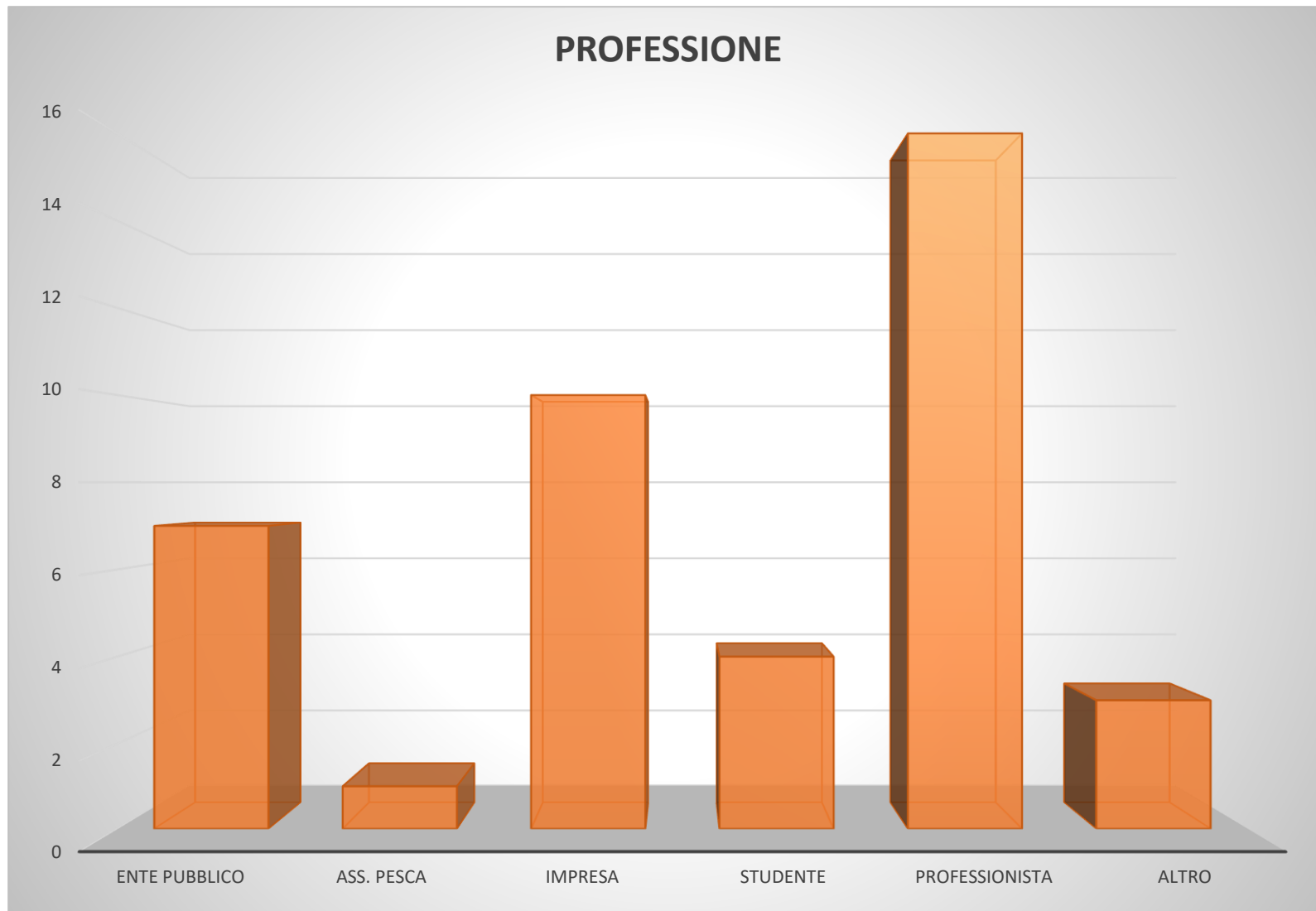


“Progettare con i principi dell’Ingegneria Naturalistica”

Cenni di dinamica dei corsi d’acqua e di idraulica fluviale

Gian Battista Bischetti

bischetti@unimi.it



Direttiva Quadro

Acque: idromorfologia
come una componente
della qualità del corso
d'acqua



Direttiva Alluvioni:

identificazione di misure
per mitigare i pericoli
dovuti alle piene



Direttiva "Habitat" e Direttiva "Uccelli"

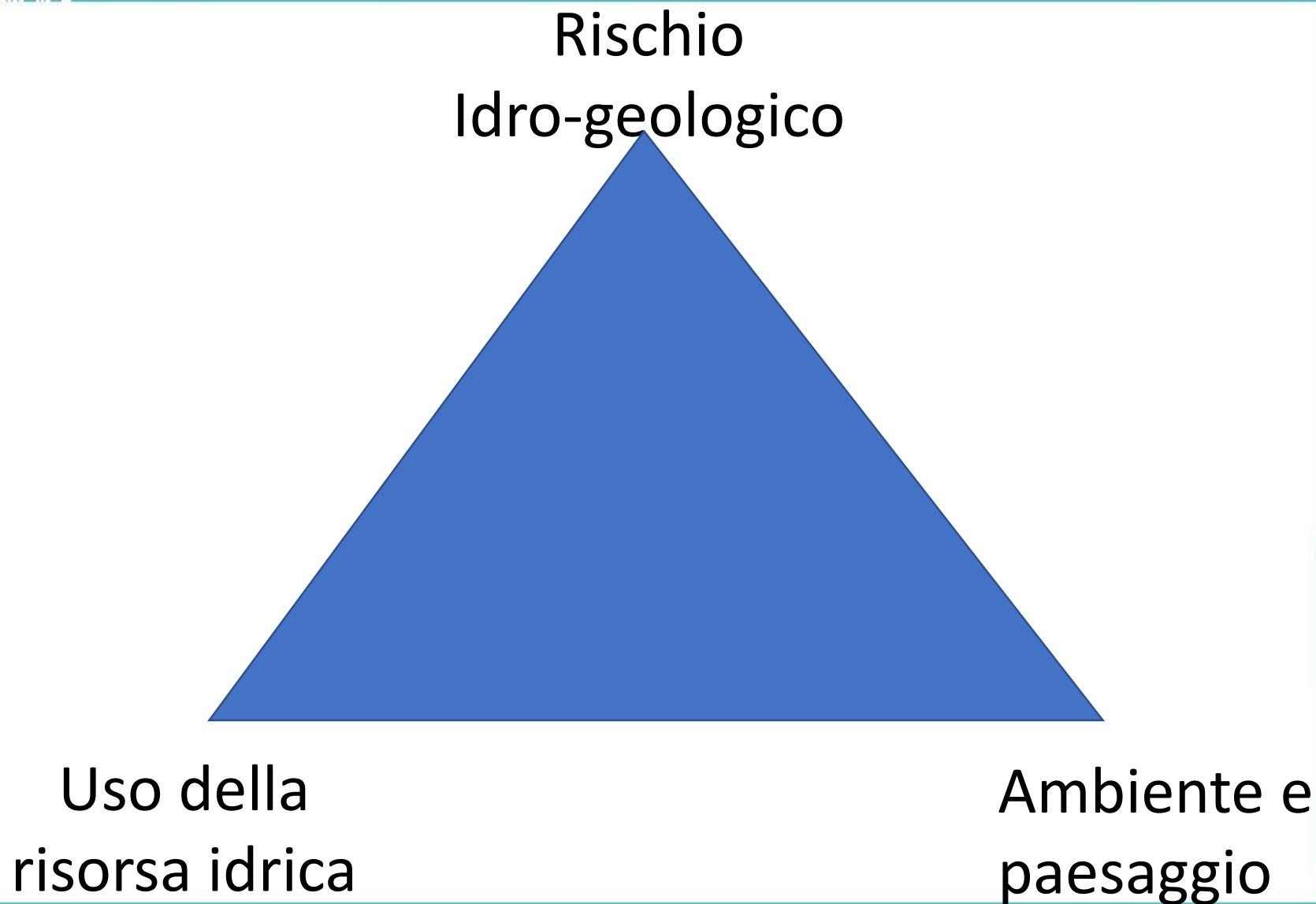
Conservazione degli habitat
naturali



Obiettivi potenzialmente in conflitto:

