

# *SISTEMAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI*

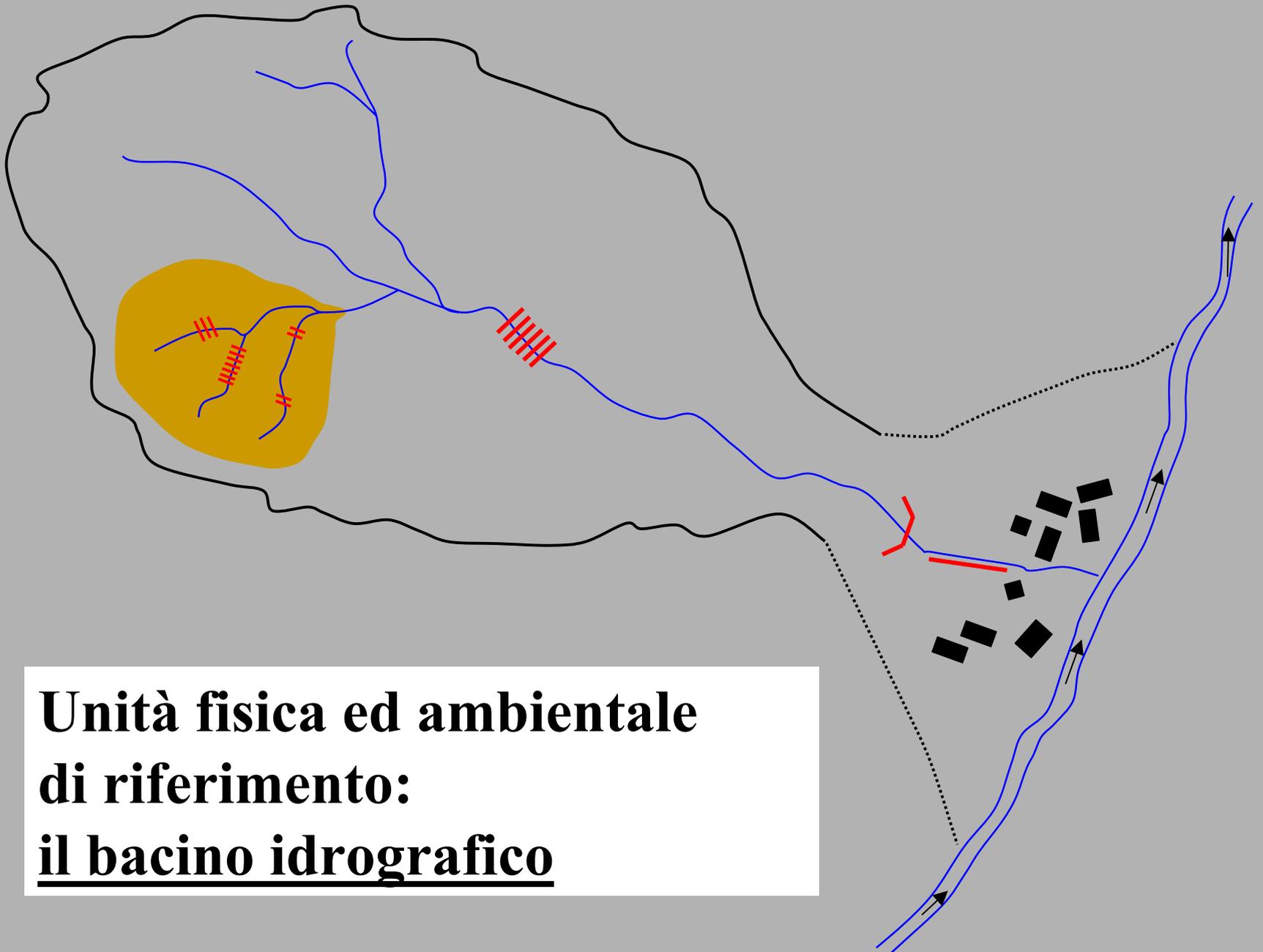
1. Sistemazioni Idraulico-Forestali e strategie di intervento
2. La sistemazione delle frane superficiali
3. Vegetazione sulle sponde e capacità di conduzione



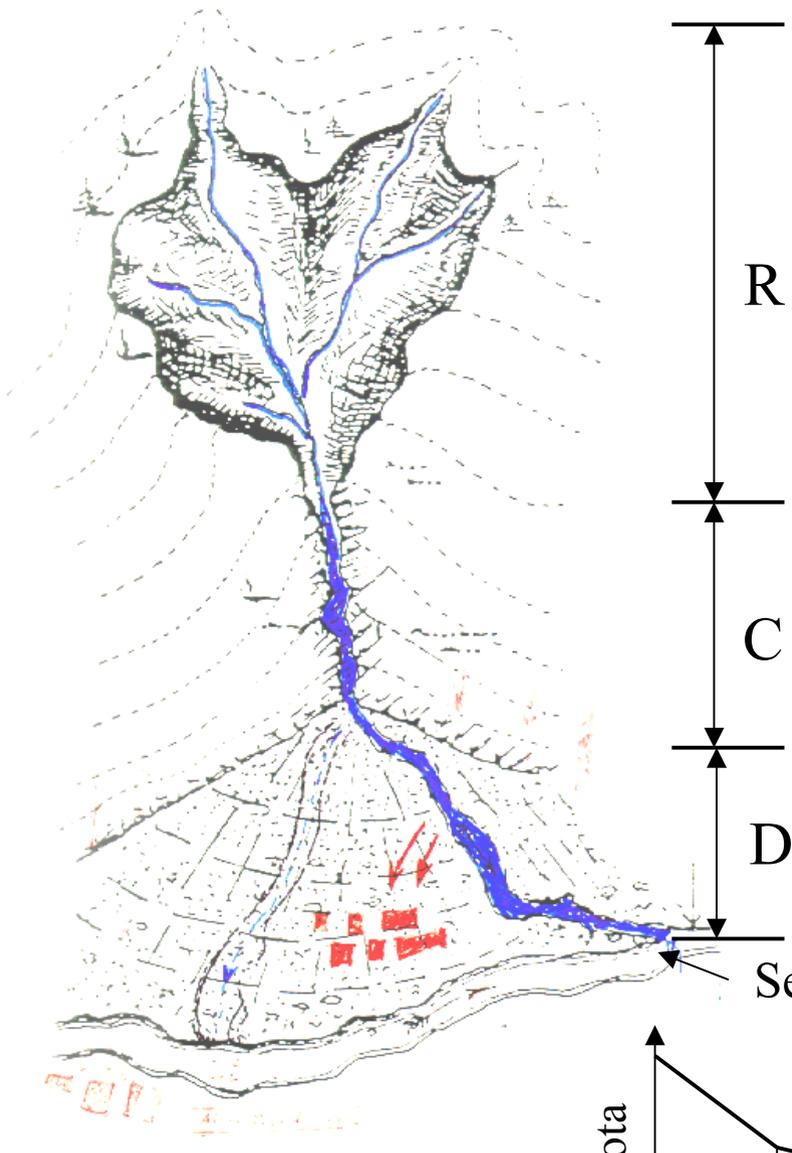
Sistemazioni idraulico-forestali  
e strategie di intervento

# I bacini montani





**Unità fisica ed ambientale  
di riferimento:  
il bacino idrografico**



R: bacino di formazione,  
zona di raccolta (TESTATA)

R

C: canale collettore  
(o canale adduttore)

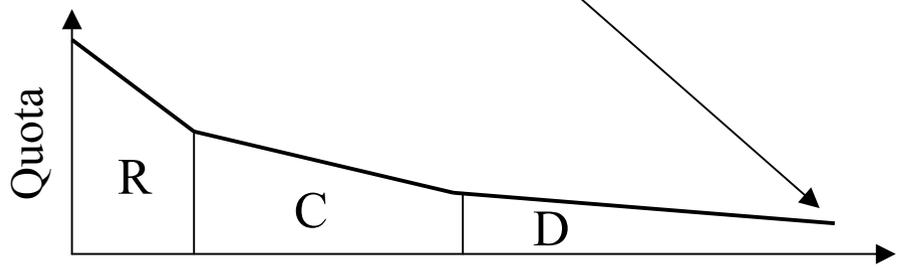
C

D: cono di deiezione, conoide  
(zona di deposito)

D

Sezione di chiusura

Profilo longitudinale



Distanza dalla sorgente

*Lavori di sistemazione idraulico-forestale*  
*D.M. 20 -08 -1912: i primi tre articoli ...*

**Art. 1**

**Le opere montane si dividono in due ordini di lavori**

**Art. 2**

**Opere idrauliche di carattere intensivo per ottenere la stabile correzione dei torrenti difendendone le sponde e modificandone il profilo**

**Art. 3**

**Opere di carattere estensivo, cioè quelle forestali, i rimboschimenti veri e propri con tutti i mezzi preparatori per ottenerli, e che hanno lo scopo di consolidare e tutelare il terreno, prevenendo le frane**

**Carattere intensivo:  
provvedimenti prevalentemente strutturali**

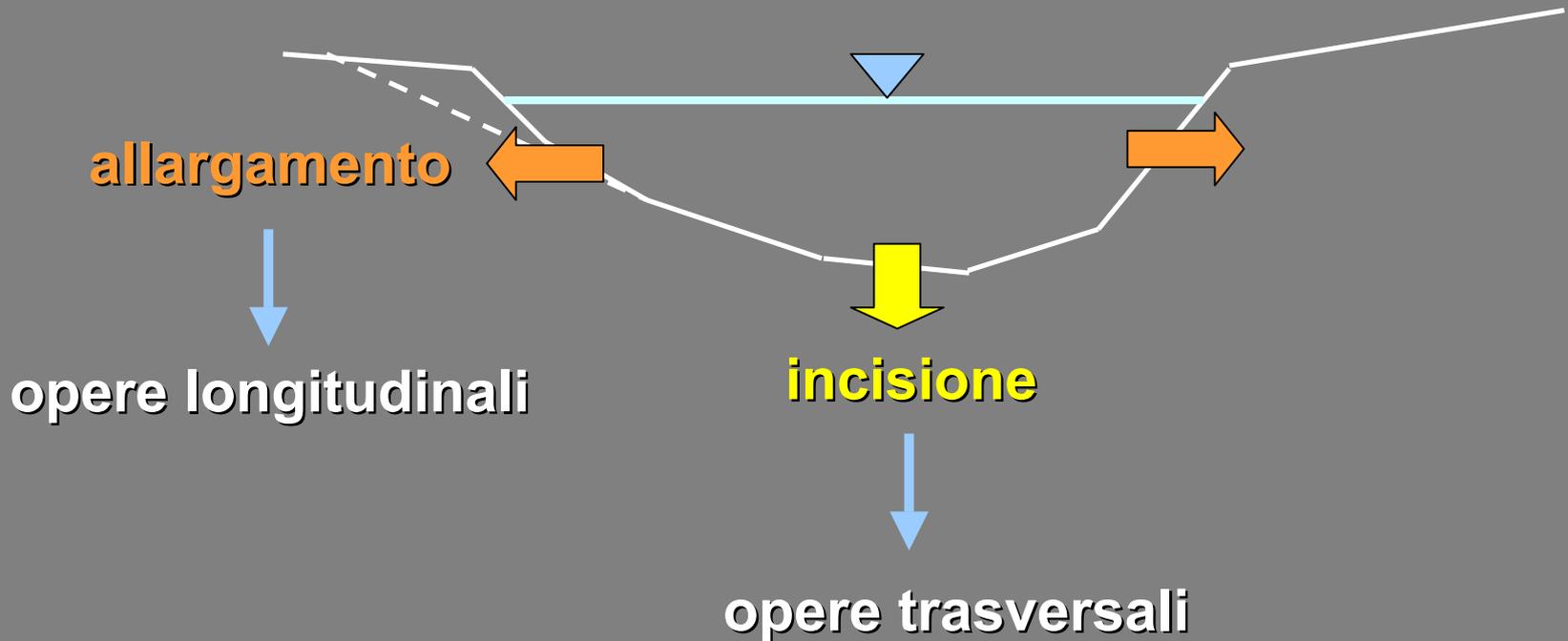
**Contenere le instabilità degli alvei: opere trasversali e longitudinali**

**Migliorare la capacità delle sezioni idrauliche nel contenere le portate di piena: sovralti, ricalibrature rettifiche**

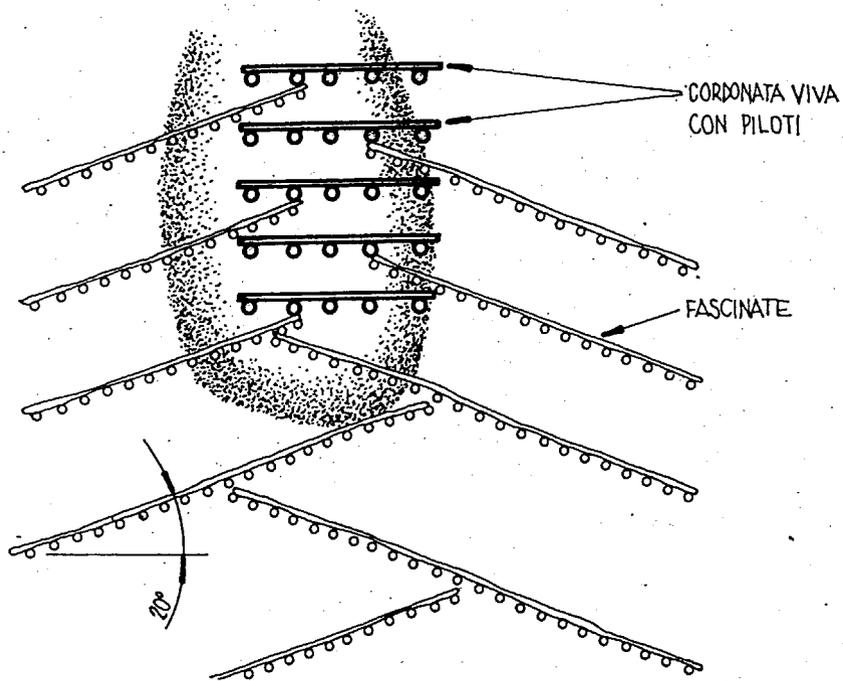
**Ridurre le portate liquide e solide: scolmatori, diversivi, casse di espansione, bacini di deposito**

# Carattere intensivo: provvedimenti strutturali

Contenere l'instabilità dei corsi d'acqua alluvionali nel rispetto del contesto ambientale



# Provvedimenti estensivi: ingegneria forestale (... “ingegneria naturalistica”)



**Con quali criteri ?**

# **1 . INTEGRALITA'**

=

**BILANCIAMENTO TRA PROVVEDIMENTI  
INTENSIVI ED ESTENSIVI**

**UNITARIETA' DEL BACINO**

**UNITARIETA' SISTEMA ALVEO -VERSANTE**

## **2 . GRADUALITA'**

=

**PROGRAMMARE GLI INTERVENTI**

**NON ESISTE UNA SISTEMAZIONE FINALE**

**CONCEPIRE IN MODO DINAMICO L'INTERVENTO**

# **3 . CONTINUITA'**

=

**PRESIDIO NEL TEMPO DEL BACINO**

**MANUTENZIONE E MONITORAGGIO OPERE**

**PRESENZA SUL TERRITORIO**

**Approvazione delle norme per la preparazione dei progetti dei lavori di sistemazione idraulico-forestale nei bacini montani.**

**Art. 1.**

Le opere di sistemazione dei bacini montani, o semplicemente opere montane, si dividono in due ordini di lavori.

**Art. 2.**

Un primo ordine riguarda opere idrauliche di carattere intensivo per ottenere la stabile correzione dei torrenti difendendone le sponde e modificandone il profilo.

**Art. 3.**

Un secondo ordine di lavori riguarda le opere di carattere estensivo, cioè quelle forestali, i rimboscamenti veri e propri, con tutti i mezzi preparatori per ottenerli, e che hanno lo scopo di consolidare e tutelare il terreno, prevenendo le corrosioni, le frane, gli smottamenti.

**Art. 4.**

Si deve tener presente che non tutti gli alvei dei torrenti e loro diramazioni possono aver sempre bisogno di sistemazione, e che non conviene esagerare nel rimboscamento di tutte le pendici che costituiscono il bacino, anche nelle parti pianeggianti o in quelle salde suscettibili di essere rinsaldate con soli inerbamenti, o in quelle a coltura, quando questa venga garantita con stabili opere riparative, o dove infine si possa raggiungere lo scopo della stabilità riducendo il terreno a pascolo alberato.

**Art. 5.**

I progetti di sistemazione montana, non debbono essere molto particolareggiati. I rilievi debbono limitarsi al puro necessario per fissare i punti singolari e possibilmente saldi dei profili, senza perder tempo e denaro in minuziosi rilevamenti di punti e sezioni intermedie, dimenticando che la configurazione del terreno muta dopo ogni stagione di pioggia.

#### **Art. 6.**

**Un progetto di sistemazione montana, si basa soprattutto sopra una corografia generale, ove siano distinti i vari ordini di lavori. Nella corografia, che spesso può essere la carta dello Stato maggiore al 25.000, si rappresenta con linea rossa a tratti e punti il perimetro del bacino, con tinta verde chiara i boschi esistenti, con verde scuro le zone da rimboscare, con tratteggio verde quelle da inerbare, con tinta gialla quelle dove può bastare il divieto di pascolo per far rivivere il bosco. In rosso si segneranno le opere di muratura, le sassaie e simili; in terra di siena bruciata le viminate e le varie opere di legname.**

#### **Art. 7.**

**Si uniranno i profili schematici longitudinali dimostrativi, coll'indicazione delle opere, dei profili di compensazione, di equilibrio, adottando una scala conveniente, sufficiente per rappresentare con chiarezza le proposte.**

#### **Art. 8.**

**Per le opere di qualunque genere si presenteranno tipi normali, da adattarsi alle condizioni locali come risulteranno all'atto pratico dell'esecuzione.**

**Per le opere d'arte singolari, solamente, si presenteranno tipi speciali a forma di regolare progetto studiato sul rilievo locale, quando la configurazione del sito sia sufficientemente invariabile e salda.**

#### **Art. 9.**

**Per ogni torrente o suo ramo si deve studiare il modo di trasporto delle materie e il loro deposito, prefiggendosi il compito di limitare nel maggior modo possibile la discesa delle materie, studiando il profilo di compensazione, in base al quale regolare le dimensioni e le distanze fra le opere di ritegno trasversali.**

#### Art. 10.

Di massima sono da escludere materiali dalle pendici, e in questo caso sono da adottarsi le briglie di trattenuta che si debbono collocare nelle strozzature, a valle d'allargamenti o varici dei valloni o burroni.

Saranno da adottare le briglie di correzione ove vi è scavo nell'alveo o erosione sui fianchi.

