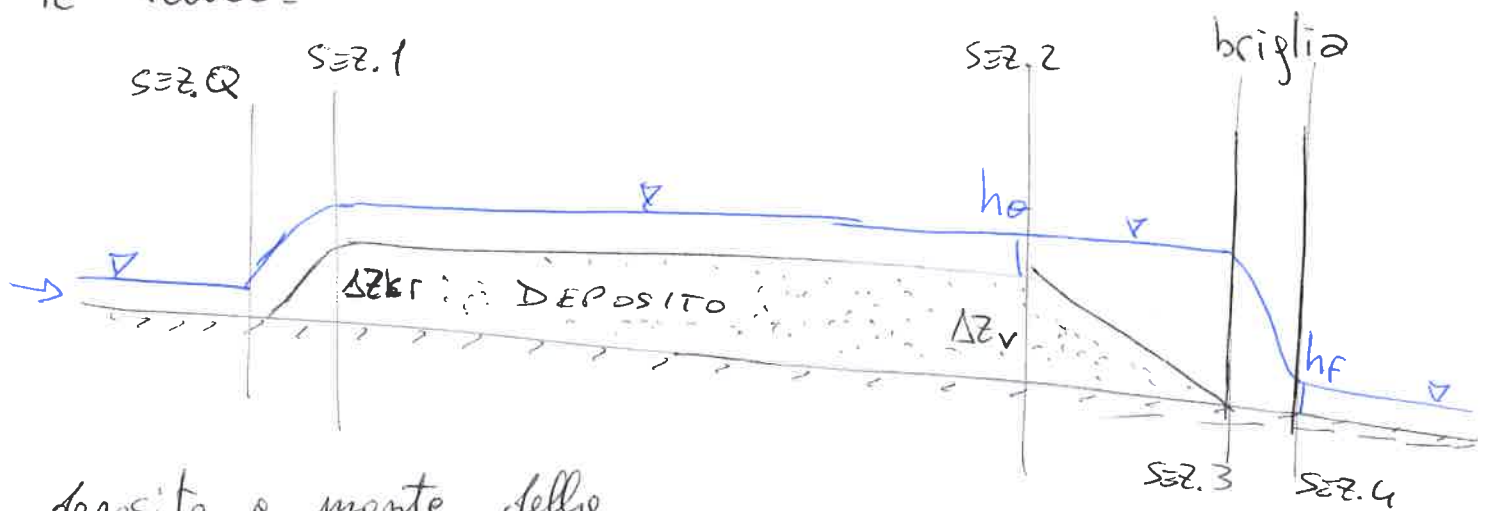
si ottiene
$$b_f = \frac{Q}{\sqrt{g}} \left[\frac{1,5}{\omega \left(h_0 + \frac{Q^2}{2gB^2h_0^2} \right)} \right]^{3/2}$$

È possibile calcolare il valore del tirante h_0 utilizzando l'opportuna formula di moto uniforme. Con Chézy:

$$b_f = \frac{B}{\sqrt{g}} \left[\frac{1,5}{\omega \left(\frac{h_0^{1/3}}{X^{2/3} \cdot i^{-1/3}} + \frac{X^{4/3} \cdot i^{-2/3}}{2g h_0^{2/3}} \right)} \right]^{3/2}$$

dalla quale si nota che b_f risulta indipendente dalla portata. Si è così giunti alla conclusione che se per una determinata portata, per esempio quella massima, si verifica il passaggio in corrente lenta, ciò avviene anche per qualsiasi altra portata e quindi anche per quelle molto piccole.

È importante sottolineare che queste considerazioni sono valide nel caso di un canale rettangolare a fondo fisso, mentre in alveo naturale a sezione irregolare e a fondo mobile, le correnti tenderanno a concentrarsi in uno o più piccoli canali dove il moto presenta carattere di corrente veloce.



deposito a monte della
briaglia ~~$\Delta z_v = h_0$~~

$$\Delta z_v = h_0 \left[\frac{B}{b_f} - 1 \right]$$

dato l'equilibrio

$$\Delta z_v + H_2 = H_1$$

$$\Delta z_v + h_0 + \frac{V_0^2}{2g} = h_f + \frac{V_f^2}{2g}$$

FOCUS: MORFOLOGIE A SCALA DI UNITÀ

CASCADE, rapide e gradini

Sedimenti grossolani, endamento caotico. Flusso con alternanze di getti in caduta e risalti idraulici. Altezza gradini maggiore della profondità.