- Qualità

- Sicurezza



Evento alluvionale



Progettazione interventi



Realizzazione opere



Valutazione impatti
ex-post

*Modellazione
idraulica*



*Indicatori
biologici*



- *Assenza di pianificazione* integrata a scala di sottobacino
- Si è agito sulla pericolosità e non sugli altri ingredienti del rischio (*vulnerabilità non ridotta*)
- Falsa sicurezza trasmessa agli amministratori ed alla popolazione (*rischio residuo non comunicato !*)
- Opere spesso realizzate senza tener conto dell'interazione tra processi in alveo, sulla piana e sui versanti (*eventi di progetto non realistici !*)
- Crescente artificializzazione dei corsi d'acqua ma impatti negativi «non misurati» (*indicatori non corretti !*)



L'Ingegneria Naturalistica è “una tecnica costruttiva che si avvale di conoscenze biologiche nell'eseguire costruzioni in terra ed idrauliche e nel consolidare versanti e sponde instabili. Per questo scopo è tipico l'impiego di piante e di parti di piante, messe a dimora in modo tale da raggiungere nel corso del loro sviluppo, sia da sole, come materiale da costruzione vivo, sia in unione con materiale da costruzione inerte, un consolidamento duraturo delle opere. L'ingegneria naturalistica non va intesa come alternativa, ma come complemento necessario e significativo ai modi di costruzione ingegneristici, puramente tecnici.” (von Kruedener, 1951 cit. Schiechl e Stern, 1992).

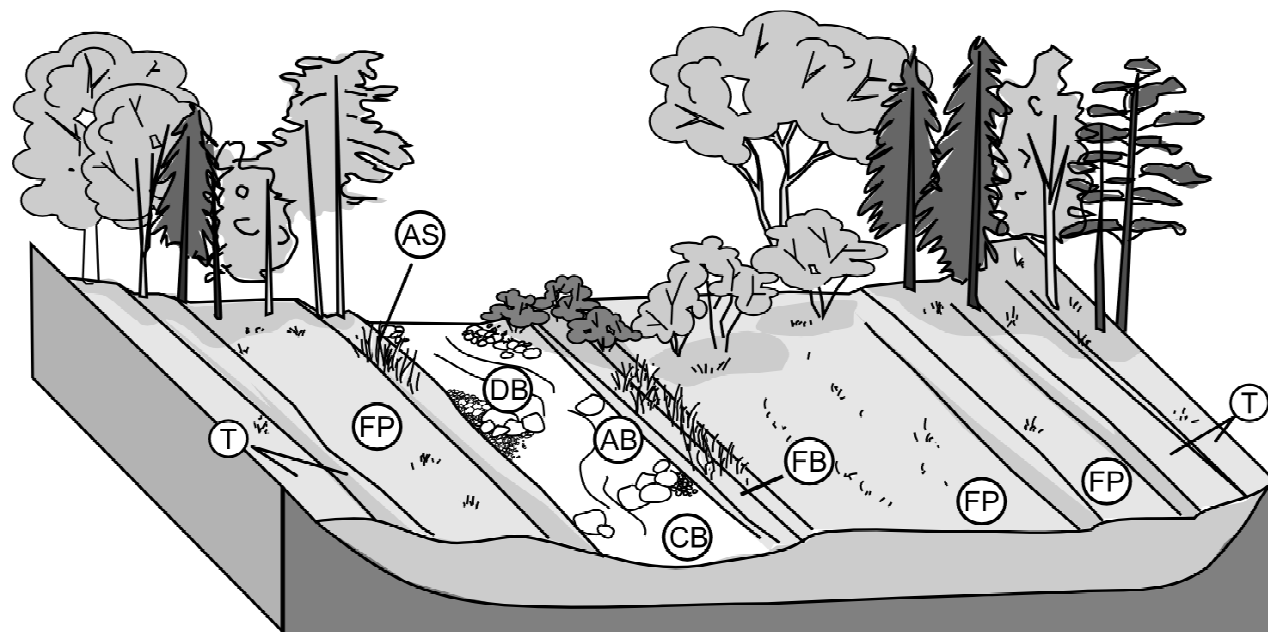
Come funziona un corso d'acqua

Tipologie di fondo

A seconda del materiale che costituisce il fondo si distinguono:

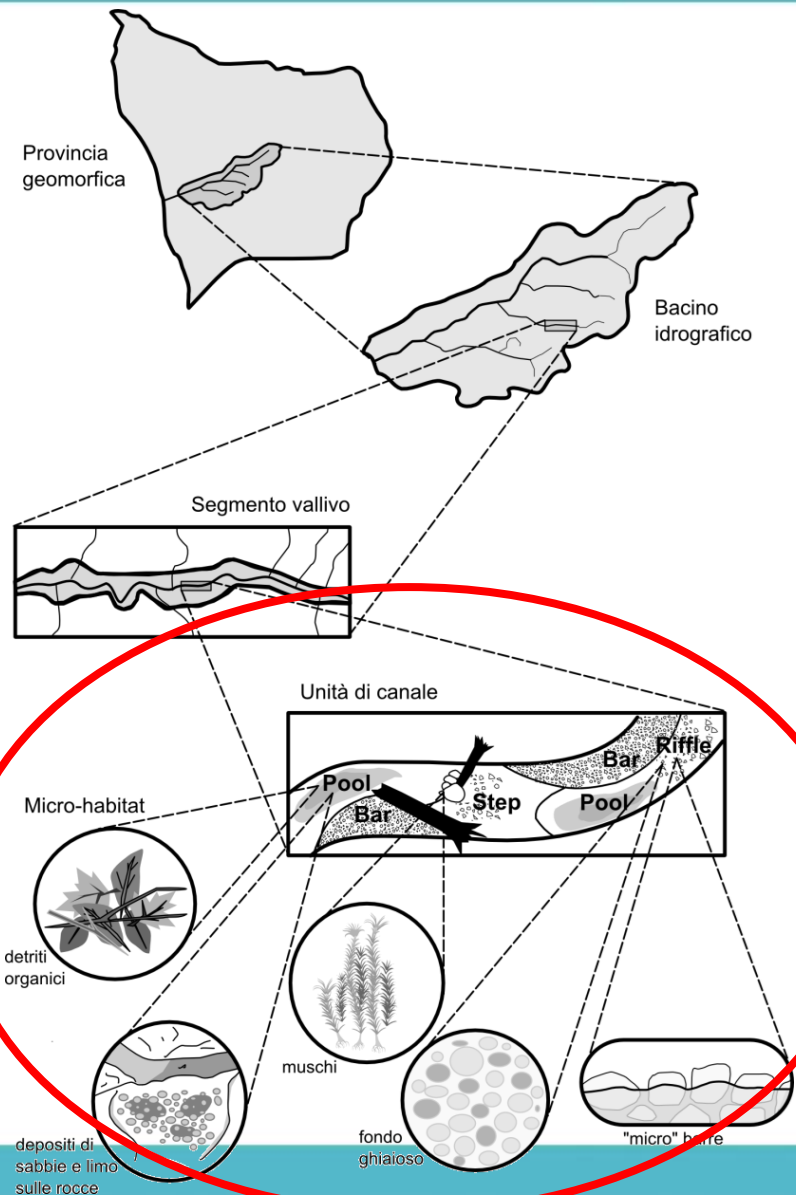
1. tratti colluviali
2. tratti a fondo roccioso
3. tratti alluvionali

L'alveo e la piana alluvionale si sono auto-formati su sedimento non consolidati o debolmente consolidati attraverso l'erosione delle sponde e il deposito del materiale trasportato.