La corona delle briglie dovrà essere concava con ali rialzate sui fianchi o sul fianco corrodibile, in modo che la portata massima del torrente sia contenuta fra sponde salde. Il profilo a valle deve essere verticale.

#### Art. 11.

Ogni proposta deve essere ispirata a grande economia, modestia e semplicità, escludendo qualunque opera di lusso, ricordando che non si tratta di elencar monumenti od opere d'arte grandiose e che devonsi evitare dispendiosi lavori di muratura.

#### Art. 12.

Sono da impiegare i materiali rustici del sito, pietre, legnami, chiedendo alla forza di vegetazione i materiali viventi per il consolidamento dei terreni, ricorrendo anche a opere miste di legname e sasso.

Nelle frane, sono da evitare le costruzioni murali, adottando invece piccole palizzate, graticciate o fascinate basse, inerbamenti e semine o piantagioni di alberi di pronto accrescimento.

#### Art. 13.

La stima delle opere sarà basata sui prezzi locali, presentando analisi e computi metrici dei tipi normali e delle varie categorie, di provvedimenti, delle varie qualità di piantagioni, seminazioni, ecc., di cui nel computo metrico si daranno le quantità nel modo più approssimativo al vero che sia possibile, ma sempre sommariamente, perché le condizioni locali sono facilmente alterabili dopo trascorso un certo tempo.

Per le opere d'arte speciali si faranno stime sulle dimensioni corrispondenti ai disegni.

Nel caso di progetti di massima, specialmente per quelli da servire di base a concessioni a province o consorzi, come all'art. 15 della legge, la stima potrà essere fatta col sistema di un prezzo medio complessivo per ettaro di bacino da sistemare.

#### Art. 14.

Si terranno separate nella stima le spese per imprevisti (1/10 circa) da quelle per assistenza, direzione, sorveglianza e spese generali per l'esecuzione in economia, titoli tutti questi ultimi che debbono valutarsi in blocco al 12% della stima principale per lavori imprevisti.

#### Art. 15.

In genere non sarà proposto l'impianto di vivai d'importanza nei bacini da sistemare, calcolando di prelevare le piante dai vivai governativi. Eccezionalmente, quando i vivai governativi fossero a grande distanza o a dislivello troppo accentuato, o vi mancassero le speciali piante adatte, soltanto allora si potranno proporre piccoli orti o vivai temporanei.

#### Art. 16.

Il tutto verrà illustrato e giustificato da una relazione, non accademica né prolissa, ma concisa ed esauriente. Essa deve dare, a chi esamina, l'idea chiara delle condizioni del bacino, quindi ubicazione, confini, condizioni altimetriche ed idrografiche, pendenze, portate, natura delle rocce e delle terre, rapporto delle varie colture, natura del torrente, se cioè di scavo o di trasporto, danni che si verificano entro o fuori del bacino, influenza sui corsi d'acqua nei quali si scarica, ecc.

Alla parte descrittiva farà seguito l'indicazione dei provvedimenti da adottare, dando ragione della scelta delle opere e delle colture che si propongono. In fine della relazione saranno riassunte le spese per ogni categoria di lavoro, tracciando un completo programma di lavoro ripartito nelle varie serie o diversi periodi di cui l'attuazione deve avvenire successivamente.

# LEGGE 183-89 SULLA DIFESA DEL SUOLO

Tra le azioni di “pianificazione, programmazione e attuazione” previste dalla legge si segnalano:

*La sistemazione, la conservazione e il recupero del suolo nei bacini idrografici, con interventi idrogeologici, idraulici, idraulico-forestali, idraulico agrari, silvopastorali, di forestazione e di bonifica, anche attraverso processi di recupero naturalistico, botanico, faunistico.*

- Difesa, sistemazione e regolazione dei corsi d'acqua
- Opere idrauliche per la moderazione delle piene
- Disciplina delle attività estrattive
- Difesa e consolidamento dei versanti (frane, valanghe e altri fenomeni di dissesto)
- Contenimento subsidenza
- Protezione coste

*Risanamento delle acque superficiali e sotterranee (omissis) mediante opere di depurazione degli affluenti urbani, industriali ed agricoli e la definizione di provvedimenti per la trasformazione dei cicli produttivi e per il razionale impiego di concimi e pesticidi in agricoltura.*

*Razionale utilizzazione delle risorse idriche superficiali e profonde, con una efficiente rete idraulica, irrigua e idrica, garantendo comunque che l'insieme delle derivazioni non pregiudichi il minimo deflusso costante vitale negli alvei sottesi.*

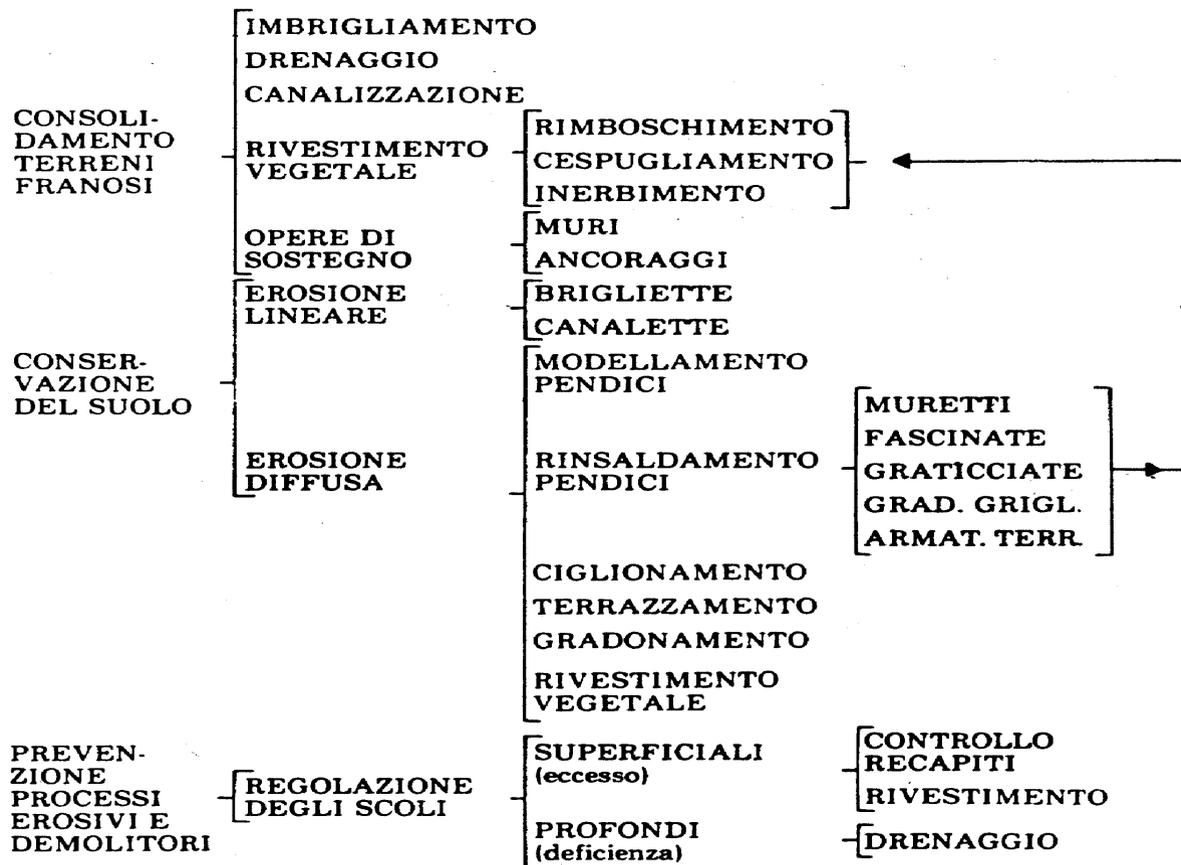
*Manutenzione ordinaria e straordinaria delle opere e degli impianti.*

*Riordino del vincolo idrogeologico.*

# OPERE DI STABILIZZAZIONE DEI VERSANTI

CONSOLIDAMENTO TERRENI FRANOSI, SISTEMAZIONI IDRAULICO-AGRARIE, IDRAULICO-PASCOLIVE E IDRAULICO FORESTALI SECONDARIE

Hanno lo scopo di arrestare il trasporto solido all'origine e consistono in opere e interventi diffusi nel bacino di formazione del torrente



## LE FUNZIONI DEL BOSCO

- la foresta è un *sistema unitario formato inscindibilmente da suolo e vegetazione*
- la foresta “agisce” sui deflussi idrici e sull’erosione del suolo
- per mezzo delle variazioni climatiche nel proprio interno (bioclima), della lettiera e degli apparati radicali, lo strato arboreo svolge una concreta azione di protezione del suolo

## ... LE FUNZIONI DEL BOSCO

- sul 60% della superficie forestale italiana, l'alto-fusto è stato ridotto a ceduo, la cui efficienza biologica (e quindi anche idrologica) è scesa a livelli bassissimi
- i boschi italiani di alto-fusto hanno una densità che raramente supera 200 m<sup>3</sup>/ha, ma che in genere si trova abbassata a 80-150 m<sup>3</sup>/ha: ciò favorisce i fenomeni di erosione dei terreni ad opera del deflusso superficiale
- con piogge con altezze comprese fra 1 e 10 mm, l'intercettazione da parte degli apparati fogliari è elevata

## LE FUNZIONI DEL BOSCO

- con precipitazioni intense o di altezza superiore a 20-30 mm, le chiome non trattengono più del 5-15% dell'acqua caduta
- con precipitazioni ancora superiori, le chiome, raggiunta la saturazione, lasciano passare quasi tutta l'acqua che successivamente affluisce al terreno
- gli apparati fogliari assumono grande importanza nella riduzione della forza viva dell'acqua meteorica, ad eccezione delle piogge intense; nel contenere tale energia, con gli alberi concorrono il sottobosco e la copertura morta
- lungo le pendici presidiate dal bosco, gli ostacoli frapposti dalla vegetazione abbassano la velocità del deflusso superficiale fino ad  $1/4$  di quella che si avrebbe sullo stesso pendio denudato (Najera)

- l'energia erosiva varia col quadrato della velocità: in un buon popolamento forestale, scende teoricamente ad 1/16 rispetto a quella che, a parità di pioggia, può svilupparsi nei terreni nudi

- oltre all'importante azione idrologica epigea, nel caso di piogge torrenziali, gli effetti che il sistema forestale svolge nella sfera ipogea, dove sono preminenti le proprietà e la profondità del suolo, appaiono di portata addirittura superiore

Per i boschi dei nostri climi in discrete condizioni, si può dire che:

- la velocità di infiltrazione dell'acqua è di norma elevata o elevatissima, dell'ordine, a deflusso costante, non inferiore a 3-5 mm/min.

- la capacità di ritenzione idrica (mesopori) equivale ad un'altezza di 60-80 mm di pioggia

- sommando l'acqua intercettata dagli apparati fogliari con quella di ritenzione, un bosco provvisto di caratteri discreti appare verosimilmente capace di sottrarre al deflusso un'altezza d'acqua pari a circa 60-70 mm e di trattenere temporaneamente nei macropori una quantità da 4 a 5 volte maggiore
- l'acqua contenuta nei macropori si muove con velocità rallentata: ciò porta ad una “decapitazione” delle punte di piena distribuendo questa in tempi che, se riferiti all'inizio delle piogge, risultano da 2 a 7 volte maggiori

- nei boschi alterati e con suolo eroso e degradato, l'acqua penetra nel terreno fino a 10 volte più lentamente e, con piogge di intensità superiore a 0.1-0.5 mm/min., è costretta a defluire parzialmente in superficie; il potere di ritenzione idrica diminuisce di circa 2/3 rispetto ai boschi mediamente efficienti e i tempi di corrivazione vengono notevolmente abbreviati
- ogni riduzione della copertura forestale provoca un aumento del deflusso totale; in seguito al taglio raso, l'aumento del deflusso medio annuo, da minimi di 20%, può salire a massimi del 80%
- in uno stesso bacino, nel caso di isolate piogge intense, il disboscamento innalza i deflussi di piena dal 50% a oltre il 100%
- il reinsediamento per via spontanea del bosco tende a riportare rapidamente i deflussi ai valori primitivi

# Tipologia degli interventi di sistemazione idraulico-forestale

<b>INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO</b>	<b>INTERVENTI SPECIFICI PER IL CONTROLLO DELLE PORTATE</b>
<p><b>1 SISTEMAZIONE di AREE FRANOSE</b> A- opere di sostegno al piede B- opere di sostegno su versante C- drenaggio delle acque profonde o superficiali D- scoronamento, conguagliamento e recupero vegetazionale</p> <p><b>2 SISTEMAZIONE dell'ALVEO</b> A- opere trasversali (soglie e briglie) B- opere spondali C- cunette e cunettoni D- repellenti</p>	<p><b>3 CONTROLLO della PORTATA LIQUIDA</b> A- aree di espansione B- bacini di laminazione C- interventi di ritenzione sui versanti (microlaminazione)</p> <p><b>4 CONTROLLO del TRASPORTO SOLIDO</b> A- piazze di deposito B- briglie aperte o filtranti</p>
<b>INTERVENTI DI MANUTENZIONE</b>	
<p><b>5 MANUTENZIONE dell'ALVEO</b> A- trattamento della vegetazione in alveo, sulle sponde e nelle golene B- mantenimento e ripristino sezioni di deflusso C- ripristino delle aree di deposito dei sedimenti</p>	<p><b>6 MANUTENZIONE ORDINARIA E STRAORDINARIA DELLE OPERE DI SISTEMAZIONE IDRAULICO-FORESTALE</b></p>

## Localizzazione degli interventi di sistemazione idraulico-forestale

<b>LAVORI IN ALVEO</b>		
<b>Pendenza del corso d'acqua</b>	<b>Condizioni di instabilità dei versanti</b>	<b>Tipo di corso d'acqua</b>
Fino al <b>10 %</b>	Stabili	A regime fluviale o torrentizio
Dal <b>10 %</b> al <b>15 %</b>	Al limite della stabilità	A regime torrentizio
Dal <b>15 %</b> al <b>50 %</b>	Instabili	A regime torrentizio
<b>LAVORI SU VERSANTE O ALLA TESTATA DEI COLLETTORI</b>		
<b>Pendenza dei versanti</b>	<b>Condizioni di instabilità dei versanti</b>	<b>Altri fattori di disturbo</b>
Fino al <b>40 %</b>	Stabili	Presenza di massi instabili, materiali limoso-argillosi e presenza di scaturigini
Dal <b>40 %</b> al <b>60 %</b>	Al limite della stabilità	Rocce pseudocoerenti con stratificazioni incrociate, depositi limoso-argillosi con venute d'acqua
Superiore al <b>60 %</b>	Instabili	Rocce stratificate a franappoggio, terreni pseudocoerenti con materiali argillosi, limi, scaturigini

## CAUSE DI INSTABILITA' (da Sowers B. G. and Sowers G. F., 1970)

### CAUSE D'INCREMENTO DI STATO TENSIONALE

Carichi esterni quali manufatti, acqua o neve

Aumento del peso per unità di volume in seguito a incremento di contenuto in acqua

Rimozione di una parte della massa attraverso lo scavo

Undermining provocato da gallerie, crollo di cavità sotterranee o dalla erosione

Shocks provocati da terremoti o esplosioni

Fessure di trazione

Pressione dell'acqua nelle fessure

### CAUSE DI DIMINUZIONE DI RESISTENZA

Rigonfiamento di argille in seguito all'assunzione di acqua

Pressioni interstiziali (diminuisce le pressioni intergranulari e l'attrito)

(micro)fessurazione da neotettonica

Deformazione e rottura progressiva

Disgelamento di terreno congelato o di lenti di ghiaccio

Deterioramento del materiale cementante

Perdita di tensione capillare in seguito a essiccamento o sommersione

**FRANA:** qualsiasi forma di spostamento di terreni o rocce dovuto essenzialmente alla gravità

## CAUSE DELLA FRANOSITA'

Cause preparatorie: **FATTORI NATURALI**

- a) Condizioni climatiche: piovosità, insolazione, escursioni termiche;
- b) Configurazione morfologica e, soprattutto, inclinazione del pendio e sue variazioni;
- c) Composizione geolitologica;
- d) Struttura tettonica e in particolare disposizione degli strati rispetto al pendio (franapoggio, reggipoggio, ecc.);
- e) Microsismi e terremoti dei gradi più bassi;
- f) Movimenti orogenici;
- g) Rilassamento delle tensioni interne delle rocce;
- h) Alterazione meteorica delle rocce;
- i) Circolazione delle acque superficiali e sotterranee;
- j) Azione erosiva dei corsi d'acqua e del moto ondoso al piede dei pendii;
- k) Variazione di livello dei laghi;
- l) Ritiro dei ghiacciai

## Cause preparatorie: FATTORI ANTROPICI

- a) Disboscamento;
- b) Scavi di ogni genere, come trincee, canali, strade a mezza costa, gallerie, ecc.;
- c) Costruzione di edifici sui pendii;
- d) Vibrazioni prodotte dal passaggio di veicoli pesanti (treni, autocarri, ecc.);
- e) Irrigazioni;
- f) Abbandono della manutenzione dei campi in aree montane e collinari

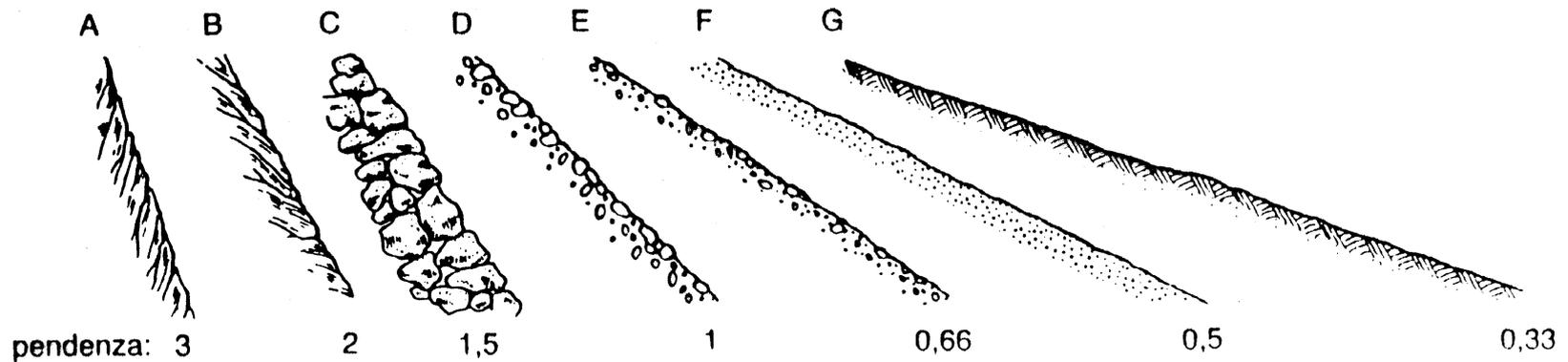
## Cause determinanti: FATTORI NATURALI

- a) Particolari meteorologici come precipitazioni eccezionali, sgelò improvviso;
- b) Rapido scalzamento di ripe fluviali e marine per piene straordinarie dei corsi d'acqua e per mareggiate;
- c) Terremoti;
- d) Sovraccarichi improvvisi per caduta di massi, di valanghe o di materiali alluvionali ad opera di una alluvione localizzata