STEP, gradino

Gradini costituiti da massi, rocce, tronchi. Flusso con alternanze di getti in caduta e risalti idraulici. Altezza gradini maggiore della profondità.

RAPID, rapide e scivolo

Sedimenti grossolani, spesso con presenza di allineamenti trasversali di chesti, sommersi durante portate medio alte. Flussi aderenti, risultati, onde frangenti.

GLIDE, correntone o run

Sedimenti eterogenei, anche grossolani, prevalentemente sommersi. Flusso prevalentemente increspato.

RIFFLE, reschio

Sedimenti meno grossolani, prevalentemente grossolani. Onde non frangenti, ma possibile anche frangenti con profilo a schiena di drago.

POOL, pozze

Depressioni morfologiche riempite di sedimenti relativamente fini. Flusso non percettibile o fisso.

DUNA, RIPPLE

Forme di fondo in alvei a fondo scabioso.

BARRA

Corpo deposizionale emerso, in genere associate con pool e riffle.

MORFOLOGIE A SCALA DI TRATTO

CASCADE, rapide a gradini

Configurazione caotica caratterizzata da successione di rapide e gradino, flusso con alternanza di getti in caduta e risalti. Livello di piena ordinaria: i gradini sporgono e causano ancora la formazione di risalti idraulici. Pendenze $> 3 \div 5\%$ fino a $20 \div 30\%$.

STEP-POOL, gradinata

Alternanza di steps e pools, che occupano l'intera sezione. Spazio tra uno step e l'altro occupato da pool o da breve zona di raccordo. Flusso con alternanza di getti in caduta e risalti. Livello di piena ordinaria: i gradini sporgono e causano ancora la formazione di risalti idraulici. Pendenze $> 3 \div 5\%$.

PLANE BED, letto pieno

Tratti con profilo longitudinale regolare e pelo libero pressoché parallelo al fondo. Comprendono rapids e glides. Possibili risalti per portate basse di base, tuttavia a livello di piena ordinaria vengono sommerse. Pendenze $1 \div 3\%$.

RIFFLE POOL, raschi-pozze

Successione di riffles e pools. Generalmente con unite di transizione con pendenze ridotte e flusso quasi parallelo al fondo. Alvei a fondo ghiaccio con pendenze $< 1 \div 2\%$.

DUNE RIPPLE, dune e increspature

Con modesta pendenza $< 0,5\%$ con materiale sabbioso. Morfologie non molto comuni ma si presentano a tratti vallivi con pendenze ridotte.

Focus: ARGINI

[wikipedia]

L'argine è un'opera di difesa passiva del territorio atta ad impedire lo straripamento dei corsi d'acqua. Esso è generalmente costituito da un rilevato impermeabile simile ad una diga che può raggiungere altezze anche considerevoli.

Tipologie

Possiamo essere disposti in FALDO, ovvero a diretto contatto col flusso idrico, oppure posti a una certa distanza da questo.

In questo secondo caso, la fascia di terreno compresa tra l'alveo attivo e l'argine è detta GOLENA. L'argine si dispone in faldo quando manca spazio per la sua edificazione più arretrate o l'area da difendere ha un valore troppo alto per sacrificarla destinandola a golena. La disposizione in faldo sottopone l'argine ad azioni erosive molto più spiccate rispetto ad un argine di golena. Infatti il suo piede è direttamente a contatto con la parte inferiore della sezione liquida del corso d'acqua, quella cioè caratterizzata da maggiore pressione idrostatica ed attività cinetica. La presenza di golene, ~~per~~ inoltre, consente su di esse l'espansione dei volumi di piena, con conseguenti benefici sia sui livelli idrometrici che sulla propagazione dell'onda di piena a valle.