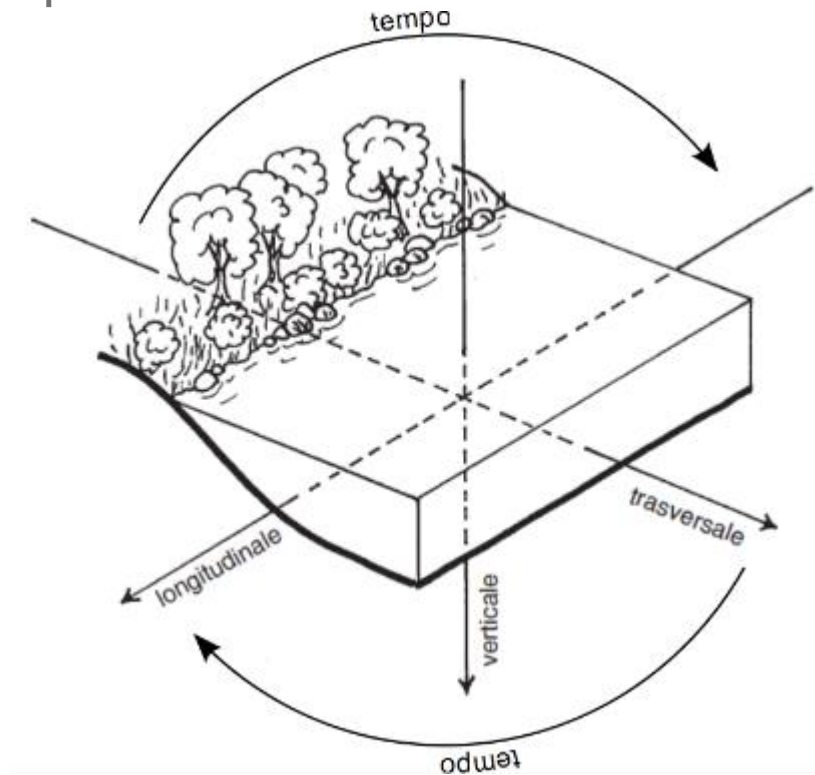
Scale spaziali in cui possono essere studiati i corsi d'acqua
 (rielaborata da Montgomery e Buffington, 1998)

Livello	Scala
Provincia geomorfica	1000 km ²
Bacino idrografico	50÷500 km ²
Segmento vallivo	10 ² ÷10 ⁴ m
Tratto di canale (in roccia, colluviale, a rapida, gradino – pozza, soglia – pozza ecc.)	10 ¹ ÷10 ³ m
Unità di canale (pozze, barre, ecc.)	10 ⁰ ÷10 ¹ m

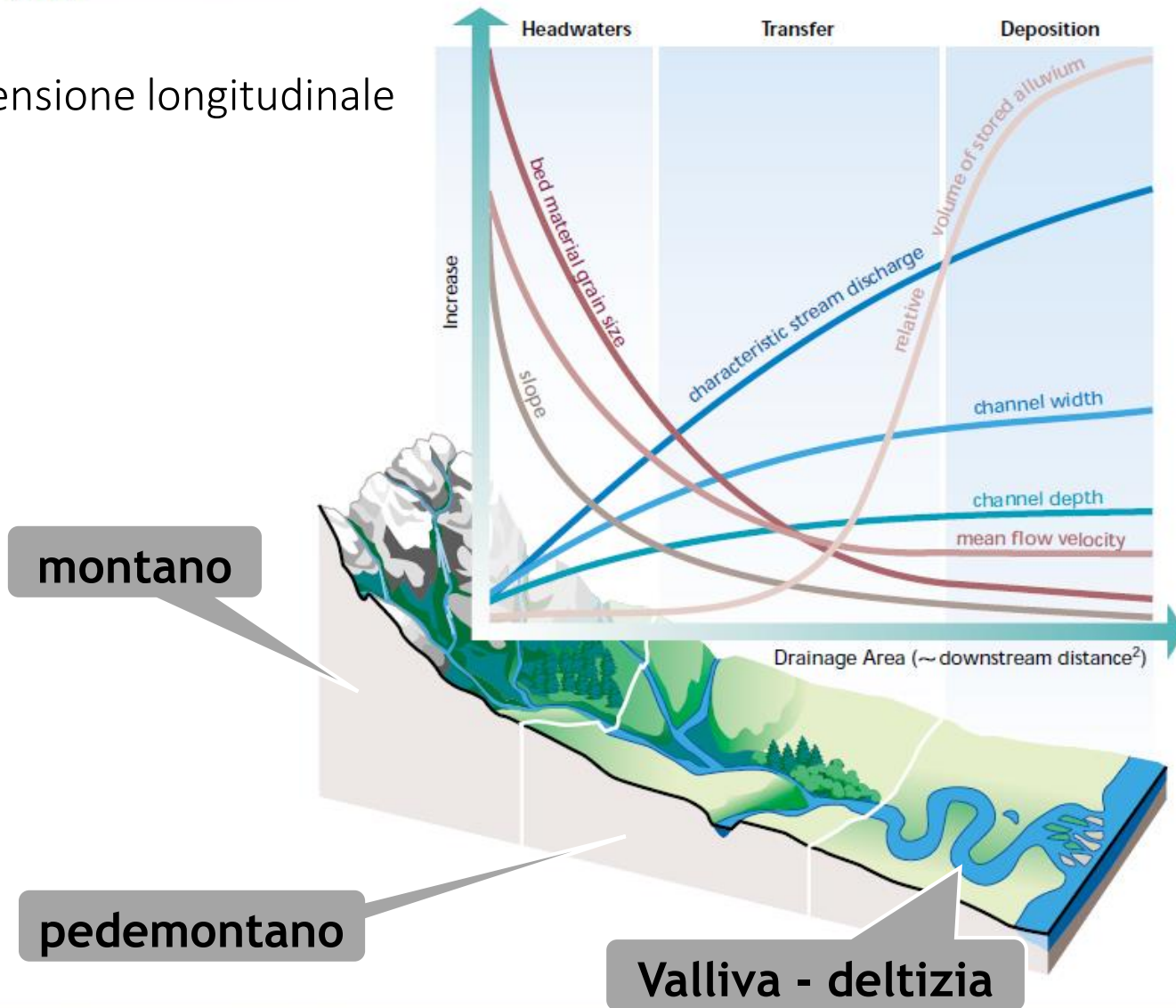


Un sistema 4D (Ward, 1989)