## Cause determinanti: FATTORI ANTROPICI

- a) Variazioni artificiali del livello di laghi e dei serbatoi;
- b) Perdite d'acqua dall'alveo di canali, acquedotti, ecc.;
- c) Apertura di cave, di trincee e di gallerie;
- d) Esplosione di mine;
- e) Costruzioni sul ciglio delle scarpate

# Schema delle condizioni di stabilità di un pendio secondo F. Bay (Di Tella-Bay, 1946)

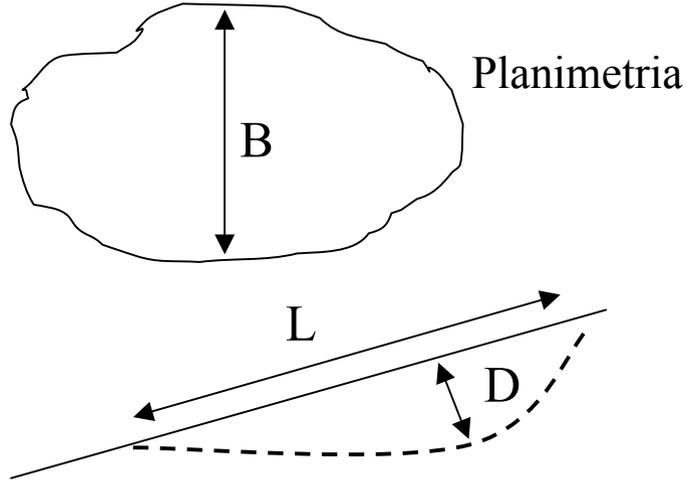


- |   |   |   |
|---|---|---|
| { | incerte   | A) Falda compatta a picco con stratificazione ascendente – <i>possibili stacchi di massi</i> – eventuali sottomurazioni o stacchi preventivi artificiali          |
|   | B) Falda compatta a picco a stratificazione discendente – <i>probabili stacchi di massi, scoscendimenti o lavine</i> – eventuali sottomurazioni e deviazioni di filtrazioni d'acqua |   |
| { | pericolose  | C) In generale massi accatastati per antichi scoscendimenti – <i>equilibrio instabile, falde pericolose</i> – stare ben discosti coi tracciati di canali o strade |
|   | D) Detriti o morene, massi, ciottoli commisti a materiale minuto – grande probabilità di frane – rimboschimenti e deviazione acque superficiali                                     |   |
| { | incerte   | E) Detriti o morene con maggior prevalenza di materiale minuto – <i>frane poco probabili senza cause speciali artificiali</i> – falde in genere quasi sicure      |
|   | F) Detriti o morene con prevalenza ancora maggiore di materiale minuto – <i>frane improbabili</i> – falda sicura  |   |
| { | sicure  | G) Falda detritica o alluvionale - <i>sicura</i>  |

La sistemazione delle frane superficiali

**Ai fini sistematori** è opportuno porre particolare attenzione:

- alla profondità del corpo di frana;
- al rapporto profondità / lunghezza;
- al tipo di materiale coinvolto;
- alle condizioni stratigrafico-strutturali, per l'individuazione dei piani di debolezza preferenziali

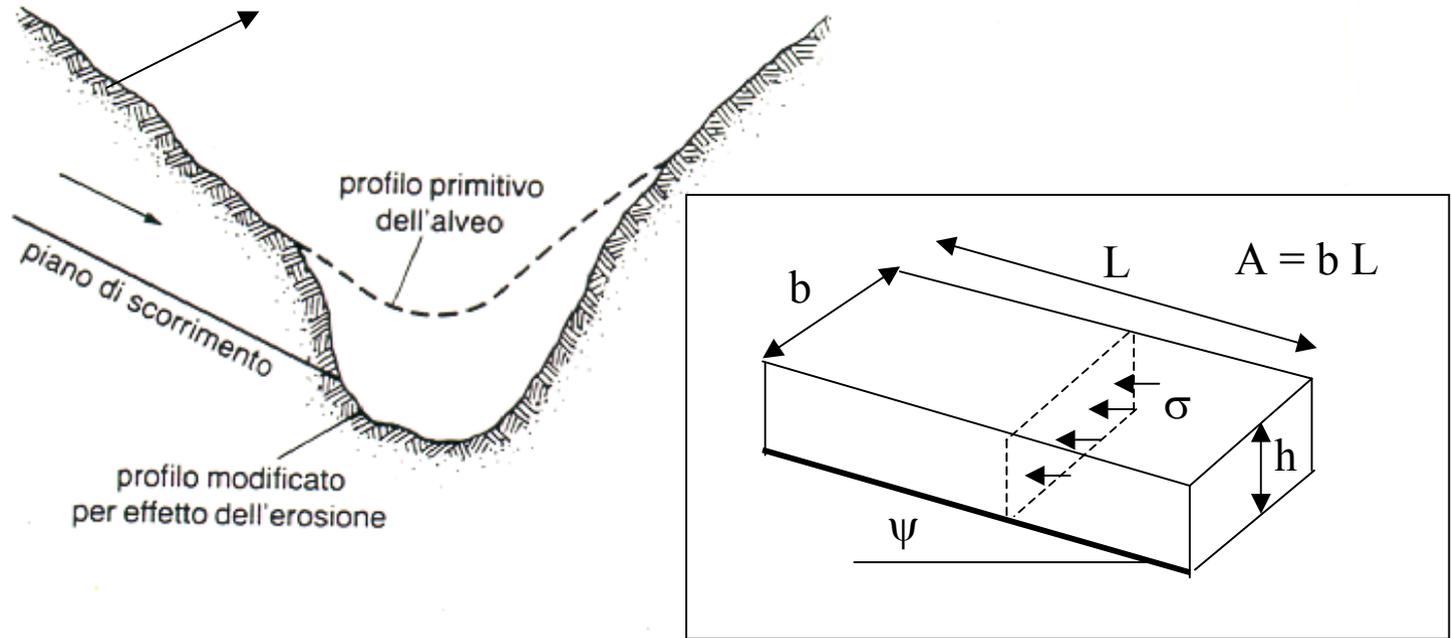


B = larghezza massima della frana  
L = lunghezza massima della frana  
D = profondità massima della frana

Con riferimento a D (secondo Skempton e Hutchinson, 1969)

< 1.5 m	MOLTO SUPERFICIALI
1.5 – 5 m	SUPERFICIALI
5 – 20 m	PROFONDE
> 20 m	MOLTO PROFONDE

# Frana profonda provocata da mancanza di contrasto al piede



Per una frana schematizzata da un prisma di area  $A$ , larghezza  $b$  e altezza  $h$  (e quindi sezione trasversale  $bh \cos \psi$ ) (rigonfiamento, o spinta su opera trasversale)

$$\sigma = \frac{\left[ \gamma_t h \sin \psi - \left( f \gamma_t h \cos \psi + \frac{c}{\cos \psi} \right) \right] A}{b h \cos \psi} < 2 \text{ kp/cm}^2 \text{ (196000 N/m}^2) \cong 0.2 \text{ MPa}$$

← indicativo

# CONSOLIDAMENTO DI UN VERSANTE

- **REGIMAZIONE IDRICA**

- a) erosione al piede
- b) drenaggi superficiali
- c) drenaggi profondi

- **CONSOLIDAMENTO MECCANICO**

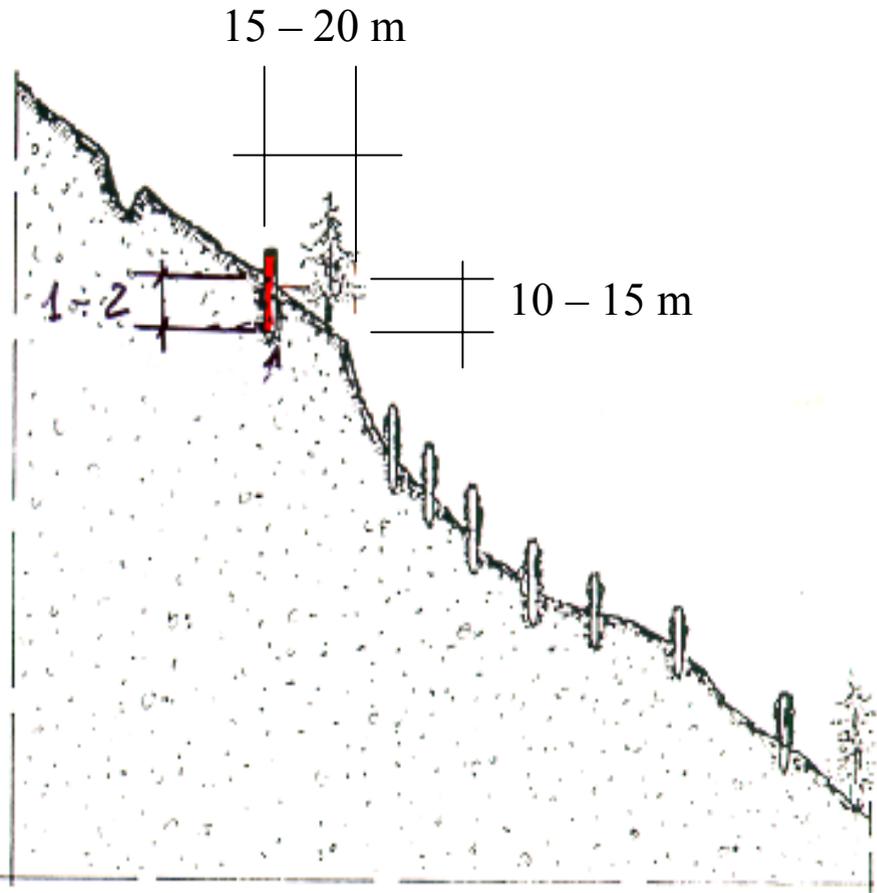
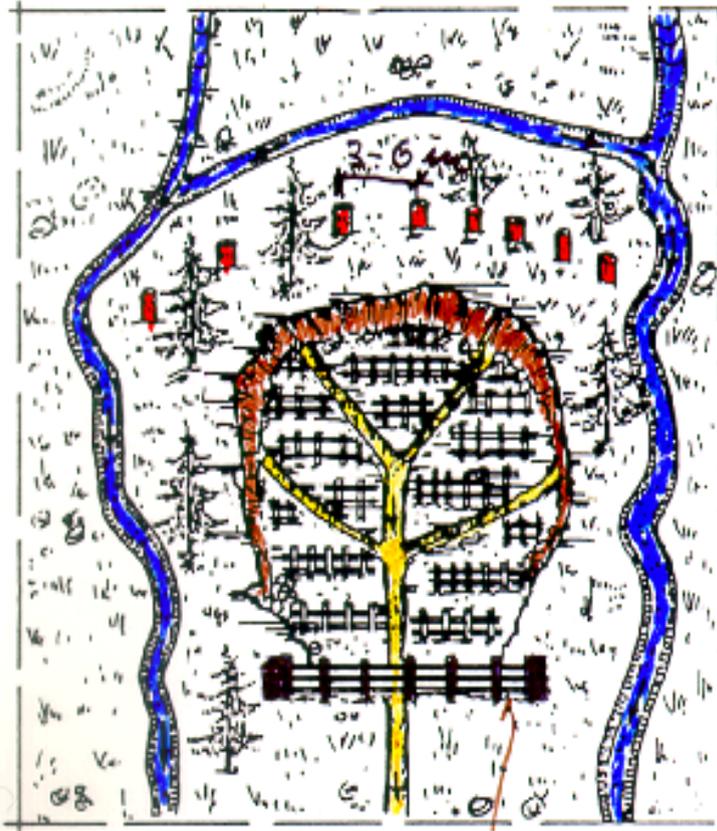
- a) rimodellamento del pendio
  - b) scoronamento
  - c) gradonamento
  - d) tecniche varie per trasferire gli sforzi tangenziali a elementi strutturali
- Riduzione della pendenza

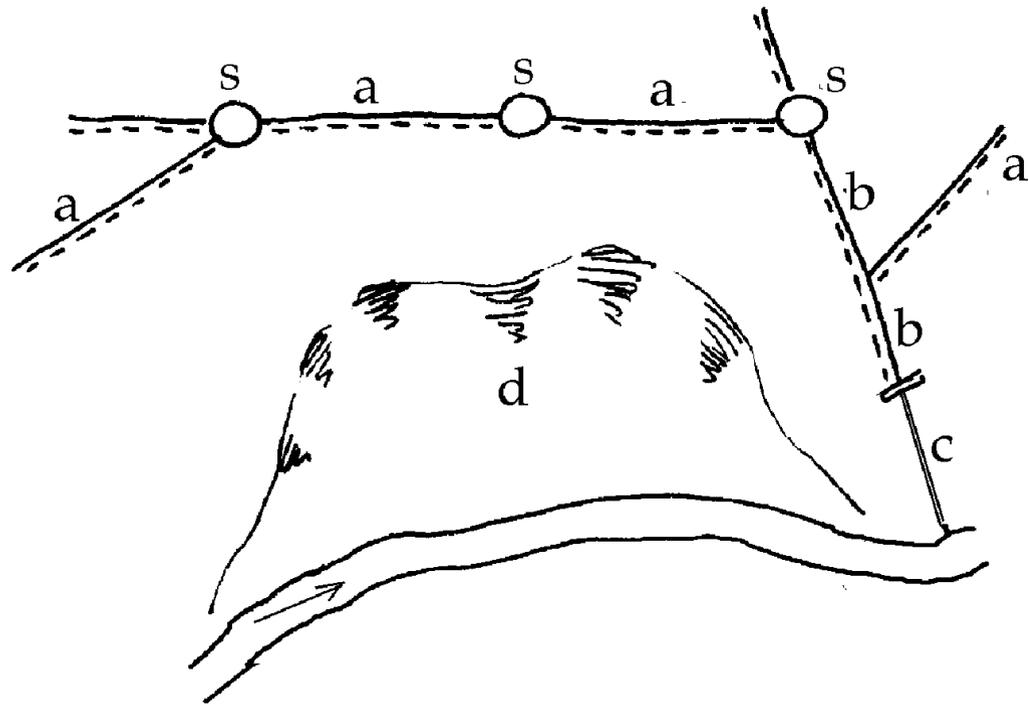
- Gradonate con talee o piantine
- Vimate
- Palificate
- Grate
- Terre rinforzate

- **RICOSTITUZIONE DELLA COPERTURA VEGETALE**

- a) inerbimenti, ...

# Sistemazione di una frana superficiale





**Impianto di drenaggio con captazione della falda a monte**  
 a-a-a, canali di raccolta; b-b, canale di scarico; c, cunetta;  
 s-s-s, pozzetti di ispezione; d, corpo di frana

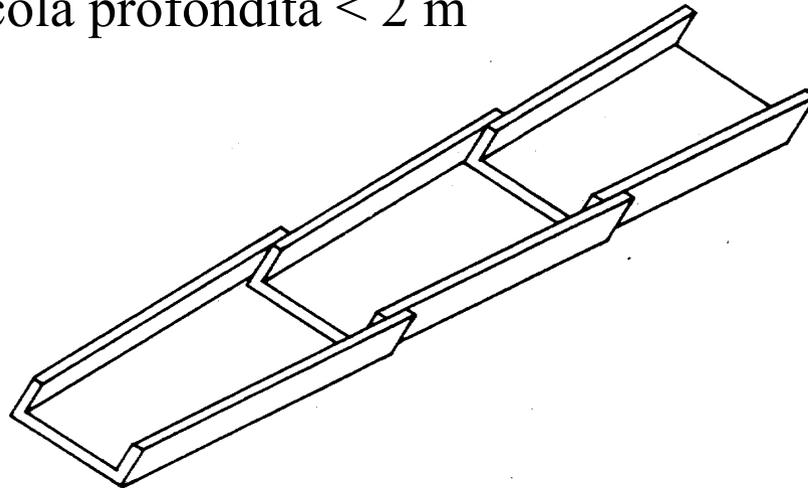
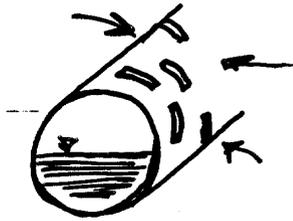
# DRENAGGI A CIELO APERTO



Controllo delle  
acque di scorrimento  
superficiale

Controllo delle acque a piccola profondità  $< 2$  m

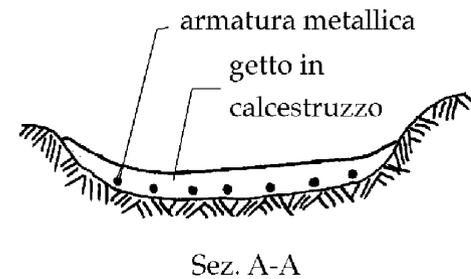
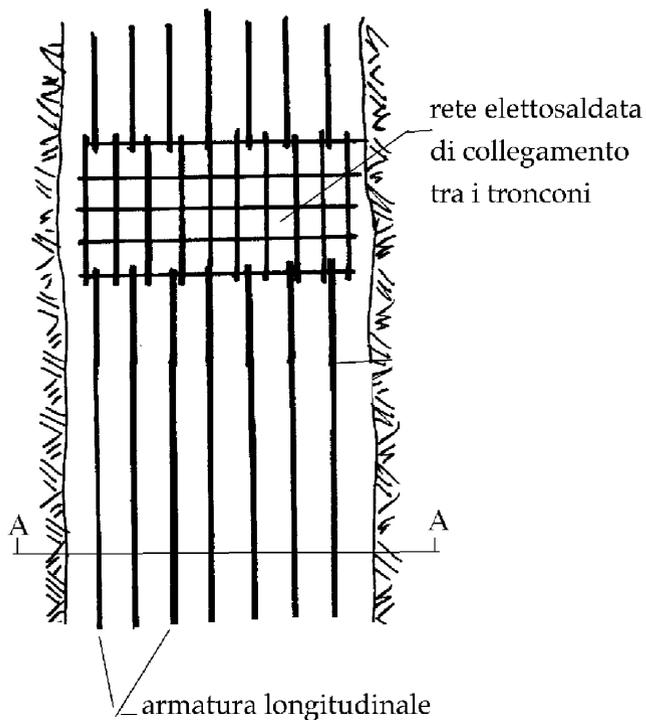
- microdrenaggi trivellati
- trincee drenanti