Dimensionamento

L'altezza degli argini in un corso d'acqua è dimensionata in base all'entità degli eventi di piena previste in un arco di tempo plurianuale (tempo di ritorno). Per definire la quota massima di piena ad una determinata sezione è necessario conoscere la portata del corso d'acqua

in corrispondenza di essa - Questa è calcolata in base alla superficie del bacino sotteso ed alla piovosità ed esso specifico - Il calcolo della massima piena viene ~~fatto~~ elaborato; per corsi d'acqua di una certa entità o di elevata pericolosità intrinseca o di contesto, per tempi di ritorno di 100 anni - La quota di sommità arginale viene determinata integrando il livello di massima piena, calcolato come sopra indicato, di un ulteriore FRANCO ARGINALE - Esso ha entità variabile, tanto maggiore quanto più elevato è il grado di pericolosità idraulica del corso d'acqua e del suo contesto territoriale - Di norma, per corsi d'acqua primari si adotta un franco di 1m sulla massima piena - Nella regolazione dei corsi d'acqua è necessario porre particolare attenzione alle preesistenti opere d'arte, in particolare ai ponti stradali e ferroviari che sono spesso collocati in corrispondenza di un restringimento d'alveo che può provocare un innalzamento dei livelli idrometrici a monte -

Focus: PENNELLI

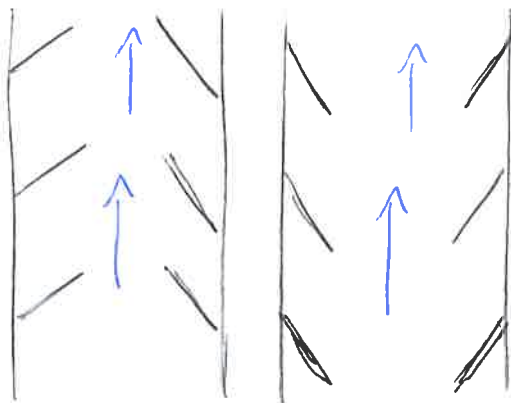
Hanno la funzione di favorire la sedimentazione del materiale a ridosso della sponda e mantenere la corrente al centro della sezione. Sono strutture trasversali all'asse del corso d'acqua che, adeguatamente immorsate alla sponda, si protendono verso il centro dell'alveo ~~inf~~ interferendo con la corrente.

Possono essere realizzati in pietrarame, in gabelloni, in opere miste di sasso e vegetali, sono delle strutture prismatiche poste trasversalmente alla sponda con l'asse maggiore inclinato nella direzione della corrente, ortogonale o inclinato controcorrente. Vengono impiegati nei corsi d'acqua dove è necessario deviare il flusso della corrente o modificare la sezione dell'alveo al fine di:

- allontanare la corrente da sponde in erosione,
- stabilizzare la morfologia evitando divergenze,
- rendere stabili zone di confluenze.

I pennelli producono una riduzione delle velocità ed un ri-miscelamento che consentono la deposizione di materiale solido; perciò un'altra applicazione diffusa consiste nella ricostruzione di linee di sponde di fiumi e ruscelli.

La costruzione di queste strutture deve essere realizzata su entrambe le sponde per evitare dissimmetrie nella corrente con danni alle sponde non protette, eccetto nei casi in cui si ha lo scopo di favorire il deposito di materiali per richiudere un'erosione di sponda.



Si possono avere forme diverse a seconda delle esigenze.



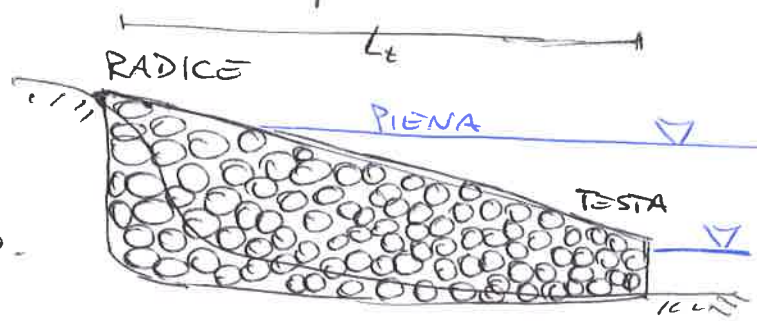
Le forme influenzano le modalità di deposizione del materiale solido e la distribuzione ed entità dell'erosione in prossimità dell'opera - la scelta della sezione dei repellenti dipende anche dalle dimensioni caratteristiche del trasporto solido: nei fiumi ampi e caratterizzati da trasporto solido fine, si preferiscono i pennelli del tipo ad HOCKEY, mentre nei corsi con trasporto grossolano, sono più adatti pennelli rettilinei, corti e inclinati nel senso della corrente.