- 3 dimensioni fisiche (longitudinale, trasversale, verticale)
- 1 dimensione temporale



Dimensione longitudinale



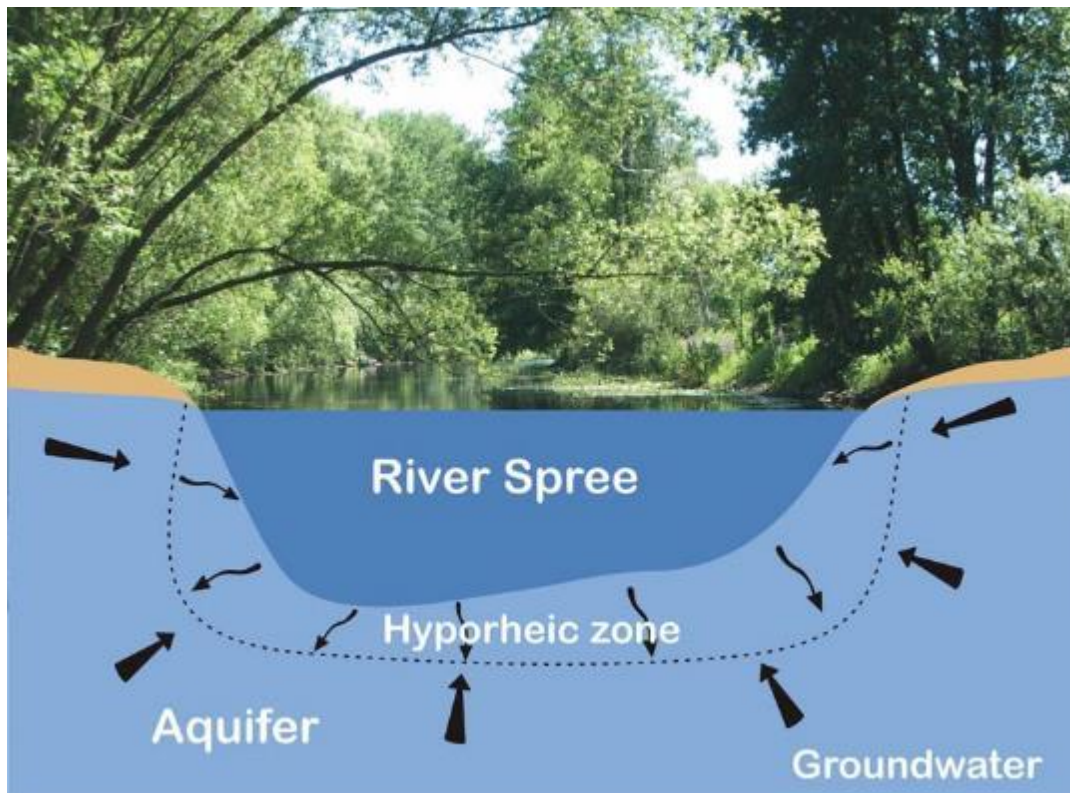
montano

pedemontano

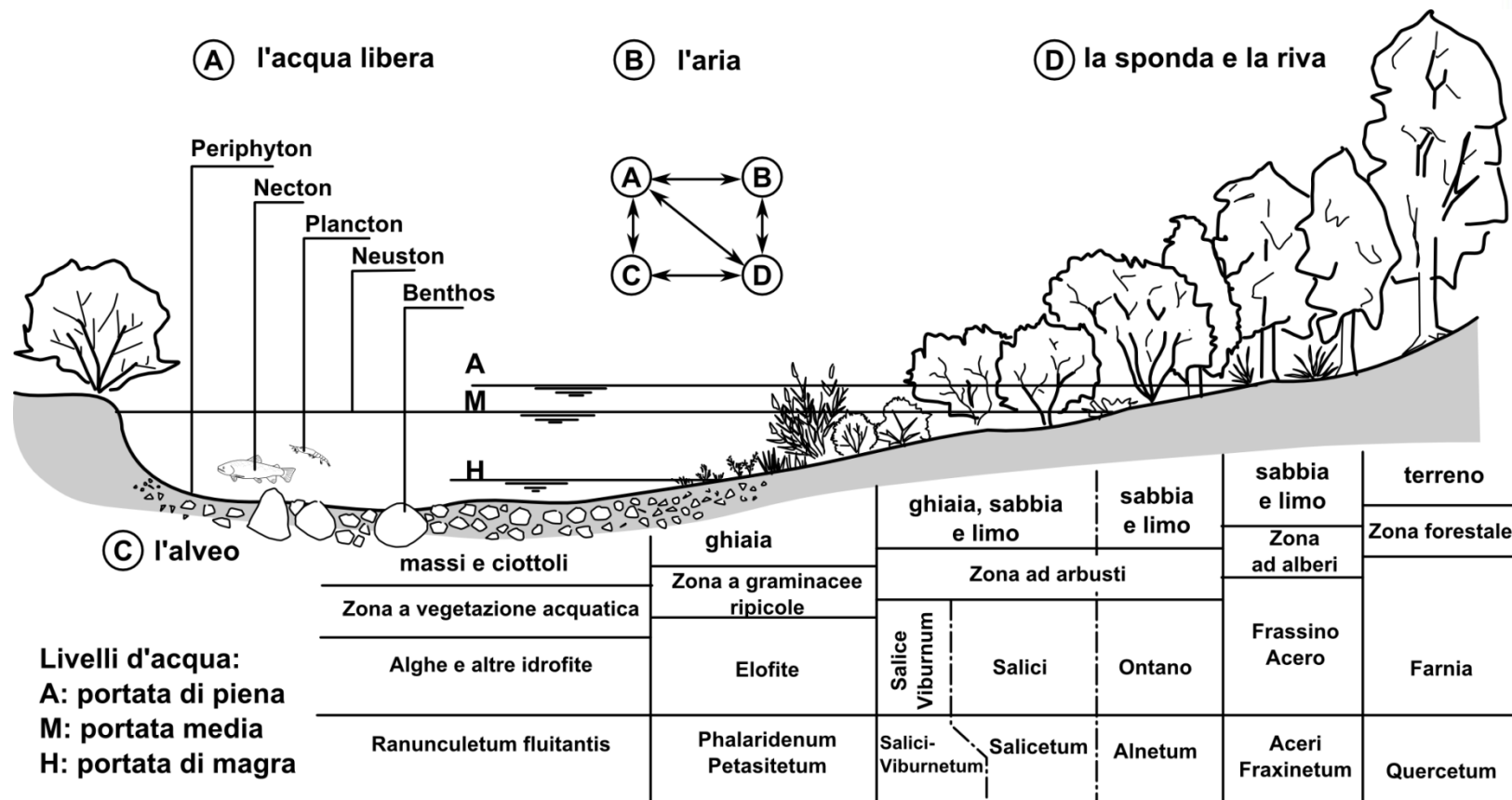
Valliva - deltizia

Dimensione verticale

La zona iporreica si estende anche per alcuni km oltre l'alveo attivo:

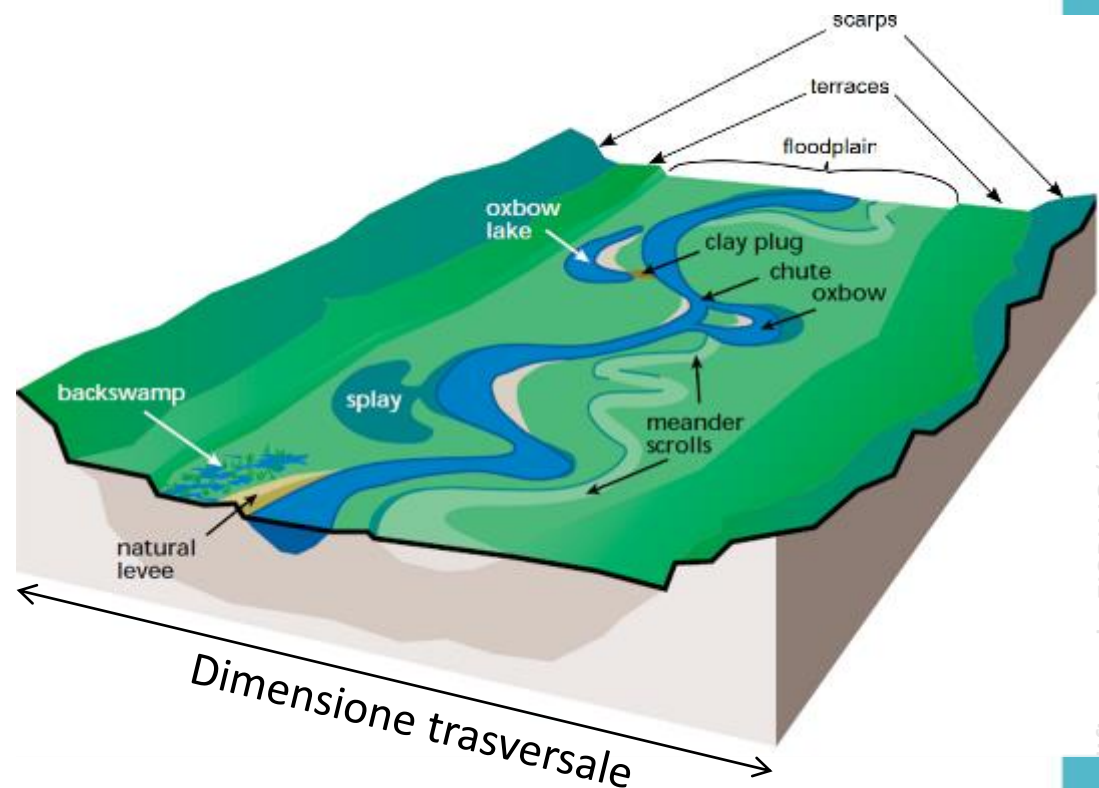


Struttura trasversale dei corsi d'acqua



È possibile distinguere, oltre al canale attivo, anche le seguenti forme:

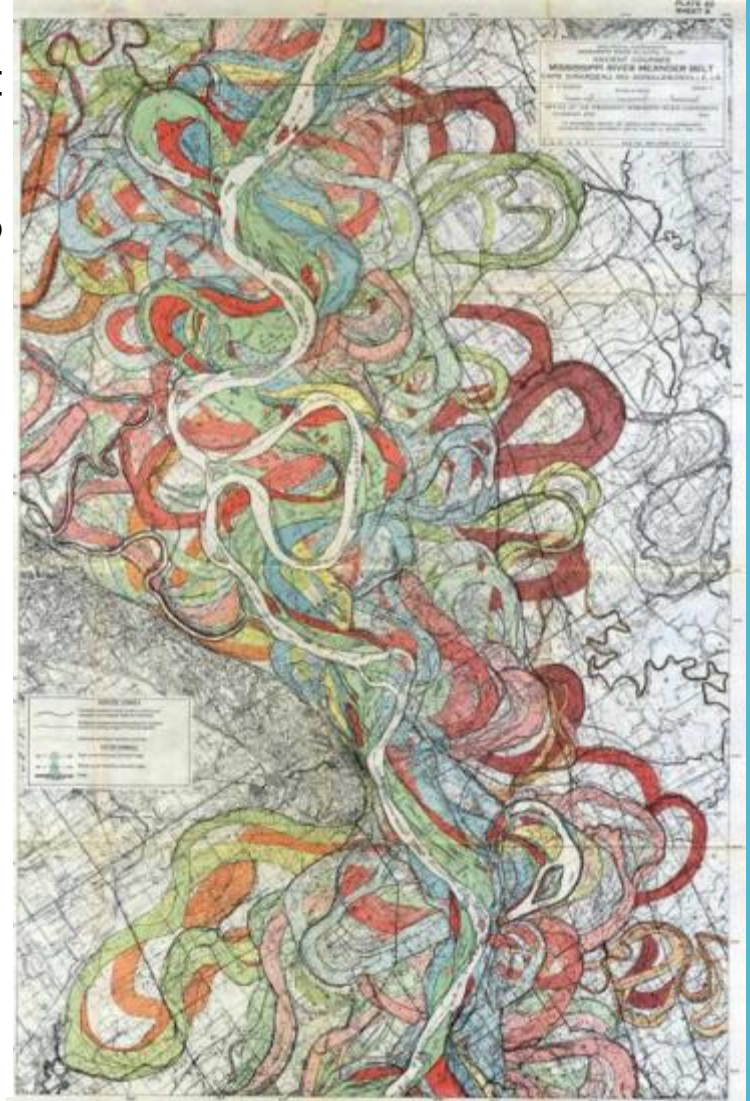
- Piana inondabile [floodplain] = area allagabile con portate di poco superiori a quelle a piene rive
- Sponde [scarps] = superficie inclinate
- Terrazzi fluviali [terraces] = piana inondabile abbandonata



La piana alluvionale comprende tutta la valle costituita dai sedimenti trasportati e depositati dal fiume

Variabilità temporale dei corsi d'acqua

www.neatorama.com/2011/09/29/the-meandering-mississippi/

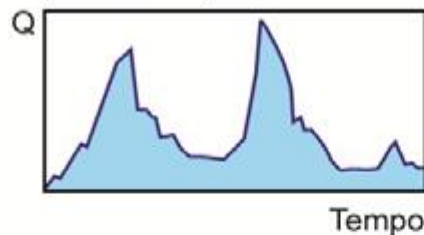


Un sistema dinamico (Hack, 1960), in equilibrio, quasi stabile (Langbein & Leopold, 1964)

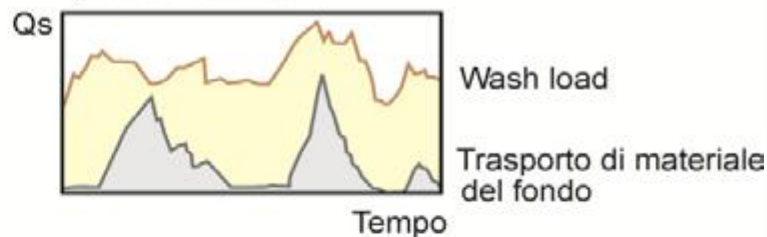
- I sistemi fluviali sono dotati di variabilità spaziale e temporale
- Nonostante tale variabilità, il fiume riproduce continuamente alcune forme caratteristiche poiché rappresentano l'equilibrio energetico del sistema in quel momento