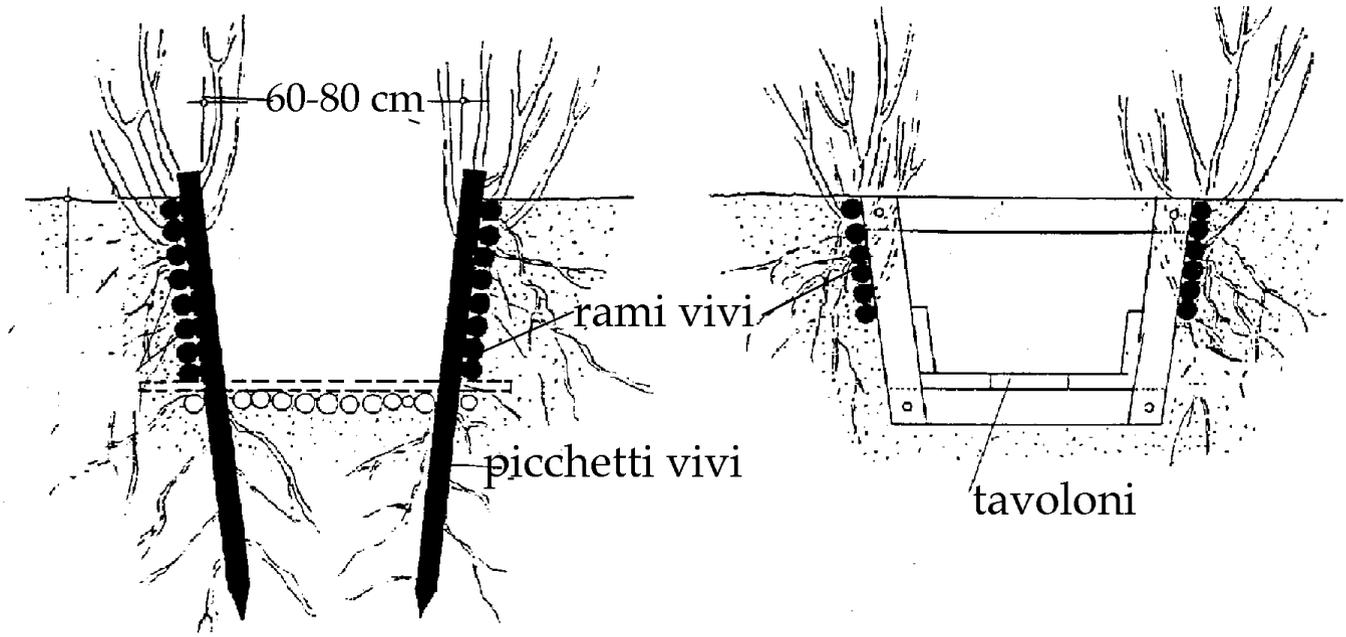


Tubi forati in PVC

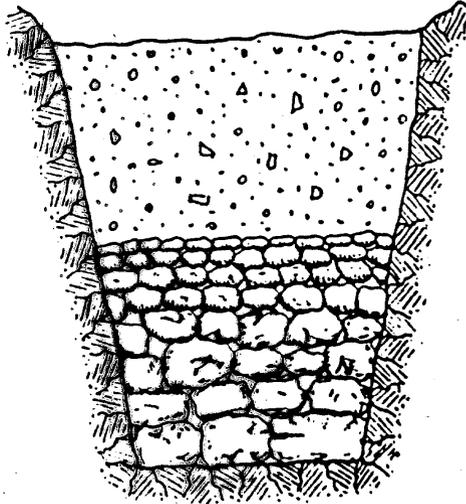


# CUNETTE DI INTERCETTAZIONE E/O RACCOLTA

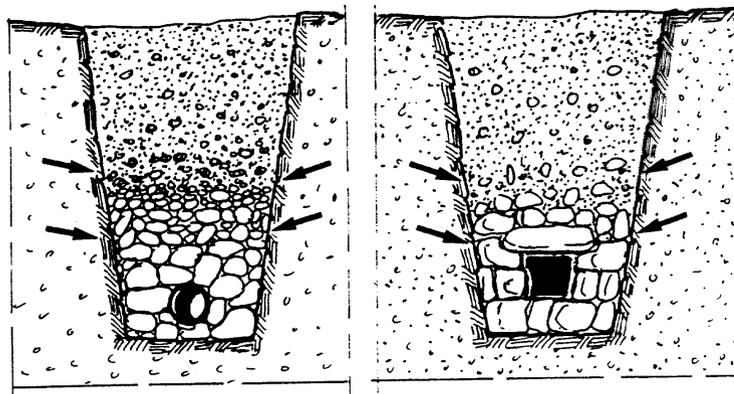




# Vespaio

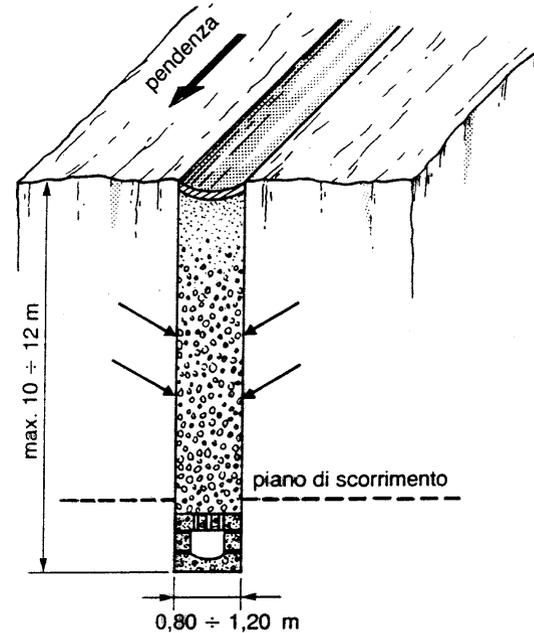


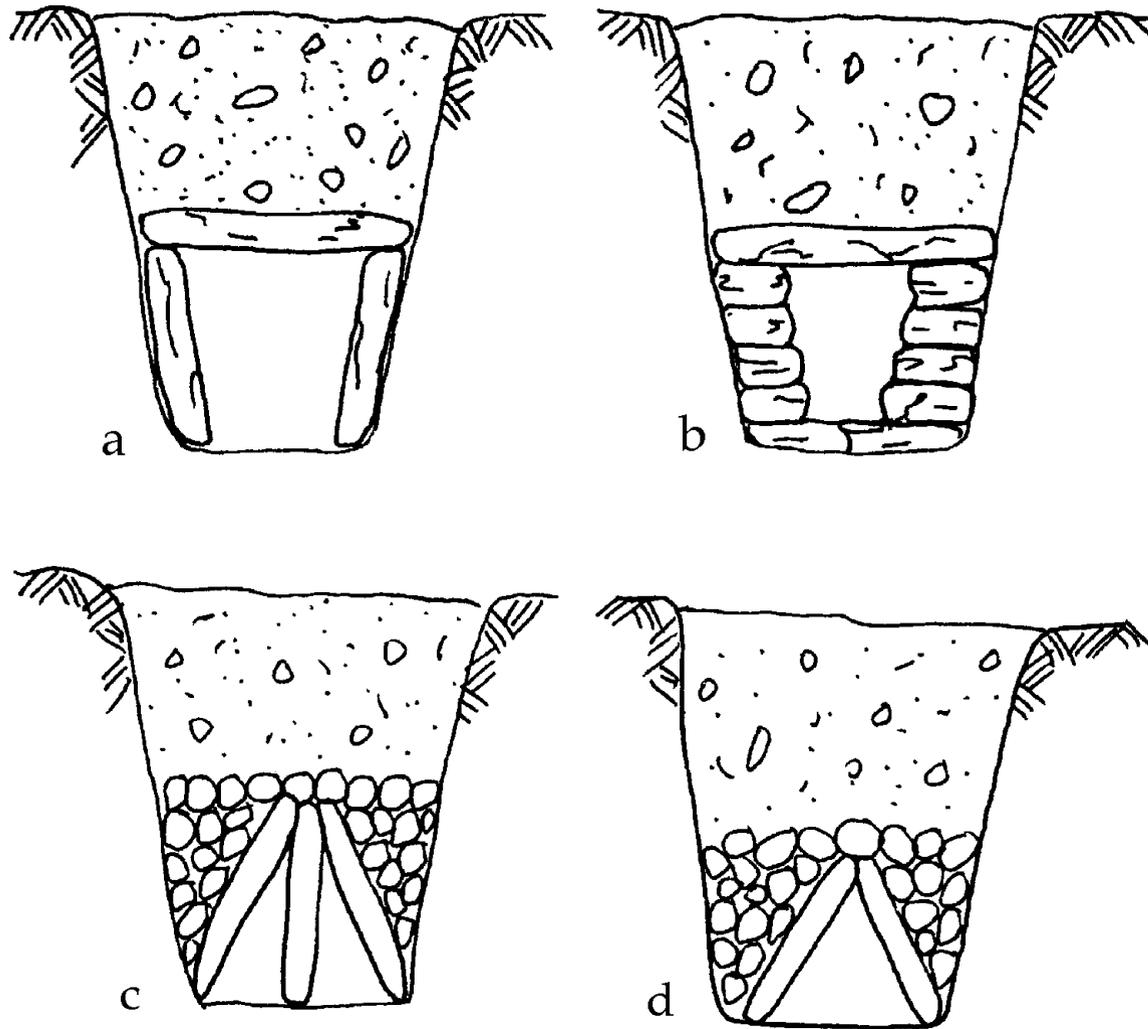
# Cunicolo



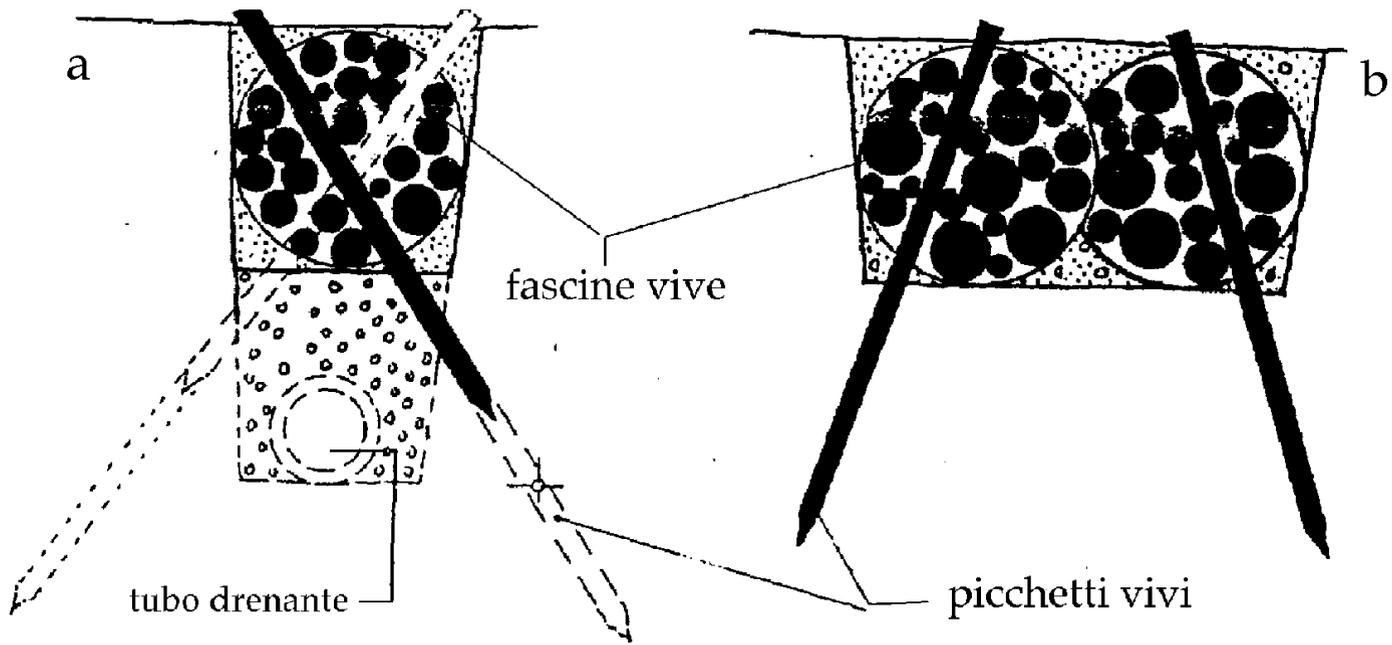
DRENAGGI  $\nearrow$  superficiali  
 $\rightarrow$  profondi

- Pozzi verticali
- Gallerie

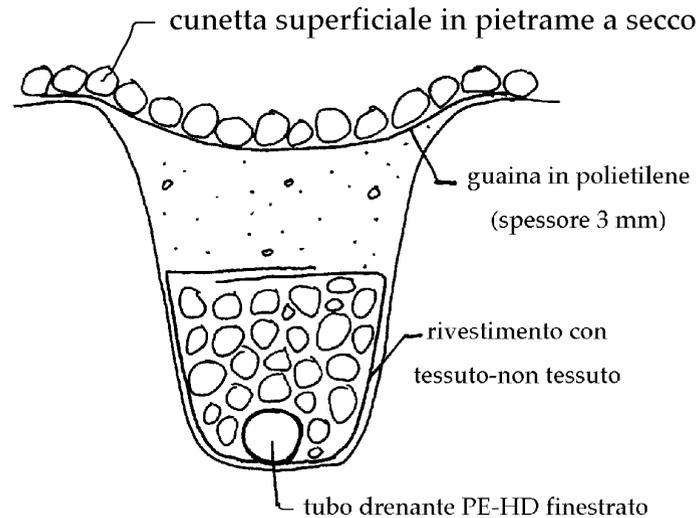
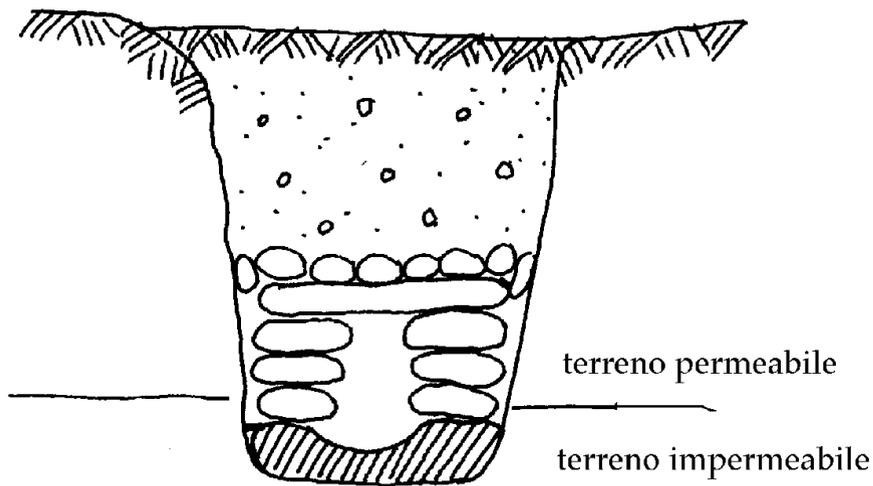




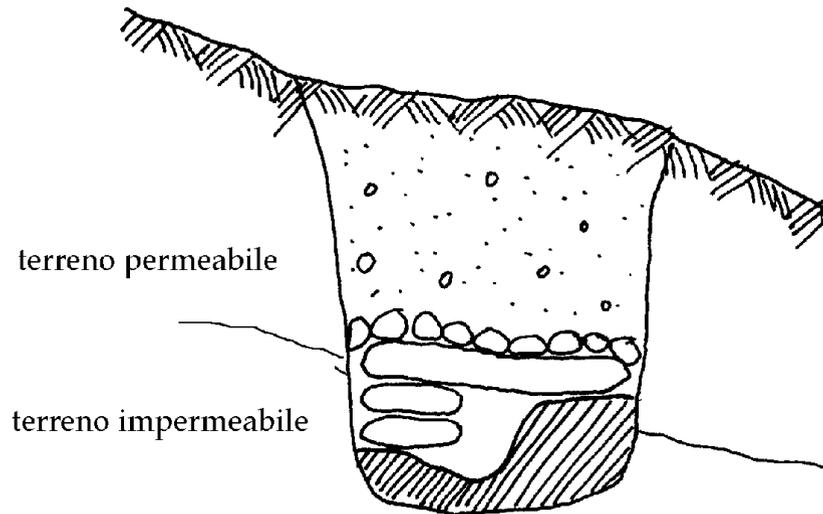
Drenaggi montani; tipologie di fossi coperti e riempiti di materiale drenante (a-b-c-d)



Drenaggio con fasciname vivo semplice (a) e doppio (b)



lungo la linea di  
max pendenza



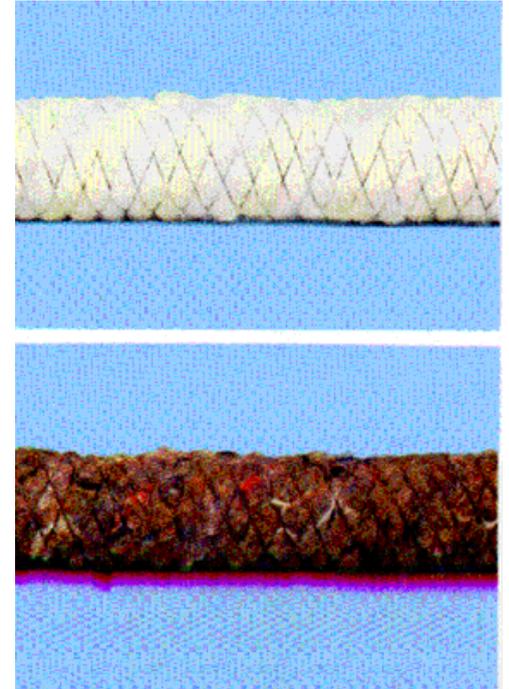
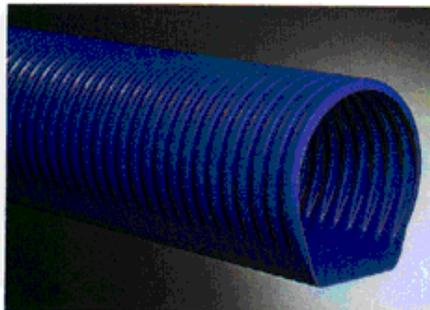
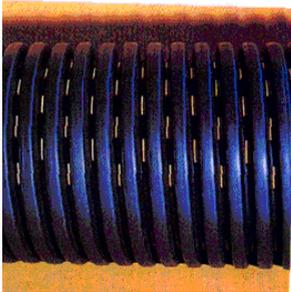
in costa

PE: polietilene (materia plastica ottenuta con un particolare trattamento dell'etilene).