I repellenti causano la formazione delle turbolenze e delle correnti trasversali che, se le opere non sono correttamente dimensionate e posizionate, possono provocare erosioni intense in testa e alla radice delle strutture, nonché sulle sponde opposte - Per evitare questi problemi sono necessari un corretto immersionamento dell'opera nella sponda ed una lunghezza in alveo funzione delle caratteristiche della corrente e della sezione di deflusso.

Le teste dei pennelli invece devono essere allineate lungo una linea immaginaria regolare, pertanto i pennelli possono risultare tutti della stessa lunghezza, nel caso di sponde rettilinee, oppure avere lunghezze diverse nel caso di sponde irregolari o di lunette di erosione.

La forma del repellente ha una forma sostanzialmente prismatica, disgradiente dalla radice alla testa; la quota della radice viene posta al di sopra del pelo libero per evitare fenomeni di aggiramento, mentre la

quota della testa è posta poco al di sopra della "mezza" per far sì che in piena l'interferenza con la corrente non sia eccessiva provocando fenomeni erosivi pericolosi. Il dorso del repellente è di solito inclinato verso la corrente. Risulta opportuno che la testa resti alta 0,5m sul fondo.



La spazietura tra due permelli deve essere tale da contenere gli effetti dell'espansione teorica della corrente oltre la testa del repellente di monte. Tale espansione avviene in un angolo tra 8° e 14° dalla testa del repellente di monte, pertanto la distanza è dell'ordine di $5 \cdot L_e$ fino a $2 \div 4 L_e$ in curva.

L'inconveniente più grave che interessa il repellente è l'erosione alla testa. La profondità può essere stimata con alcune relazioni matematiche che devono essere utilizzate con estrema attenzione in attesa di conferme sperimentali.

I permelli dal punto di vista ambientale offrono grandi vantaggi soprattutto se realizzati con sistemi permeabili o combinate da vegetazione. La presenza consente di creare delle zone caratterizzate da differenti valori di energia della corrente; in tal modo è possibile creare habitat con caratteristiche diverse e favorire lo sviluppo della biodiversità.

Repellenti in blocchi

strutture realizzate in roccia, tetrapodi o culi di calcestruzzo. Sono opere molto deformabili che si possono adattare molto bene ai cedimenti conseguenti a escavazione. Economici, da realizzare anche in presenza di acqua, possono essere soggetti ad erosione se il materiale utilizzato non è di pezza.

tura idonea; per evitare che ciò accada si seguono i criteri delle scogliere, scegliendo le dimensioni dei blocchi in funzione della forza esercitata dalla corrente. Si possono vincolare i blocchi con funi d'acciaio.

Particolare attenzione va posta allo scalzamento: si deve approfondire la fondazione al di sotto della massima profondità di escavazione prevedibile.

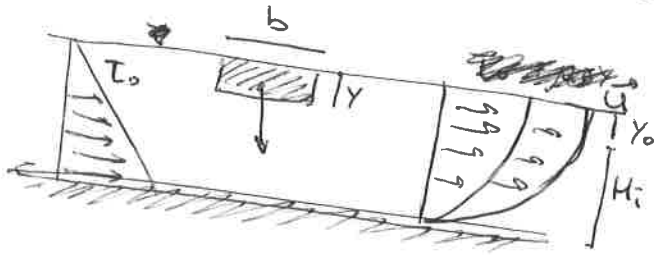
Repellenti in gabbioni

Strutture flessibili adatte a corsi d'acqua privi di trasporto solido grossolano. Grazie ai vari tipi di ~~moduli~~ moduli ed alle possibilità di sagomare gli elementi è possibile ottenere la geometria voluta. Generalmente si usano anche i materassi ponendoli in fondazione, realizzando una platea molto flessibile, più espansa in corrispondenza della testa, che ha l'importante funzione di impedire che lo scalzamento possa pregiudicare la stabilità della struttura. La platea si flette verso il basso e meno a meno che l'erosione precede impedendo che possa avvicinarsi troppo al terreno di fondazione del repellente.

Questa offre il vantaggio di una facile colonizzazione da parte della vegetazione in seguito all'intasamento dei sedimenti; risulta molto vantaggiosa nella ricostruzione delle sponde erose, dove viene inclusa nei sedimenti e colonizzate alla stessa stregua del terreno.