Variabili guida

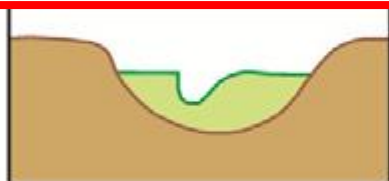
Regime delle portate liquide



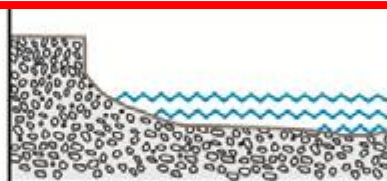
Regime delle portate solide



Condizioni al contorno



Pendenza e topografia della valle

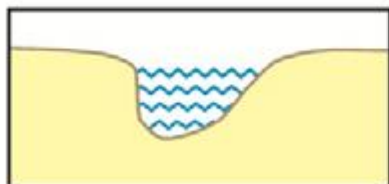


Sedimenti del fondo e delle sponde

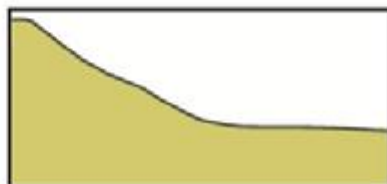


Vegetazione riparia

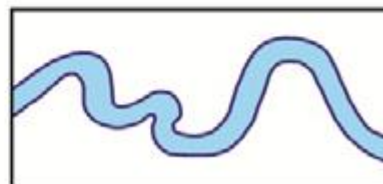
Forma dell'alveo



Geometria della sezione (larghezza, profondità)

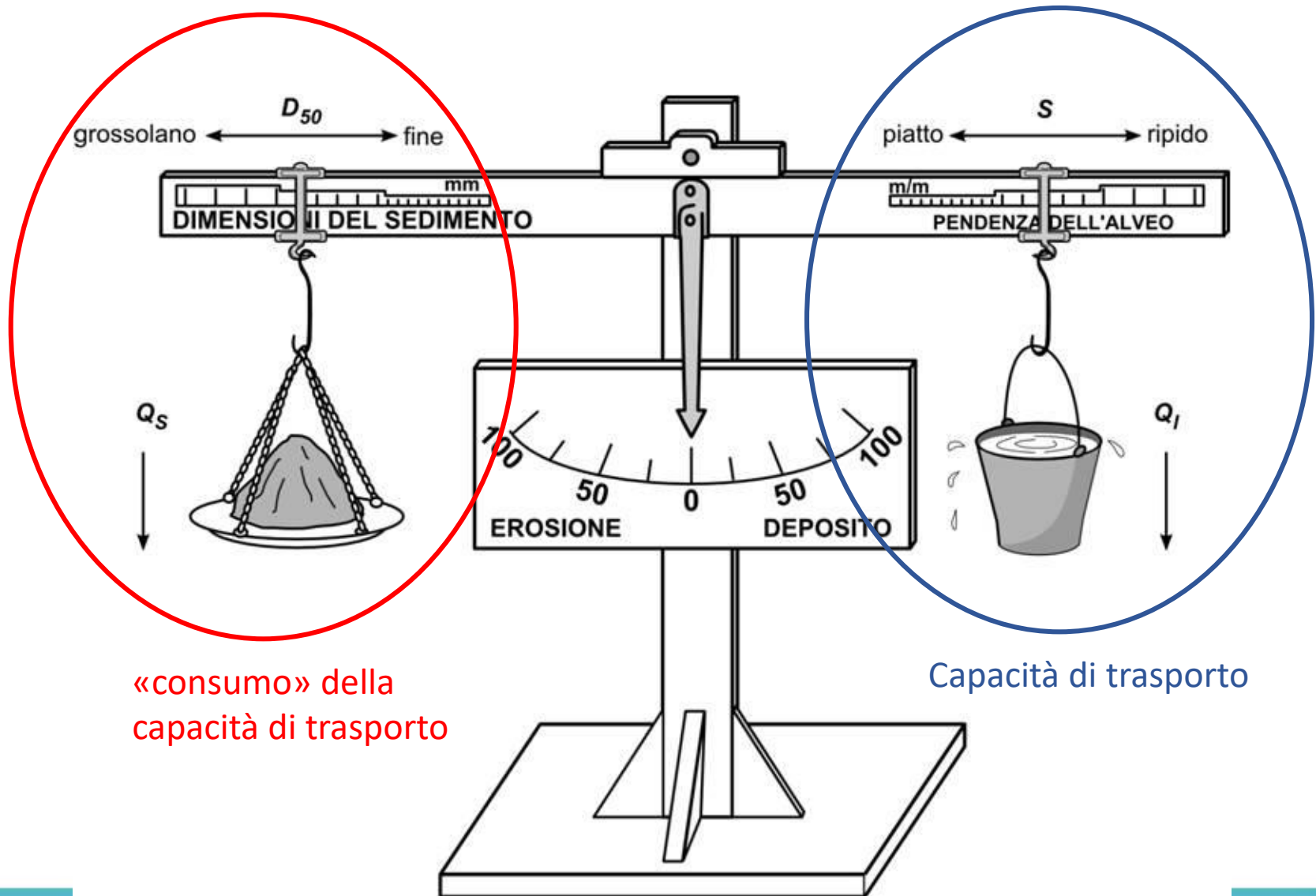


Profilo longitudinale (pendenza del fondo)