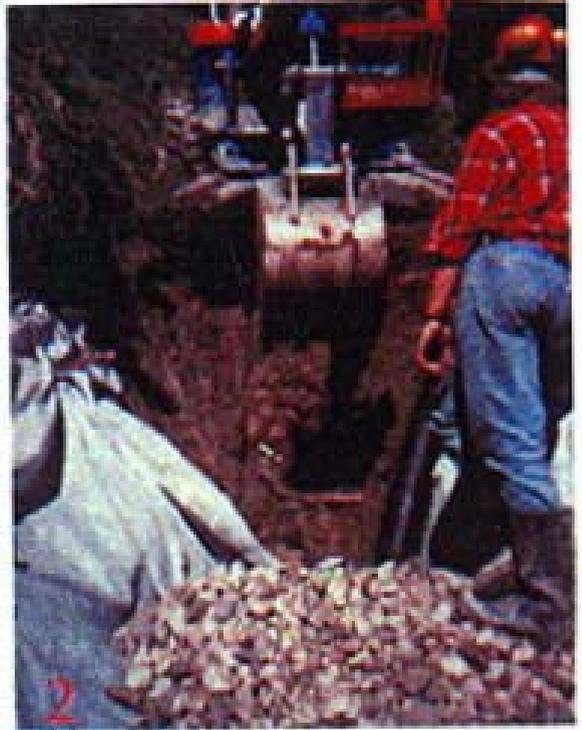
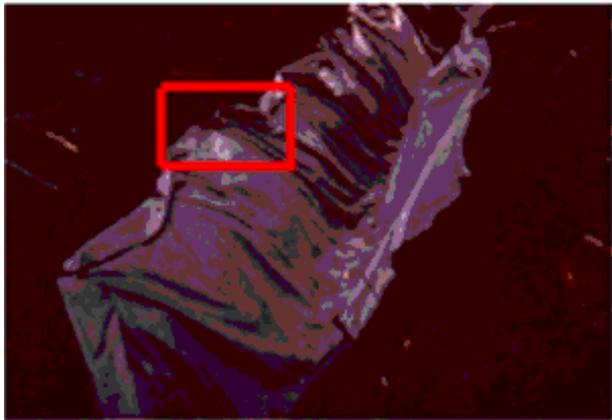
PEBD: polietilene bassa densità

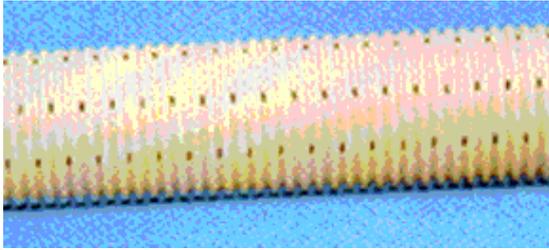
PEHD: polietilene alta densità.

PVC: polivinilcloruro ( resina sintetica).

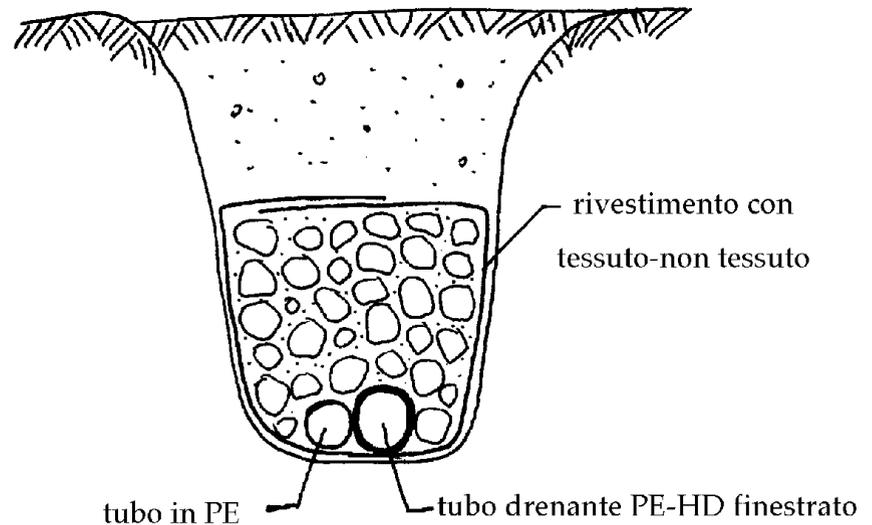
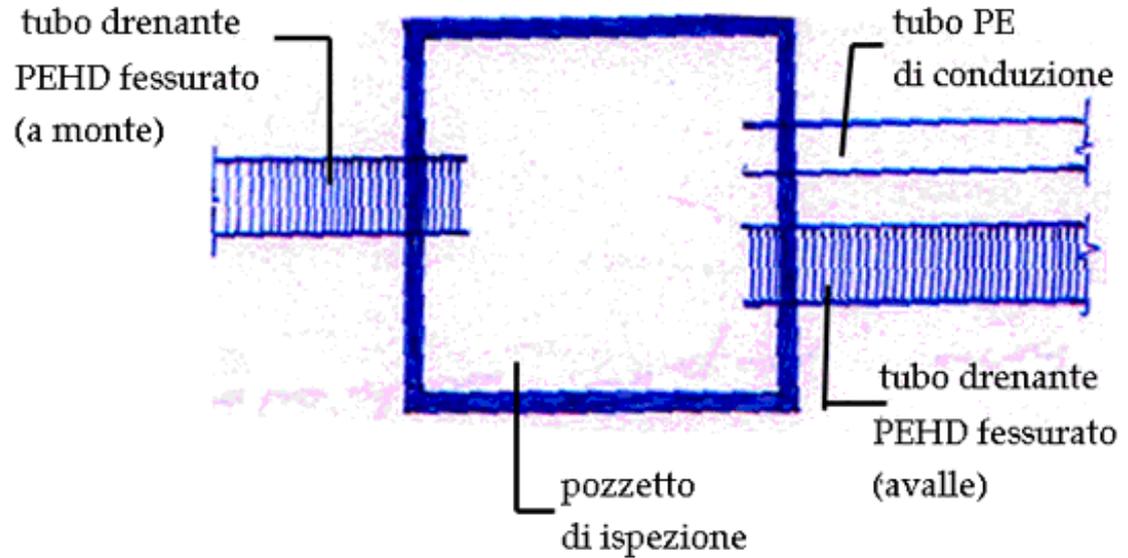


In generale, nel caso della sistemazione dei versanti franosi, le tipologie che maggiormente vengono utilizzate sono le tubazioni fessurate in PEHD (affiancate, in caso di elevate quantità d'acqua, da tubazioni in PE), i geocomposti (in caso di falde superficiali) e, in caso di linee di drenaggio abbastanza estese, tombini di ispezione.





Schema dell'inserizione delle tubazioni drenanti all'interno del pozzetto (è importante che vi entrino per almeno 10-15 cm). Da monte arriva una sola tubazione drenante, mentre a valle, oltre al tubo drenante, è presente una tubazione in PE. Questa ha la funzione di alleggerire il lavoro del tubo drenante nei casi di elevata presenza d'acqua.



Pozzetti: in calcestruzzo, in PE, in acciaio



# Difesa del suolo e strade forestali

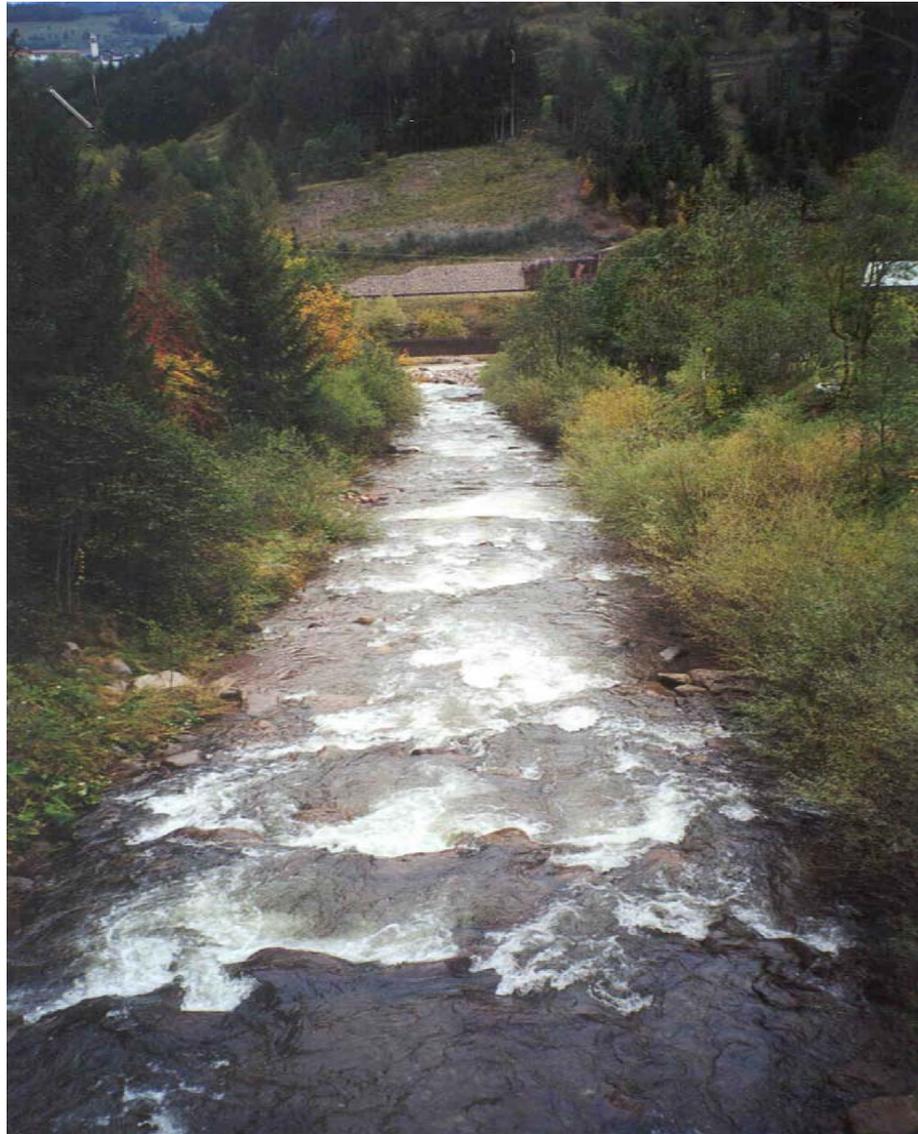




Vegetazione sulle sponde  
e capacità di conduzione







# ***EFFETTI della VEGETAZIONE nelle SEZIONI***

EFFETTI sul DEFLUSSO

AUMENTO della  
SCABREZZA

RIDUZIONE della  
VELOCITÀ

AUMENTO dei  
LIVELLI IDRICI

**RISCHIO di  
ESONDAZIONE**

RIDUZIONE della  
SEZIONE UTILE

AUMENTO  
DEI TEMPI DI  
CORRIVAZIONE

DEPOSITO di  
MATERIALE

EFFETTI sulla STABILITÀ delle  
SPONDE e del FONDO

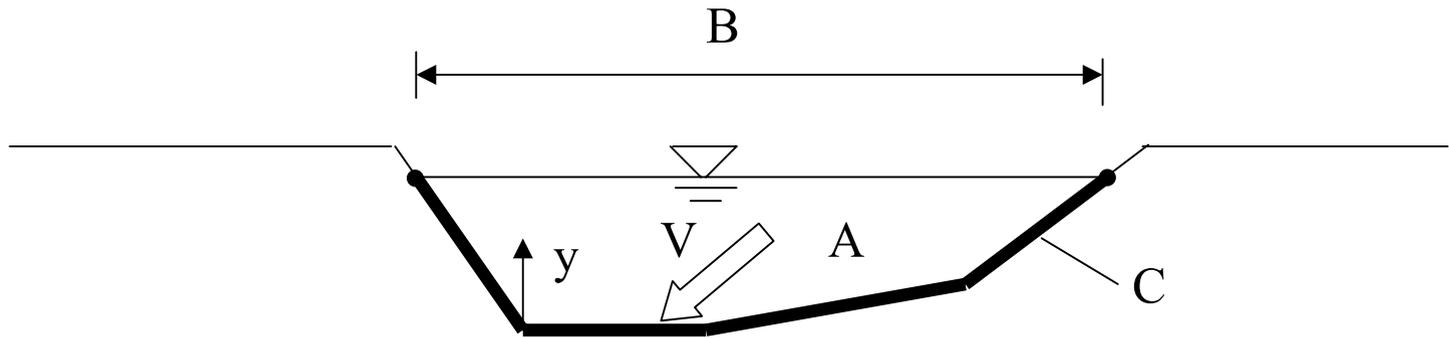
TRATTENUTA  
del TERRENO

RINFORZO  
MECCANICO

RIDUZIONE  
dell'EROSIONE

**STABILIZZAZIONE  
delle SPONDE**

# Caratteristiche delle correnti a pelo libero



## Terminologia

**A:** area liquida ( $m^2$ ); **C:** contorno bagnato (m); **B:** larghezza al pelo libero (m)

**R = A / C** raggio idraulico (m); **Y = A/B:** profondità idraulica (m)

**V:** velocità media della corrente (m/s)

**Q:** portata liquida ( $m^3/s$ ) ; **Q = V × A**

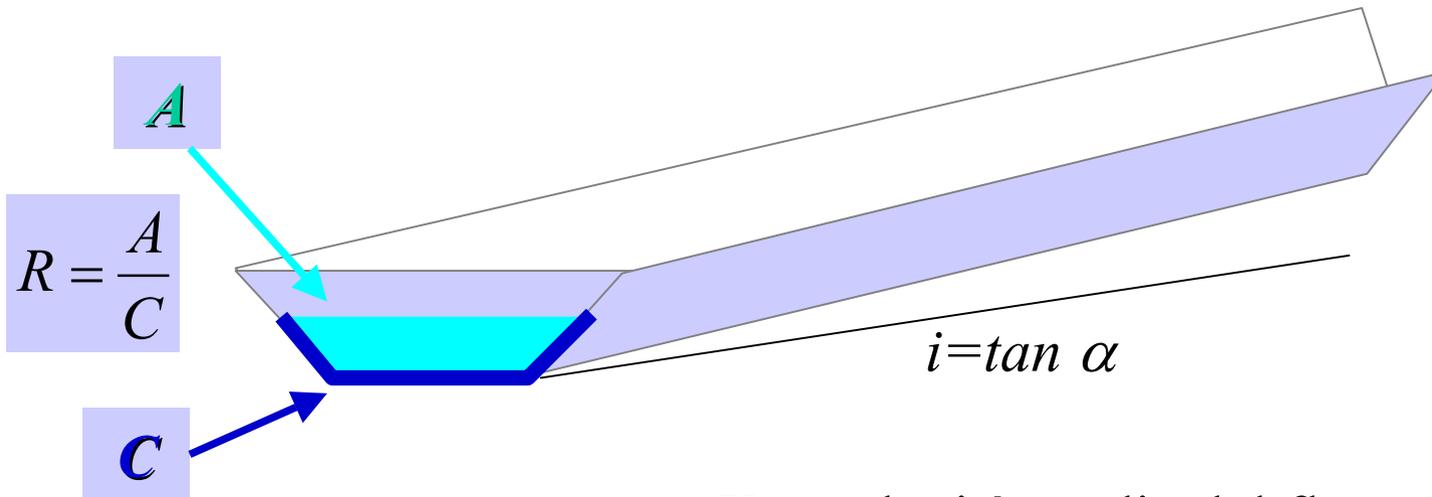
**q:** portata per unità di larghezza o portata unitaria ( $m^2/s$ )

# MOTO RETTILINEO UNIFORME

$$Q = V A$$

$$Q = A \frac{1}{n} R^{2/3} i^{1/2} = A \left( K_s R^{2/3} i^{1/2} \right)$$

coefficiente di scabrezza



$V$  = velocità media del flusso

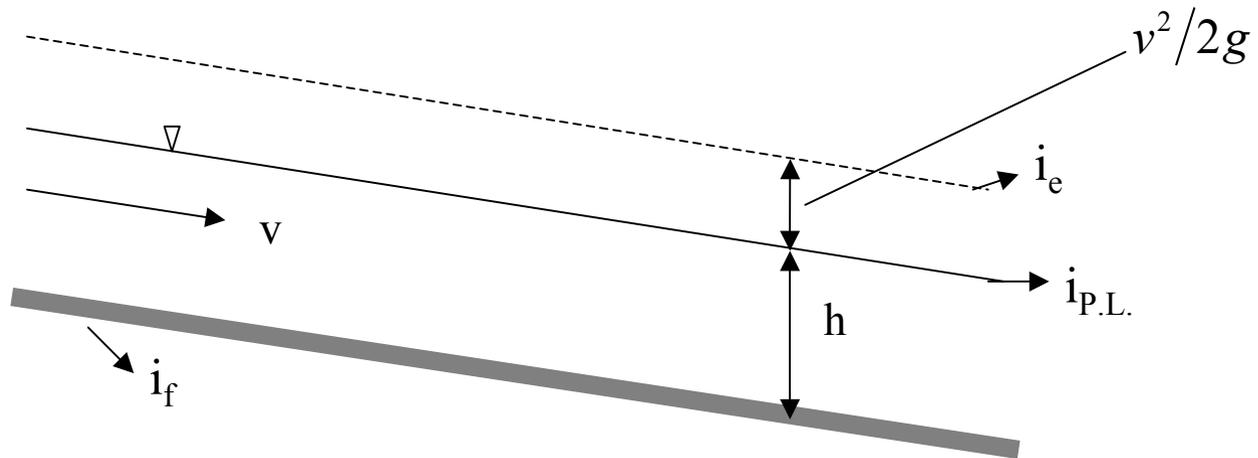
$n$  = coefficiente di scabrezza di Manning

$K_s$  = coefficiente di scabrezza di Strickler

# Resistenza a moto uniforme nei canali

- moto stazionario
- pendenza non elevata
- canale prismatico
- moto turbolento

**Equazione di  
Chezy (1775)**

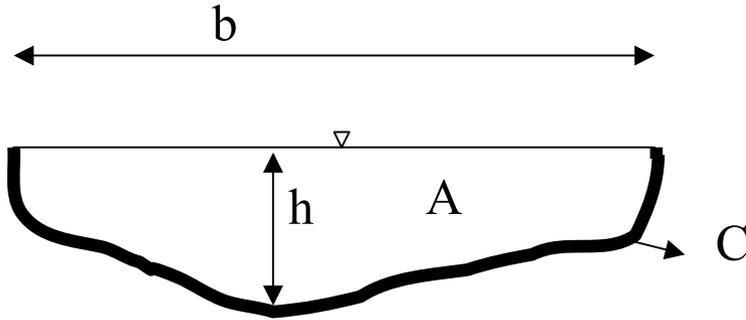


$V$  = velocità media

$g$  = accelerazione gravità (=9.81 m s<sup>-2</sup>)