Focus: REOLOGIA DELLE COLATE [F. Bettella]

Il concetto reologico si fonda sull'assunzione che il flusso della colata detritica presenti una zona di deformazione tangenziale di tipo laminare che determina la velocità di movimento del flusso. Il modello di Bingham $\tau = \tau_0 + \mu_B \dot{\gamma}$



Il flusso di una colata detritica, a differenza del fluido newtoniano, può essere diviso in due parti: la parte inferiore H_i a contatto con la superficie di scorrimento con un forte incremento di velocità, la parte superiore $\dot{\gamma}_0$ con velocità costante.

Schatzmann (2005) divide tre gruppi:

- colate granulari: flussi in cui l'attrito tra le particelle di sedimentazione e le collisioni tra di esse sono la principale fonte di dissipazione energetica nella fase di moto e arresto. A causa delle collisioni e degli attriti, il campo di velocità interno è estremamente variabile quindi non si può individuare una zona di laminazione tangenziale laminare a scale macroscopiche.
- colate viscosi: flussi caratterizzati da concentrazioni solide volumetriche elevate, alta percentuale di materiale fine e granulometria eterogenea, appare monofasico viscoso; generalmente il regime di tipo laminare domina su quello turbolento, soddisfacendo il concetto del singolo strato sottoposto a deformazioni tangenziali.
- colate di fango: flussi caratterizzati da una fase fangosa con acque, parte più fine, parte più grossolana. Il regime può essere laminare o turbolento a seconda della concentra-

zione volumetrica, della pendenza e della profondità del flusso.

Il concetto reologico della descrizione energetica si adatta bene alle colate detritiche viscosi e di fango in regime laminare, per colate granulari il concetto è di difficile applicazione potendo descrivere in modo corretto solo il comportamento del fluido interstiziale.

• I modelli inerziali mescono delle considerazioni di Bagnold (1854) su esperimenti di laboratorio. Per basse velocità di rotazione, Bagnold osservò una relazione lineare tra sforzo tangenziale e gradiente di velocità $\tau = b \lambda^{1.5} \mu \gamma$ con la concentrazione di grano $\frac{1}{\lambda} = \left(\frac{C_m}{C_v}\right)^{1/3} - 1$

Il regime è detto MACRO VISCOSO. Per velocità maggiori la relazione è quadratica $\tau = a \sin \alpha \rho_s \lambda^2 d^2 \gamma^2$.

Per separare i due regimi di flusso si introduce N_B (numero di Bagnold) che esprime il rapporto tra sforzi inerziali e sforzi viscosi:
$$N_B = \frac{\rho_s \lambda^2 d^2 \gamma^2}{\lambda^{1.5} \mu \gamma} = \frac{\rho_s \lambda^{0.5} d^2 \gamma}{\mu}$$

Sulle teorie di Bagnold si basa il modello di Takahashi, descrivendo la fase di immescio della colata dal flusso superficiale, la fase di trasporto e il processo di deposizione, considerando i fenomeni di erosione, deposito e segregazione che si verificano durante il moto.

~~Il numero di Bagnold è definito come il rapporto tra lo sforzo inerziale e lo sforzo viscoso.~~

Il modello Takehashi si basa sull'equilibrio delle forze agenti su uno strato detritico di spessore γ_f . Le forze esterne, per unità di lunghezza, parallele alla superficie del letto e agenti sullo strato sono rappresentate dallo sforzo tangenziale τ e dallo sforzo resistente τ_f :

$$\tau = [v^*(\rho_s - \rho)\gamma_f + \rho_f(\gamma_f + h)]g \sin \theta$$

$$\tau_f = v^*(\rho_s - \rho)g \gamma_f \cos \theta \tan \varphi$$

v^* concentraz.
volumetrica
materiale
al fondo

Ponendo $\tau = \tau_f$ si ottiene una relazione che fornisce l'angolo limite per cui si ha la destabilizzazione dello strato:

$$\tan \theta = \frac{v^*(\rho_s - \rho)}{v^*(\rho_s - \rho) + \rho \left[1 + \frac{h}{\gamma_f}\right]}$$