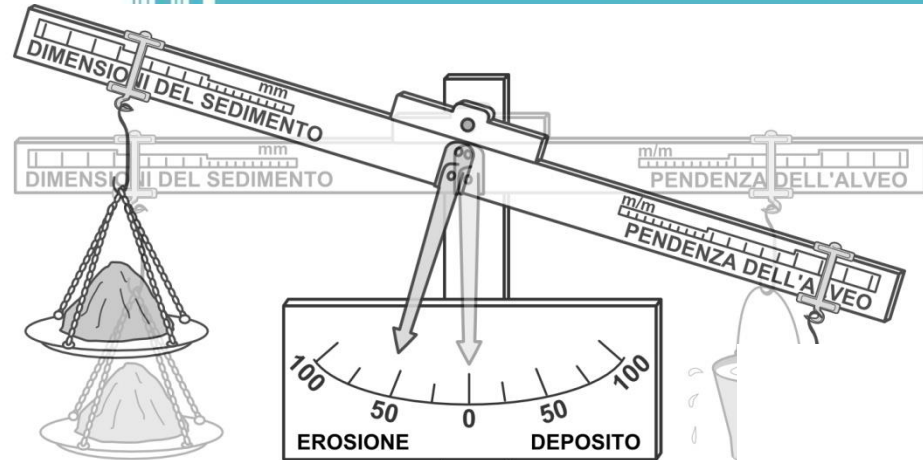


Forma planimetrica

La bilancia di Lane



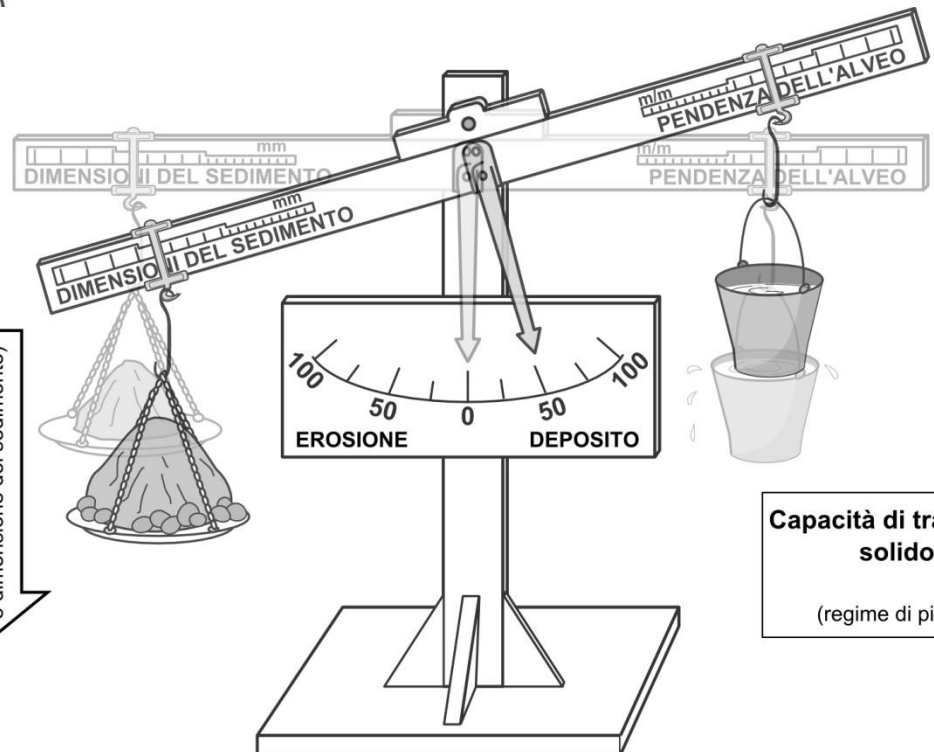
Situazioni di squilibrio



Sedimento

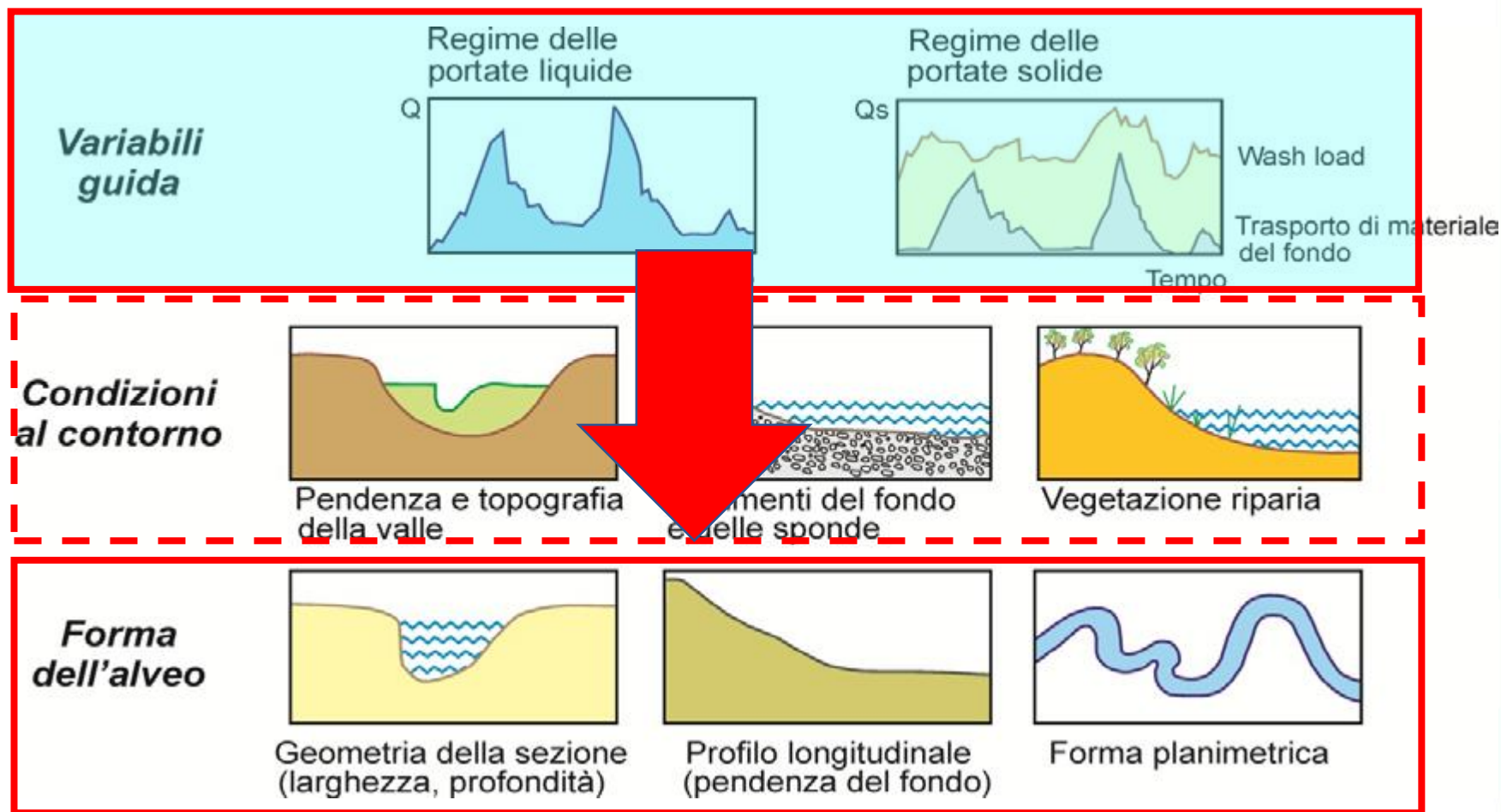
(quantità e dimensione
dell'alimentazione solida)

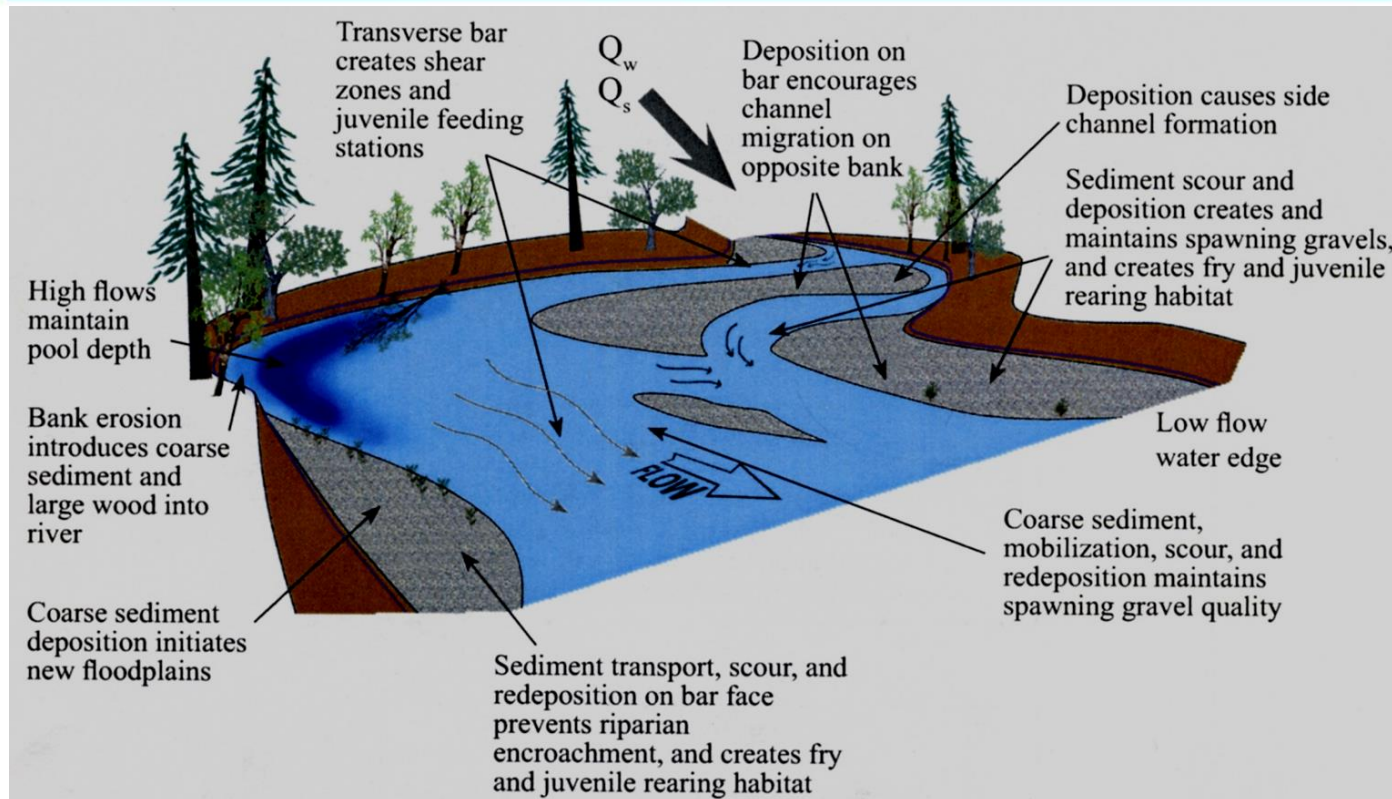
apporto di sedimenti (quantità
e dimensione del sedimento)