Se il moto è uniforme allora  $i_f = i_{P.L.} = i_e$

Le dissipazioni energetiche per attrito sono definite come  $\tau_0 = K \rho V^2$



$\rho$  = densità

$\gamma$  = peso specifico dell'acqua

Queste dissipazioni coincidono con quelle prodotte da una corrente che “compensa” la gravità con uno sforzo tangenziale:

$$\gamma R_H i_F = K \rho V^2 \rightarrow V^2 = \frac{\gamma}{\rho} \frac{1}{K} R_H i_F$$

$$V = \left( \frac{\rho g}{\rho} \frac{1}{K} \right)^{1/2} \times \sqrt{R_H i_F}$$

$$\chi_{Chezy} = \left( \frac{g}{K} \right)^{1/2}$$

$$V = \chi \sqrt{R_H i}$$

## Secondo Manning-Strickler:

$$V = K_s R_H^{2/3} i_F^{1/2} \quad \text{se confronto con Chezy si ha:}$$

$$K_s R_H^{2/3} = \chi R_H^{1/2} \rightarrow \chi = K_s R_H^{\left(\frac{2}{3} - \frac{1}{2}\right)}$$

$$\chi = K_s R_H^{1/6} = \sqrt{\frac{8g}{f}} \quad K_s = 8.86 / (R_H^{1/6} f^{1/2})$$

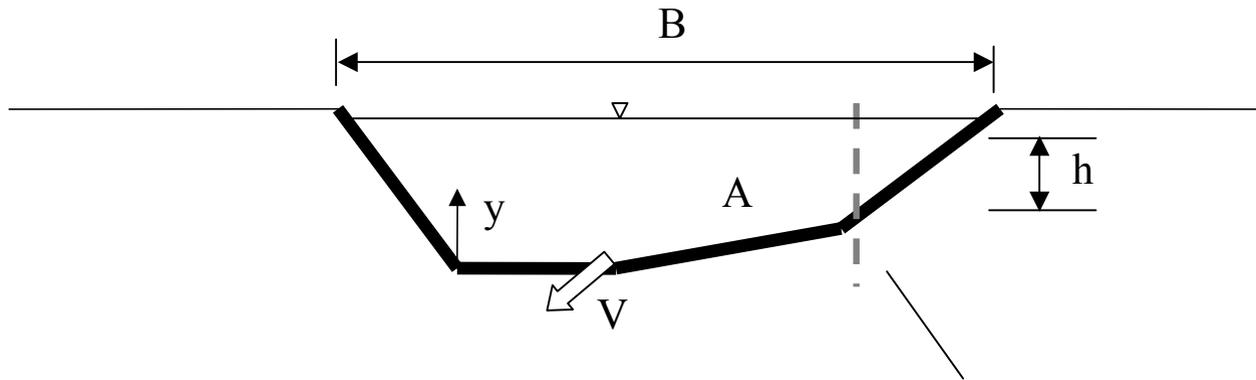
$$V = K_s R_H^{2/3} i_F^{1/2}$$

$$V = 1/n R_H^{2/3} i_F^{1/2}$$

$$V = \chi R_H^{1/2} i^{1/2}$$

**Relazioni  
analoghe:  
moto turbolento  
uniforme**

# Regime sub-critico ( $Fr < 1$ ) o supercritico ( $Fr > 1$ )



Numero di Froude = **Fr** : indice di cineticità

Froude locale  $Fr_1$

Froude globale **Fr**

$$Fr_1 = v / (g h)^{1/2}; v: \text{velocità media sulla verticale}$$

$$Fr = V / (g Y)^{1/2}; Y = A/B; V = Q/A$$

Nei **torrenti** si verifica frequentemente



- **$Fr_1 > 1$**  in più verticali
- **$Fr < 1$**  ( 0.5 - 0.9)

***RESISTENZE al MOTO in ALVEI  
con VEGETAZIONE***

- **ALVEI CON VEGETAZIONE ERBACEA**
- **ALVEI CON VEGETAZIONE ARBOREA**
- **ALVEI CON VEGETAZIONE ARBUSTIVA**

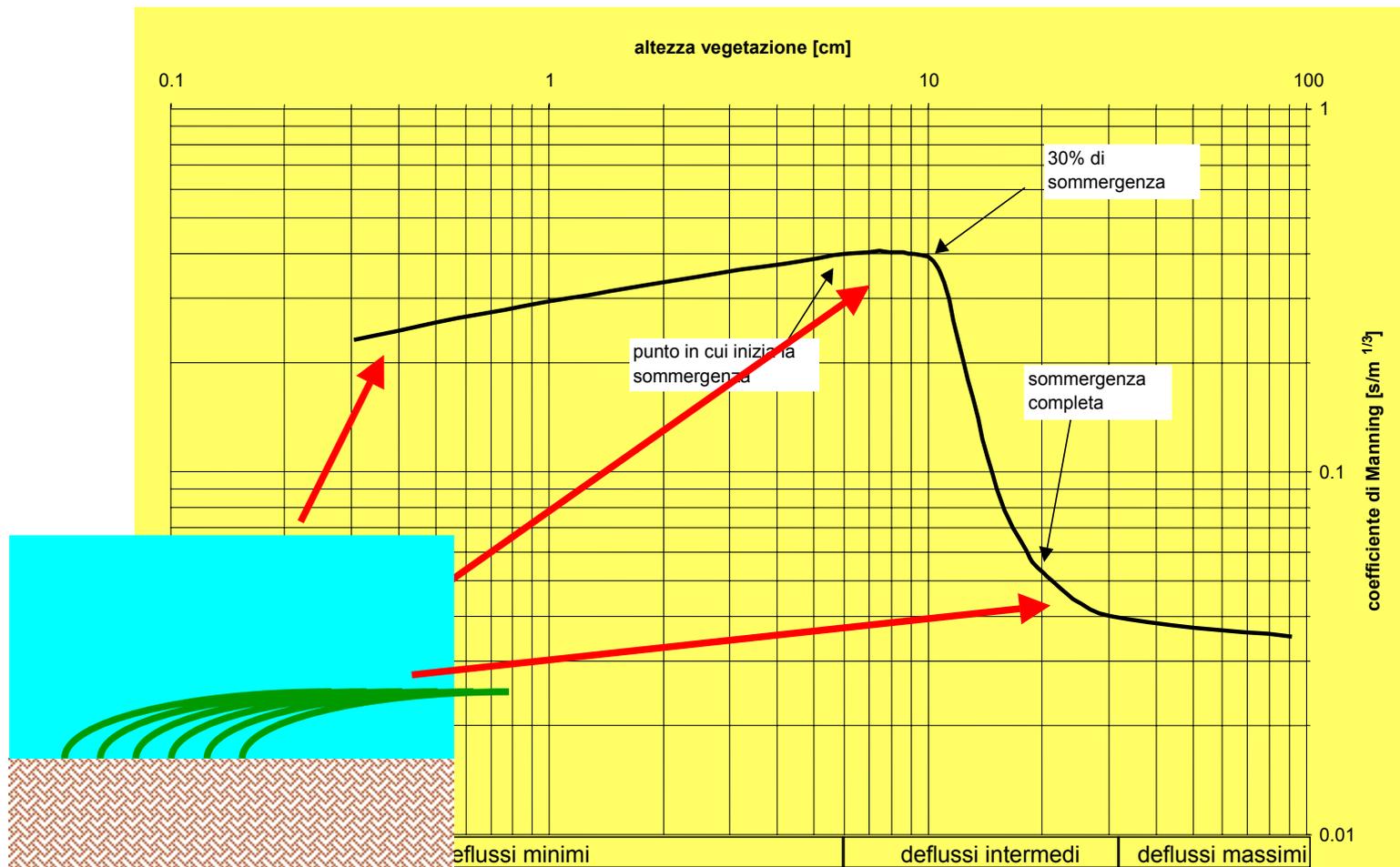
Valori medi di Manning  $n$

Materiali	$n$	$K_s$
<i>Metalli</i>		
Acciaio	0.012	83
Ghisa	0.013	77
Metallo corrugato	0.025	40
<i>Non metalli</i>		
Plexiglas	0.009	111
Vetro	0.010	100
Cemento	0.011	91
Calcestruzzo	0.013	77
Legno	0.012	83
Argilla	0.013	77
Opera in muratura	0.013	77
Misc. Sabbia e cemento	0.019	53
Pietrame	0.025	40
Pietra da taglio	0.035	28
<i>Corsi d'acqua naturali</i>		
Dritti e puliti	0.030	33
Fondo: ghiaia, ciottoli e massi	0.040	25
Fondo: ciottoli con massi grandi	0.050	20

—————> fino 5

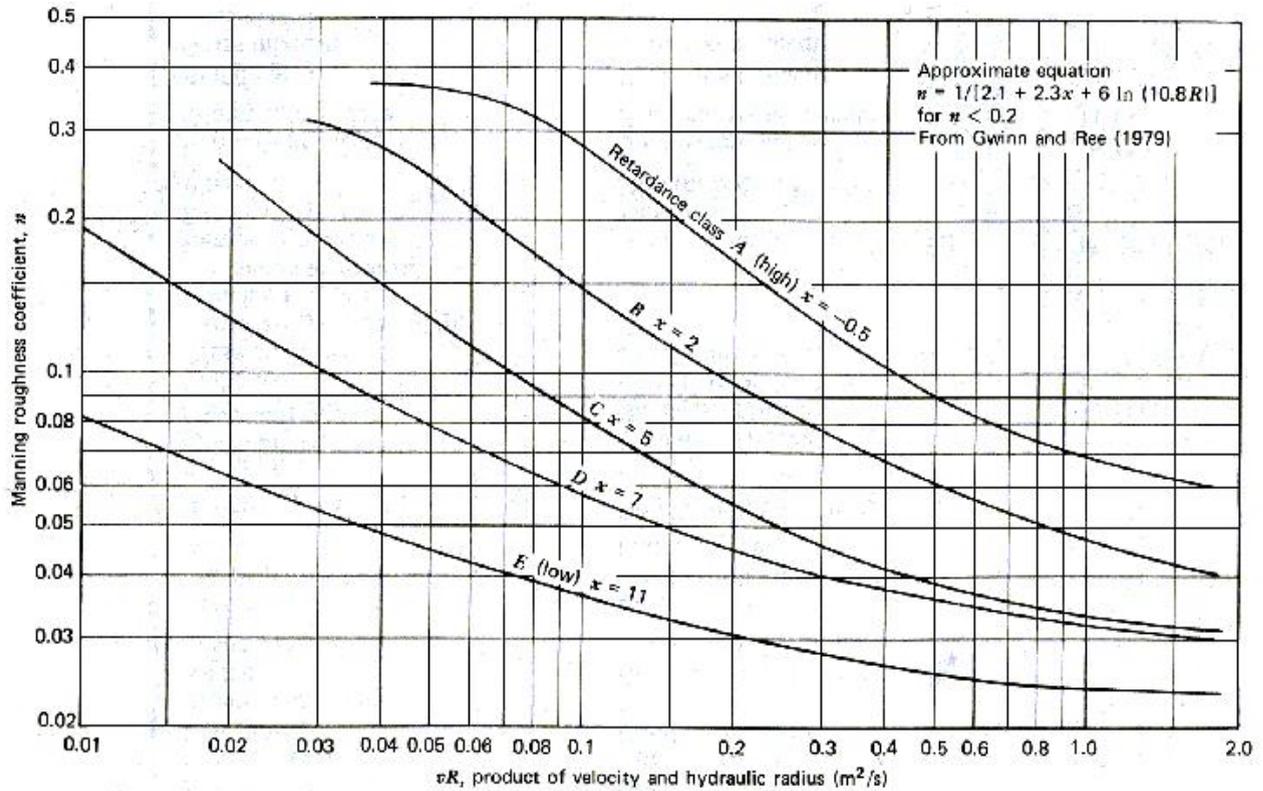
$n$  = direttamente proporzionale alla resistenza al moto

# RESISTENZE in ALVEI con VEGETAZIONE ERBACEA



vegetazione erbacea di media lunghezza (*Bermuda grass*) in un canale con pendenza del 5%

# ALVEI con VEGETAZIONE ERBACEA



$$n = \frac{1}{[2.08 + 2.30x + 6 \ln(10.8vR)]}$$

Classificazione del grado di resistenza fornito dalla  
vegetazione per varie specie erbacee  
(modificata da SCS; Rossi, 2003)

<b>RESISTENZA</b>	<b>SPECIE</b>	<b>STATO VEGETATIVO</b>
<b>A - Molto alta</b>	Eragrostis curvula	Eccellente (~ 75 cm)
<b>B - Alta</b>	Eragrostis curvula	Buono (30-60 cm)
	Cynodon dactylon (gramigna) Medicago Sativa (Erba medica)	Buono (~30 cm)
<b>C - Moderata</b>	Digitaria ischaemum (Sanguinella)	
	Cynodon dactylon (gramigna)	Buono (tagliata a 15 cm)
	Dactilis glomerata (erba mazzolina), Olium multiflorum (Loiessa)	Buono (15-20 cm)
<b>D - Bassa</b>	Cynodon dactylon (gramigna)	Buono (tagliata a 6 cm)
	Dactilis glomerata (erba mazzolina), Olium multiflorum (Loiessa)	Buono (10 cm)
<b>E - Molto bassa</b>	Cynodon dactylon (gramigna)	Buona (tagliata a 3-4 cm) o bruciata

<b>Nome americano</b>	<b>Nome scientifico</b>	<b>Nome comune</b>	<b>Famiglia</b>
Weeping love grass	Eragrostis curvula		
Yellow bluestem ischaemum			
Little bluestem	Andropogon scoparius		Poaceae
Kudzu		leguminosa rampicante	
<b>Bermuda grass</b>	<b>Cynodon dactylon</b>	<b>gramigna</b>	
Lespedeza sericea			Fabaceae
<b>Alfalfa</b>	<b>Medicago Sativa</b>	<b>Erba medica</b>	
Blue grama	Bouteloua gracilis		
<b>Craba grass</b>	<b>Digitaria ischaemum</b>	<b>Sanguinella</b>	<b>Graminaceae</b>
Common lespedeza			Fabaceae
<b>Orchad grass</b>	<b>Dactilis glomerata</b>	<b>Erba mazzolina</b>	
<b>Redtop</b>	<b>Agrostis alba</b>	<b>Agrostide, capellini</b>	<b>Graminaceae</b>
<b>Italian rye grass</b>	<b>Olium multiflorum</b>	<b>Loiessa</b>	
Centipede grass	Eremochloa ophiuroides		
Buffalo grass	Buchloe dactyloides		Graminaceae

# ASSEGNAZIONE SINTETICA: metodo di COWAN (1956)

$$\frac{1}{K_s} = n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5$$

$n_0$ : natura del materiale (sabbia, ghiaia, ...)

$n_1$ : grado di irregolarità della sezione

$n_2$ : variazione alterne della sezione  
alternanza di forma e dimensione

$n_3$ : grado di ostruzione

$n_4$ : **influenza della vegetazione**

$$n_{\max} = 0.33 \quad K_s = 3 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

$$n_{\min} = 0.022 \quad K_s = 45 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

## Natura del materiale interessato ( $n_0$ )

Natura della superficie	Diametro (mm)	Coefficiente n
Terreno compatto		0.02
Scavo in roccia		0.025
Sabbia grossolana	1-2	0.026-0.035
Ghiaia	2-64	0.028-0.035
Ciottoli	64-256	0.03-0.05
Massi	>256	0.04-0.07

Il grado di irregolarità della sezione si intende:

*liscio*: allorché si tratti del miglior grado di finitura ottenibile

*trascurabile*: per canali scavati, con scarse erosioni;

*moderato*: per canali scavati in condizioni non buone,  
con erosioni laterali;

*elevato*: per canali scavati con sezione irregolare o corsi  
d'acqua naturali con franamenti di sponda.

Grado di irregolarità della sezione ( $n_1$ )

Assente	0.000
Trascurabile	0.001-0.005
Moderato	0.006-0.01
Notevole	0.011-0.02

Per variazione di sezione si intende la variazione di forma e di dimensione che può avvenire secondo la scala di valori indicata (*graduale*, con alternanza *occasionale*, con alternanza *frequente*).

### Variazione alterne della sezione ( $n_2$ )

Graduale	0.000
Occasionale	0.001-0.005
Frequente	0.01-0.015

Le ostruzioni comprendono i depositi di materiali alluvionali, radici esposte, ceppaie, massi isolati, tronchi caduti o abbandonati.

Il grado di ostruzione può essere giudicato in base all'entità della riduzione percentuale dell'area bagnata, alle caratteristiche della ostruzione (oggetti a spigoli vivi provocano maggior dissipazione di energia di oggetti a forma arrotondata), la posizione e la distanza relativa fra gli oggetti.

Effetto relativo delle ostruzioni di sezione ( $n_3$ ) con riferimento alla percentuale di area bagnata occupata.