La legge di Coulomb $\tau^s = \rho^s \tan \varphi$ (colate \approx fluidi)

con $\rho^s = \rho_s \left(1 + d \frac{\partial U^s}{\partial y}\right)^2 \alpha_L \cos \varphi$

quindi $\tau^s = \rho_s \left(1 + d \frac{\partial U^s}{\partial y}\right)^2 \alpha_L \cos \varphi \tan \varphi \approx \rho_s \left(1 + d \frac{\partial U^s}{\partial y}\right)^2 \alpha_L \sin \varphi$

$$\frac{\tau^s}{\rho^s} = \tan \varphi = \frac{\sin \alpha \int_y^h (1 + C \Delta) dy}{\cos \alpha \int_y^h C \Delta dy}$$

con $C = \frac{1}{\Delta} \cdot \frac{\tan \alpha}{\tan \varphi - \tan \alpha}$

inversione velocità:

$$dU^s = \frac{1}{1+d} \left(\frac{\tau^s}{\rho_s \alpha_L \cos \varphi \tan \varphi} \right)^{1/2} dy = \left(\frac{\rho_s \alpha_L \sin \varphi (1 + \Delta C) (h-y)}{(1+d)^2 \rho_s \alpha_L \sin \varphi} \right)^{1/2} dy$$

$$U^s = \sqrt{\frac{\rho_s \alpha_L (1 + \Delta C) \sin \alpha}{\rho_s \alpha_L \sin \varphi}} \cdot \frac{1}{1+d} \left[h^{1.5} - (h-y)^{1.5} \right]$$

andamento della velocità con la profondità

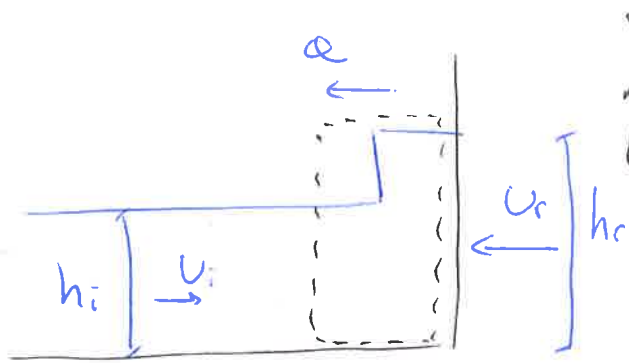
* dall'uguaglianza $\tau = \tau^s$

$$\sin \alpha \int_y^h (1 + \Delta C) dy = \rho_s \left(1 + d \frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 \alpha_L \sin \varphi$$

$$\rho_s \alpha_L (1 + \Delta C) \sin \alpha (h-y) = \rho_s \left(1 + d \frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 \alpha_L \sin \varphi$$

Focus: IMPATTO SULLA PARETE

Analizzando l'istante di impatto sulla parete, si applica la conservazione della massa e delle spinte:



$$\begin{cases} h_i(u_i + a) = h_r(u_r + a) \\ \frac{1}{2} \rho g h_i^2 + \rho(u_i + a)^2 h_i = \frac{1}{2} \rho g h_r^2 + \rho(u_r + a)^2 h_r \end{cases}$$

rimaneggiando la conservazione delle spinte

$$\frac{1}{2} \rho g (h_i^2 - h_r^2) = \rho(u_r + a)^2 h_r - \rho(u_i + a)^2 h_i$$

All'istante di impatto si trova la relazione adimensionale, con l'ipotesi che $u_r \rightarrow 0$, in funzione del numero di Froude

$$Fr^2 = \frac{u^2}{g h}$$

$$\left[\left(\frac{h_r}{h_i} \right)^2 - 1 \right] \left(\frac{h_r}{h_i} - 1 \right) - 2 Fr_i^2 \frac{h_r}{h_i} = 0$$

da cui si valuta un incremento del tirante $h_r = h_i \left(1 + 1,5 Fr^{1,2} \right)^{5/6}$
 Quindi la spinta sulla parete subisce un incremento:

$$S_0 = \frac{1}{2} \rho g B h^2$$

$$S_{TOT} = \frac{1}{2} \rho g B h_r^2 = \frac{1}{2} \rho g B h_i^2 \left(1 + 1,5 Fr^{1,2} \right)^{10/6} \approx 10 \cdot S_0$$