Trascurabile (< 5%)	0.000-0.004
Modesto (< 15%)	0.005-0.015
Apprezzabile (15 – 50%)	0.02-0.03
Notevole (> 50%)	0.04-0.05

L'influenza della vegetazione può essere giudicata secondo la seguente scala:

**scarsa:** erba fitta ma flessibile, allorché la profondità della corrente sia pari a 2-3 volte l'altezza della vegetazione; germogli di salice o pioppo con profondità della corrente pari a 3-4 volte l'altezza della vegetazione;

**media:** erba con profondità della corrente pari a 1-2 volte l'altezza degli steli; cespugli, moderatamente fitti, quali salici di 1-2 anni in stagione invernale lungo le sponde, senza vegetazione sul fondo e raggio idraulico superiore a 0.6 m;

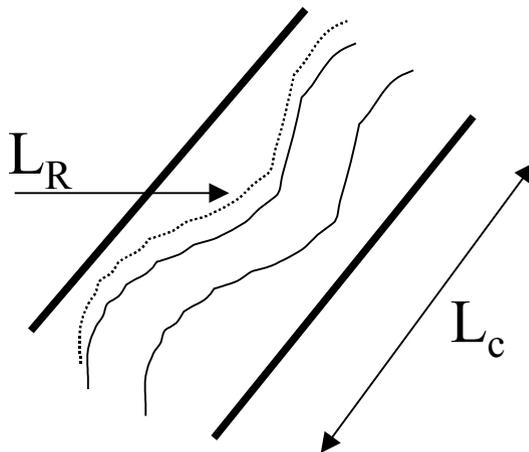
**elevata:** erba con profondità della corrente inferiore alla metà dell'altezza della vegetazione; salici e pioppi di 0-8 anni con erba e cespugli, ma senza fogliame e con raggio idraulico maggiore di 0.6 m; stesse condizioni ma, in stagione estiva con salici di un anno e cespugli lungo le sponde;

**molto elevata:** erba con profondità della corrente inferiore alla metà dell'altezza degli steli; cespugli di salice di un anno con erba sulle sponde, in pieno periodo vegetativo, erba fitta sul fondo e raggio idraulico fino a 3-4.5 m; gli alberi con cespugli ed erba in periodo vegetativo, con raggio idraulico fino a 3-4.5 m

## Influenza della vegetazione ( $n_4$ )

Scarsa	0.002 – 0.01
Media	0.01 – 0.025
Elevata	0.025 – 0.05
Molto elevata	0.05 - 0.1

La scelta del *coefficiente*  $m_5$  dipende dal rapporto fra lo sviluppo totale del corso d'acqua ed un percorso rettilineo (sinuosità). Si considera pertanto l'influenza dei meandri di entità trascurabile (valore del rapporto 1.0-1.2), apprezzabile ( 1.2-1.5), notevole ( $>1.5$ )

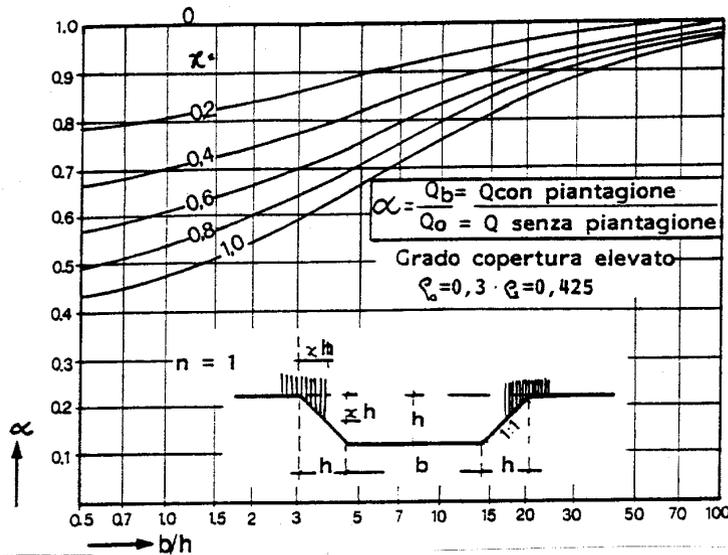


## Presenza dei meandri ( $m_5$ )

Trascurabile	1
Apprezzabile	1.15
Notevole	1.3

# Kauch (1984)

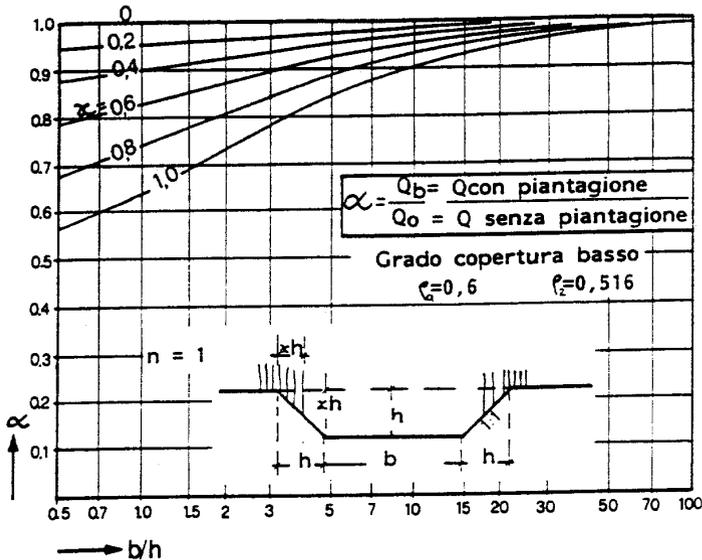
$$Q_{veg} = \alpha Q_{non\ veg}$$



Copertura ridotta: meno di  $\frac{50 \text{ rami salice}}{m^2}$

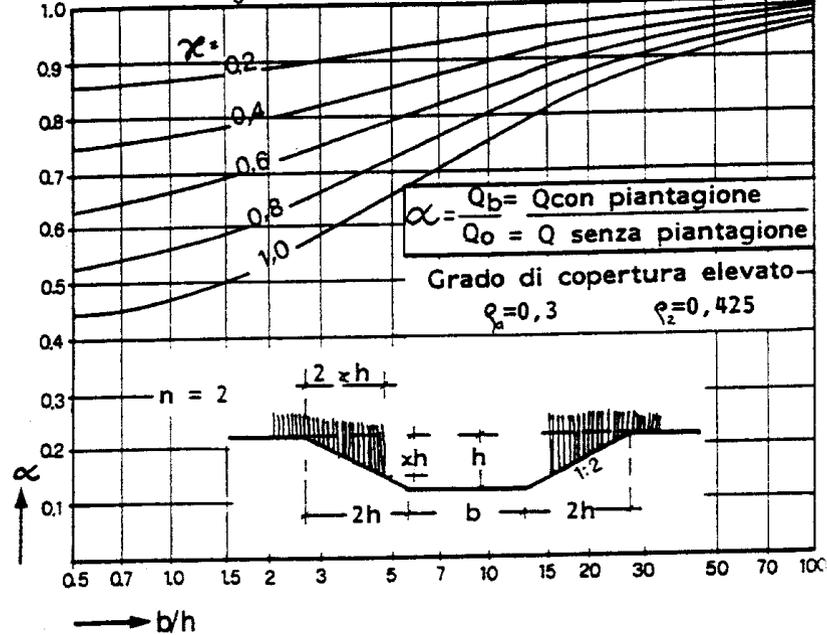
Copertura elevata:

per  $m^2$  100 rami di salice con foglie  
 200 rami di salice senza foglie

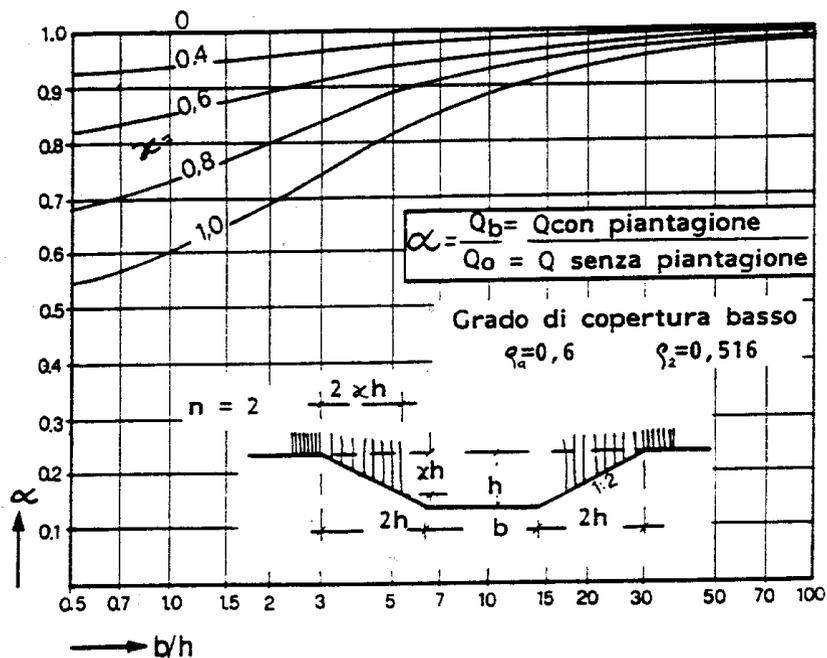


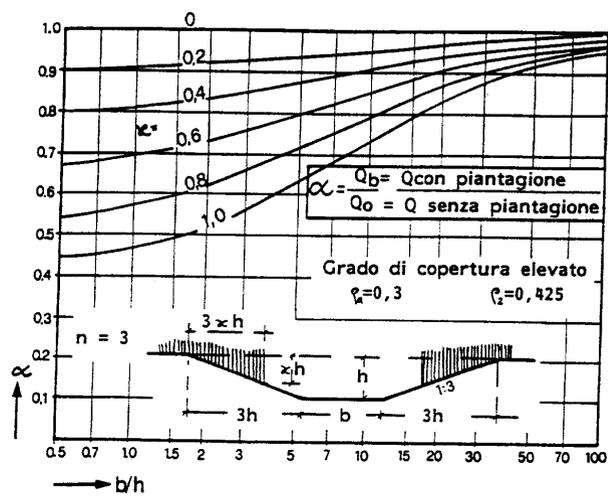
*Applicare con cautela per valori  $b/h > 10$*

Stesso diagramma ma nel caso di sponde con scarpa 2:1 e grado di copertura vegetazionale elevato

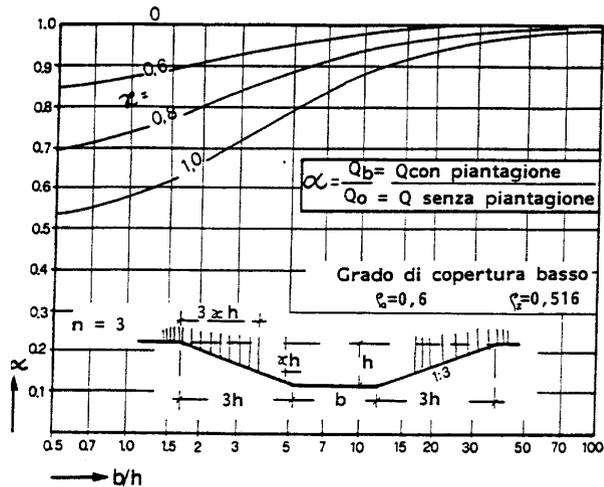


Stesse caratteristiche delle sponde ma con grado di copertura vegetazionale basso

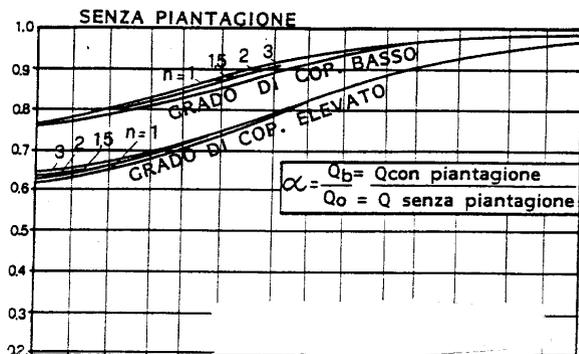




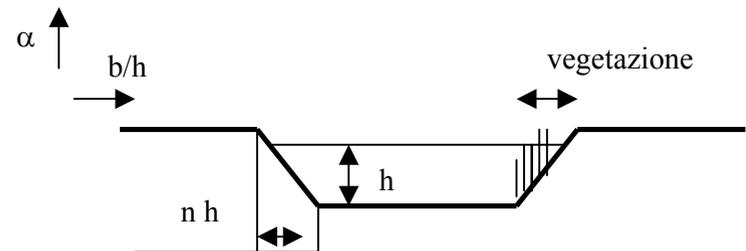
Stesso diagramma dei precedenti solamente nel caso di sponde con pendenza di rapporto 1:3 ed in parte con grado di copertura vegetazionale elevato



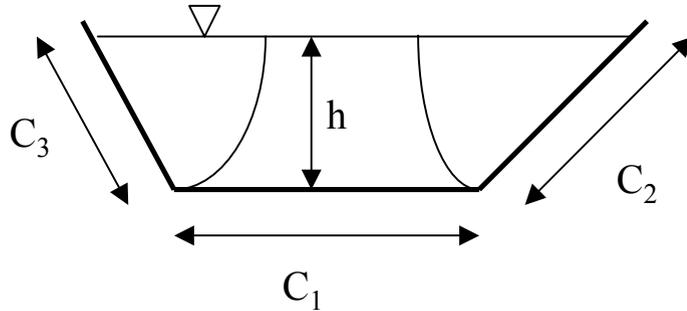
Stesse caratteristiche delle sponde, ma con grado di copertura vegetazionale basso.



Influenza della geometria della sezione (b, n, h) sulla capacità di deflusso di una semplice sezione trapezoidale con completa piantagione di una sola sponda.



## Scabrezza variabile sul contorno : vegetazione sulle sponde



$$C_2 \text{ e } C_3 = f(h)$$

**IPOTESI**

$$\bar{v}_i = v = \text{velocità media}$$

$$K_i R_i^{2/3} = K_e R^{2/3} \quad R_i = (K_e / K_i)^{3/2} R$$

$$A = \sum c_i R_i = \sum c_i \left( \frac{K_e}{K_i} \right)^{3/2} R = R C$$

$$K_e = \frac{C^{2/3}}{\left( \sum c_i / K_i^{3/2} \right)^{2/3}}$$

scabrezza “equivalente” per  
tutto il contorno

EINSTEIN (1934)

## Scabrezza variabile sul contorno: altre formulazioni

$$n_e = \left[ \frac{1}{C} \sum \left( n_i^2 C_i \right) \right]^{1/2}$$

PAVLOSKII (1993)

$$n_e = \frac{C R^{2/3}}{\sum \frac{c_i R_i^{5/3}}{n_i}}$$

LOTTER (1993)

## Resistenza al moto del letto: Bathurst (1985)

valida per  $0.3 < R/D_{84} < 50$

$$(8/f)^{1/2} = 5.62 \log_{10}(R/D_{84}) + 4 = \frac{\chi}{\sqrt{g}}$$

$$K_s = \frac{8.86}{R^{1/6} f^{1/2}}$$

Moto rettilineo uniforme

$$Q = A K_s R^{2/3} i^{1/2}$$

$$Q = A \chi R^{1/2} i^{1/2}$$

$$Q = \left( 17.6 \log \frac{R}{D_{84}} + 12.5 \right) R^{1/2} i^{1/2} A = \chi R^{1/2} i^{1/2} A$$
$$\chi = K_s R^{1/6}$$

*A*: area liquida

*C*: contorno bagnato

*R*: raggio idraulico

*i*: pendenza linea energia

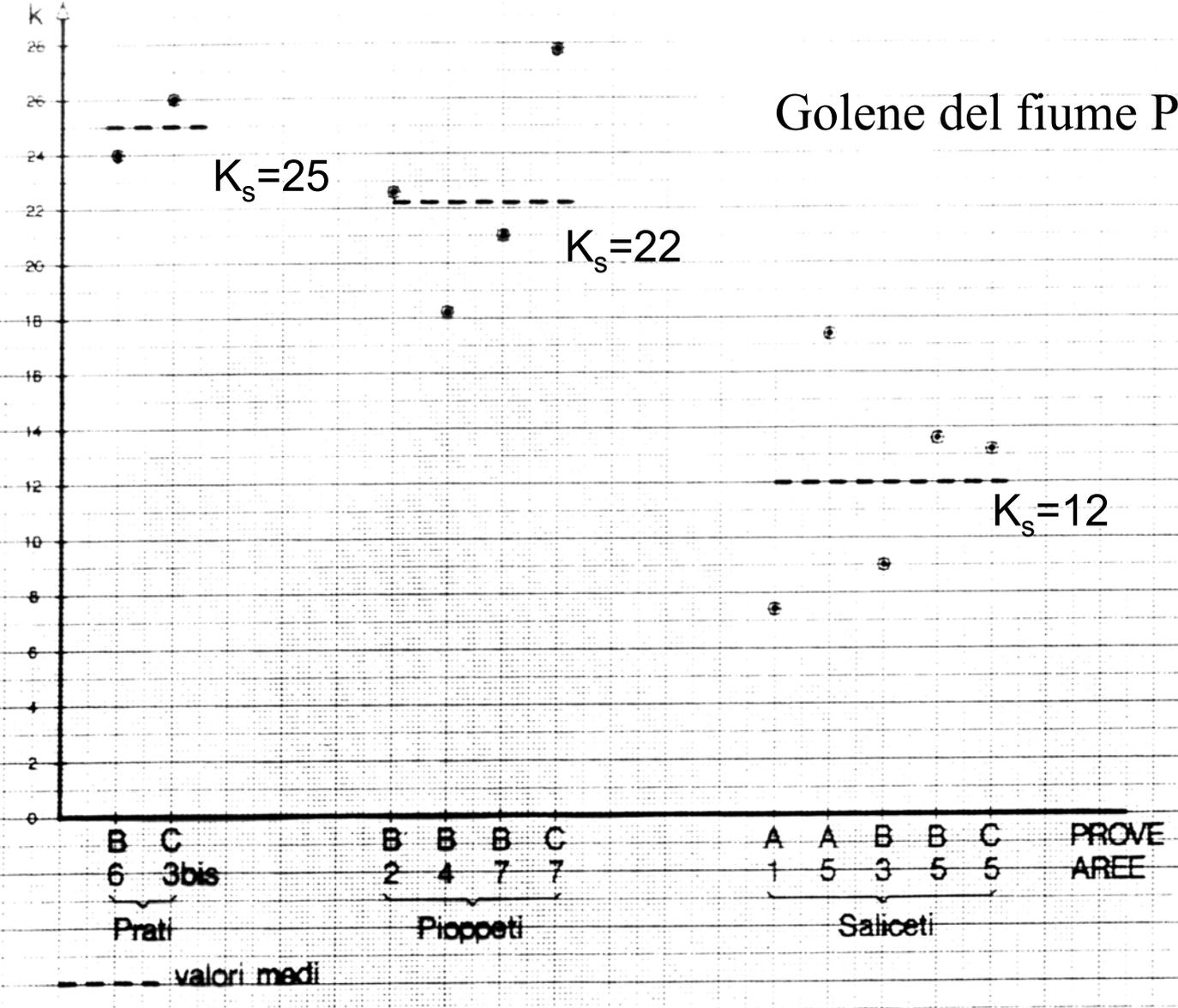
*K<sub>s</sub>*: scabrezza di Strickler

*χ*: scabrezza di Chezy

# Resistenza di sponde vegetate

		n (s/m <sup>1/3</sup> )	K <sub>s</sub> (m <sup>1/3</sup> /s)
Alto fusto	Solo tronchi	0.06	16.7
	Alcuni rami	0.07	14.3
	Rami	0.08	12.5
Arbusti completamente sommersi	Radi	0.07 - 0.10	14.3 – 10.0
	Fitti	0.15 - 0.20	6.7 – 5.0
Arbusti non completamente sommersi	Radi	0.08 - 0.11	12.5 – 9.1
	Fitti	0.20 - 0.40	5.0 – 2.5
Erba < 5 cm	fine lavori	0.04	25.0
Erba > 5 cm	a regime	0.05	20.0

# Golene del fiume Po



# Un esempio

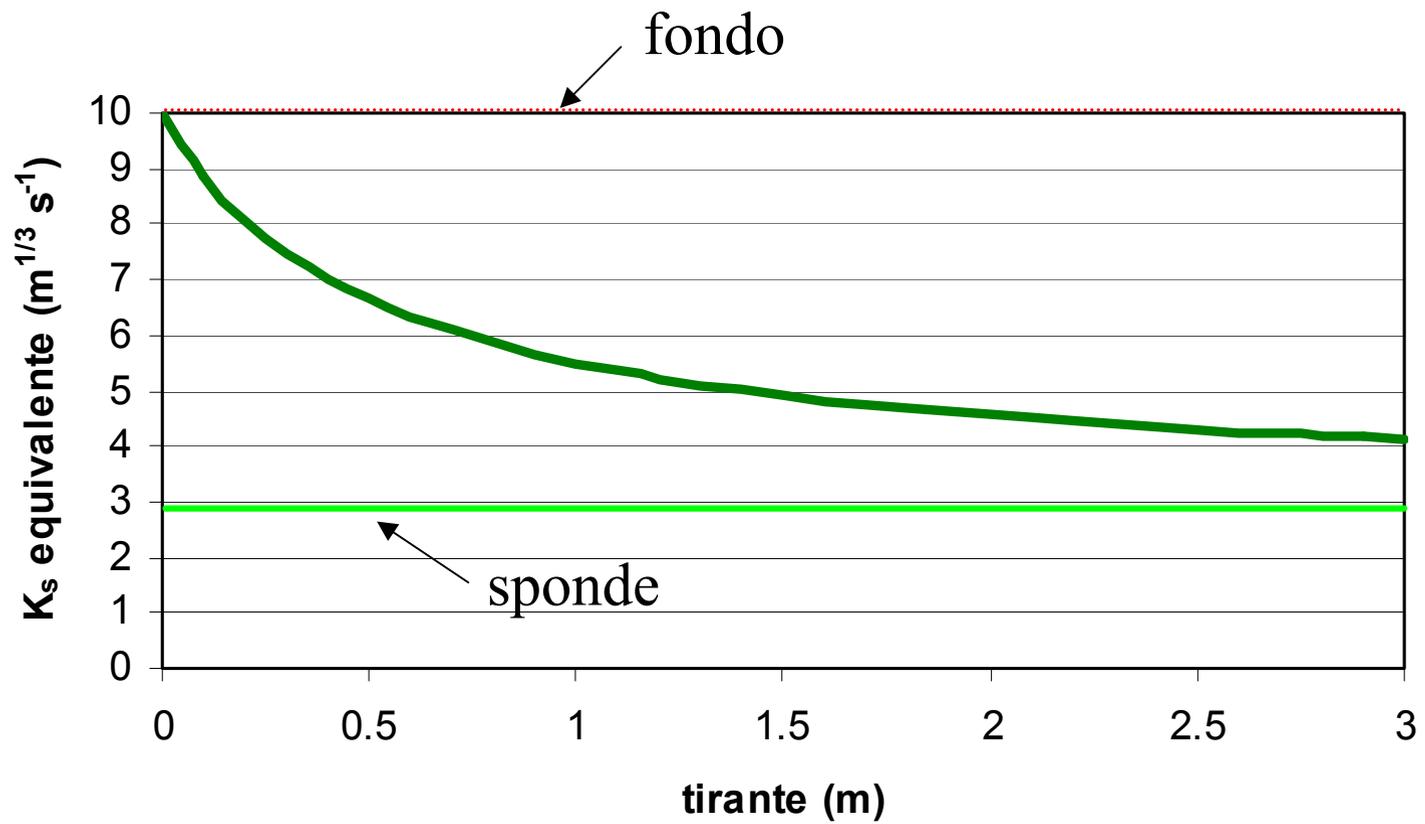
**Sezione rettangolare larga 5 m**

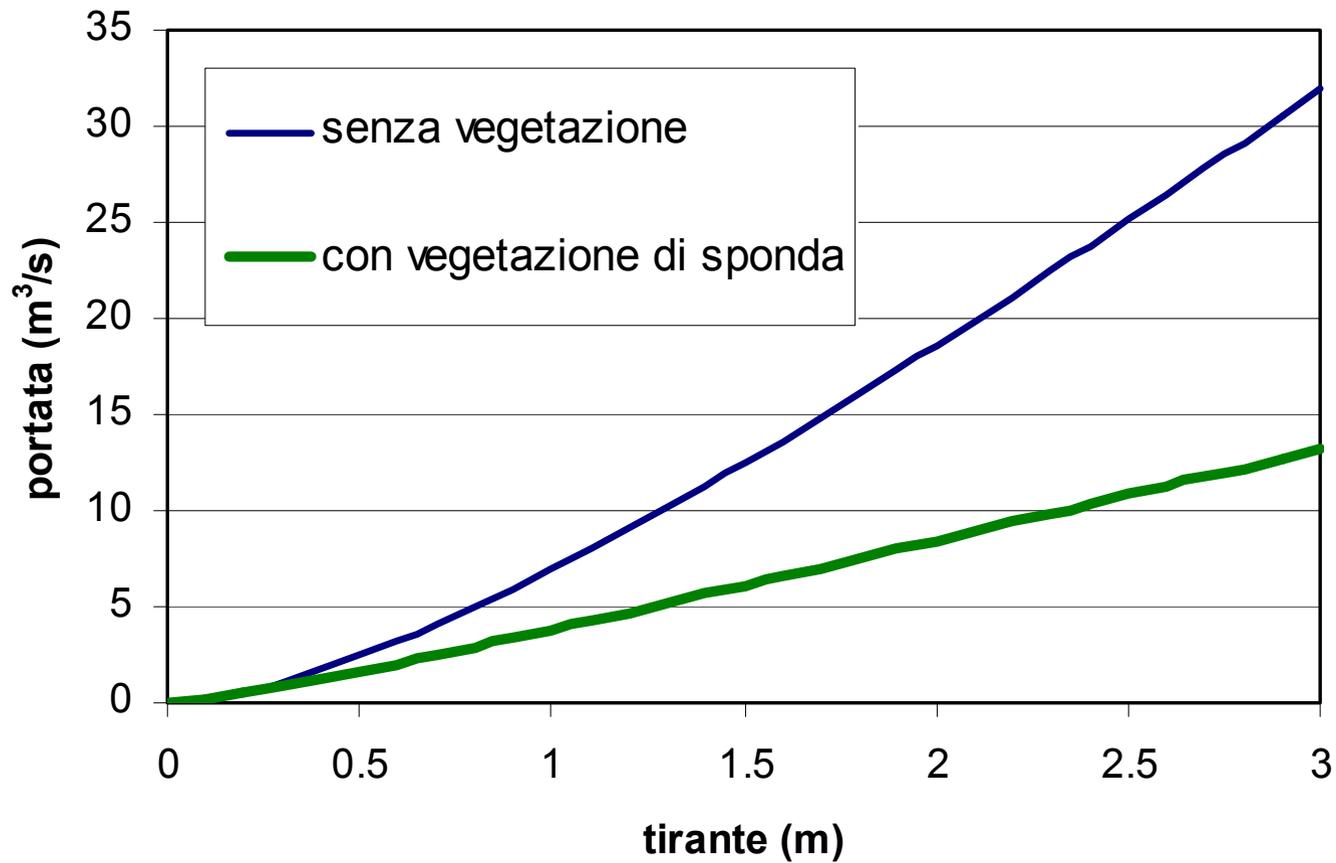
**Pendenza del fondo 3%**

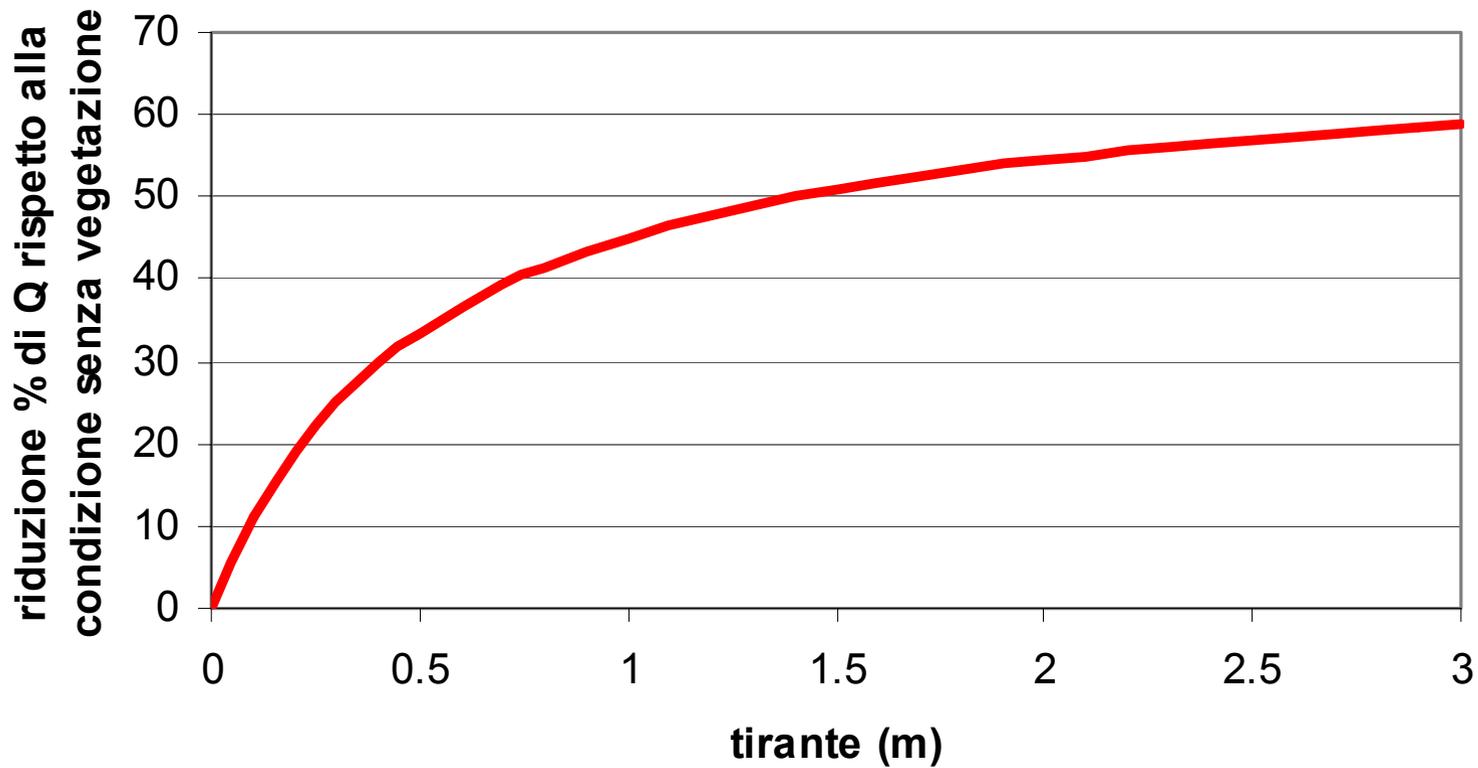
**Scabrezza sul fondo:  $10 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$**

**Scabrezza delle sponde vegetate:  $3 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$**

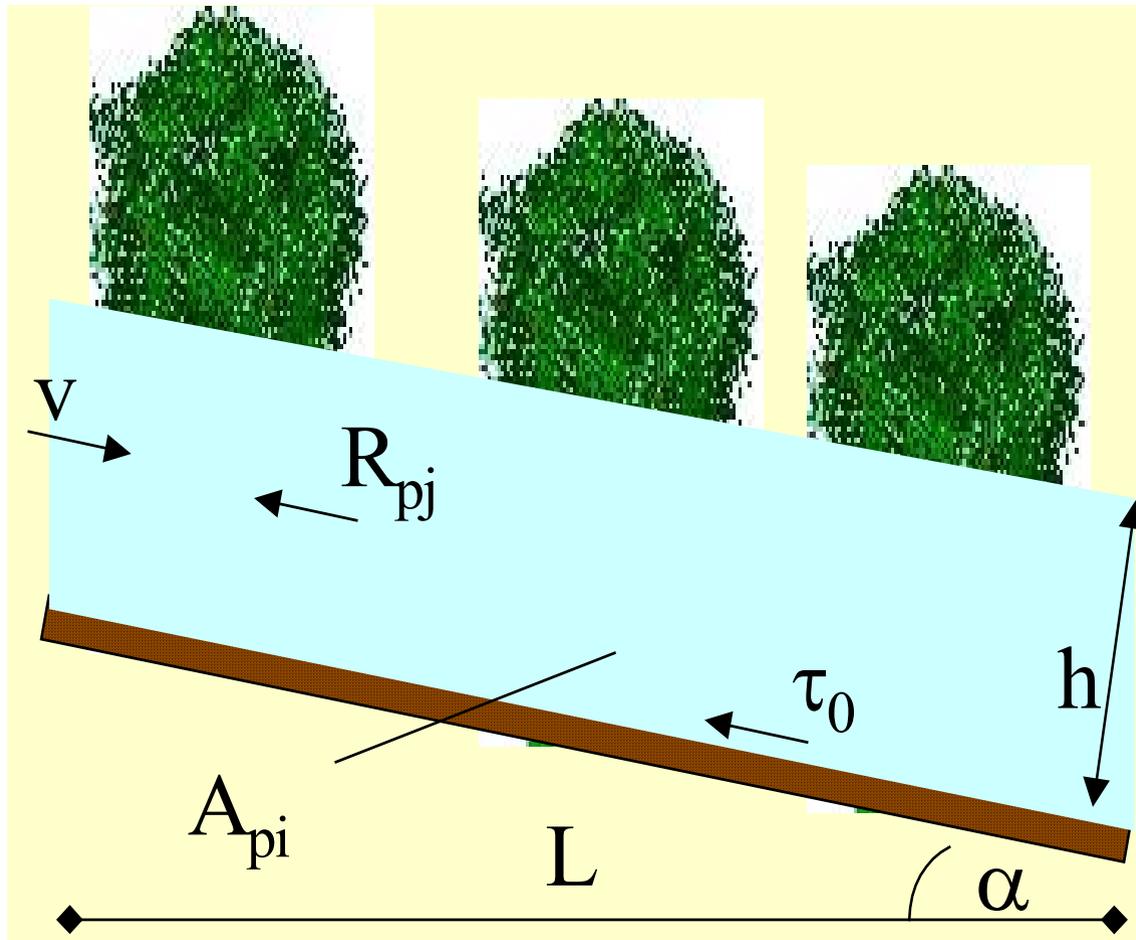
**Applichiamo Einstein (1934)**



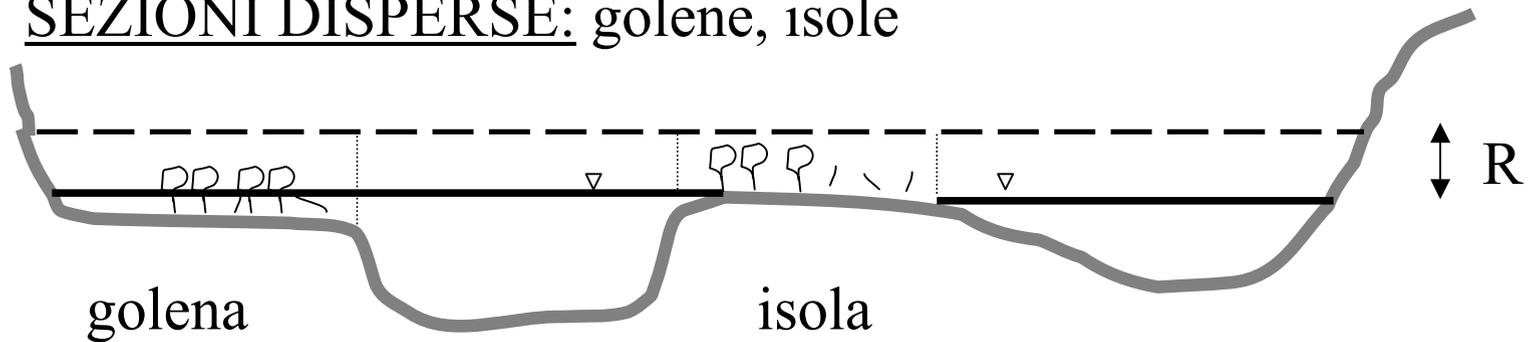




# *ALVEI con VEGETAZIONE ARBOREA*



## SEZIONI DISPERSE: golene, isole

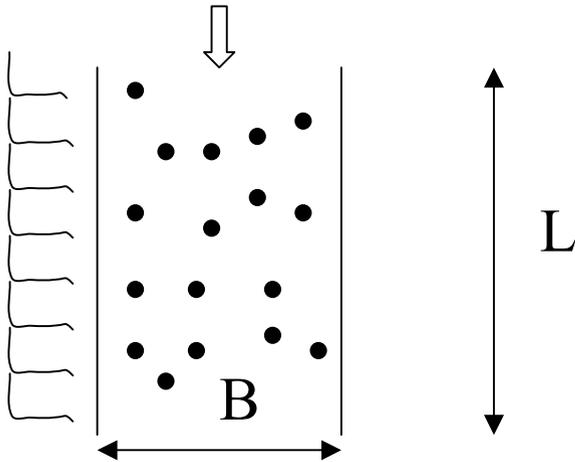


*Come si può calcolare  $n$  nel caso di sottosezioni con vegetazione?*

$L$  = lunghezza del tratto (min 15 m)

$a_i$  = superficie verticale

$a_i \cong R d_i$  ( $d_i$  : diametro tronco)



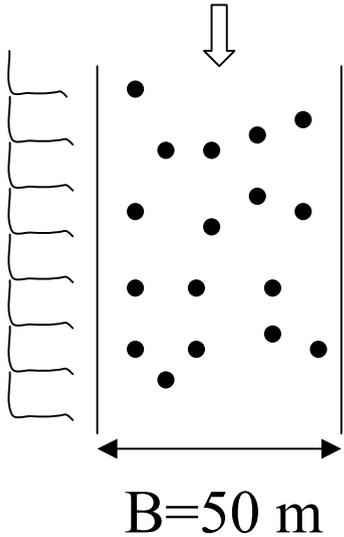
$A = B \times R$  ( area liquida)

$C^* = -11.72 \times R + 21.2$

valida per  $R < 1.8$  m

$$n = n_0 \left( 1 + \frac{C^* \sum_i a_i}{2 g A L} \times \frac{1}{n_0^2} \times R^{4/3} \right)^{1/2}$$

Federal Highway Administration, 1984



$$n_0=0.025 \quad (K_s=40)$$

$$R=1 \text{ m}$$

$$L=30 \text{ m} \quad d_i=0.3 \text{ m (66 tronchi)}$$

$$C^* = -11.72 \times R + 21.2 \quad (\text{coeff. resist. idrod.})$$

$$C^* = -11.72 \times 1 + 21.2 = 9.48$$

$$n = n_0 \left( 1 + \frac{C^* \sum_i a_i}{2 g A L} \times \frac{1}{n_0^2} \times R^{4/3} \right)^{1/2}$$

$$n = 0.025 \left( 1 + \frac{9.48 \times (66 \times 0.3)}{2 \times 9.81 \times 50 \times 1 \times 30} \times \frac{1}{0.025^2} \times 1^{4/3} \right)^{1/2} = 0.084$$

$$K_s = 1/n = 12$$