Capacità di trasporto solido

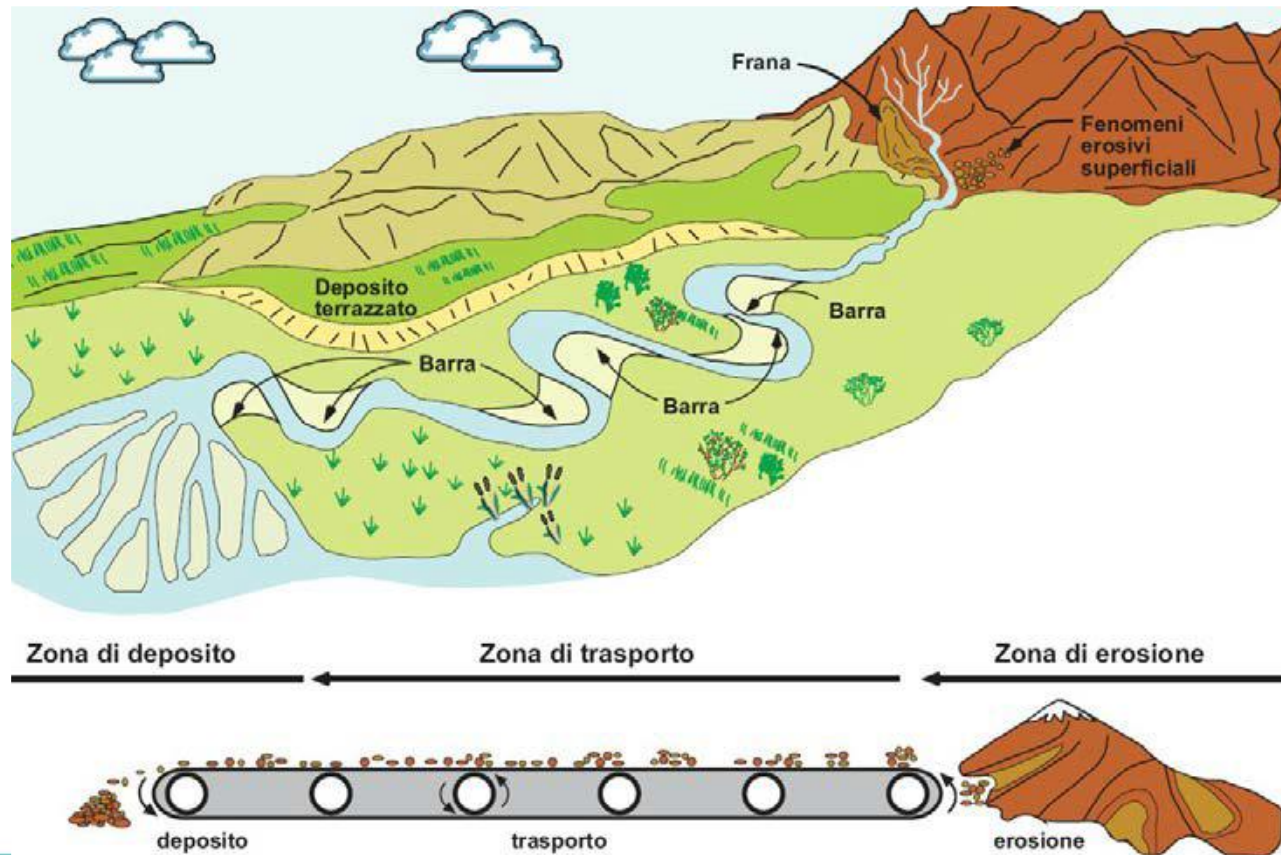
(regime di piena)





Funzionamento fisico dei processi geomorfologici (equilibrio dinamico) promuove spontaneamente il funzionamento degli ecosistemi fluviali e la diversificazione degli habitat

Disciplina che studia i *processi e le forme fluviali*, le loro interazioni con le pressioni antropiche e le implicazioni sui processi ecologici dei corsi d'acqua



Disciplina che, integrando l'idrologia e la geomorfologia fluviale, studia i processi (idrologici e geomorfologici) e le forme fluviali, le loro interazioni con le **pressioni antropiche** e le implicazioni sui **processi ecologici**

È la POTENZA della CORRENTE per unità di lunghezza del canale (W/m) ed esprime il LAVORO SVOLTO dalla CORRENTE lungo tutto il corso d'acqua

$$\Omega = \gamma Q S$$

$$\omega = \frac{\Omega}{B} = \bar{\tau} \bar{v}$$

stream power unitaria, con B larghezza del canale, $\bar{\tau}$ sforzo tangenziale medio che agisce lungo il contorno bagnato della sezione [N/m²] e con $\bar{v}$ velocità media della corrente [m/s]

- Morfologie che compensano l'eccesso di stream power
- Morfologie che assestano l'equilibrio dinamico
- Morfologie che regolano l'eccesso di alimentazione solida
- Morfologie che subiscono l'eccesso di sediment supply

Morfologie che compensano l'eccesso di stream power

I) Morfologie che sviluppino un forte corazzamento granulometrico-dissipativo (“form resistance”)

Rapide a scivolo e a gradini

II) Morfologie che sviluppino un forte corazzamento energetico-dissipativo (“tumbling-flow”)

Sequenze a Step pool e Riffle-step pool

strutture quasi uniformemente corazzate anche longitudinalmente

La dissipazione avviene per gli effetti idraulici indotti dalla macroscabrezza: forma e protrusione degli elementi



Step pool

- su pendenze superiori al 3% si strutturano dei gradini seguiti da pozze
- L'organizzazione dei sedimenti é molto elevata
- Gli step pool si organizzano in sequenze costituite, in genere, da 2-5 unità



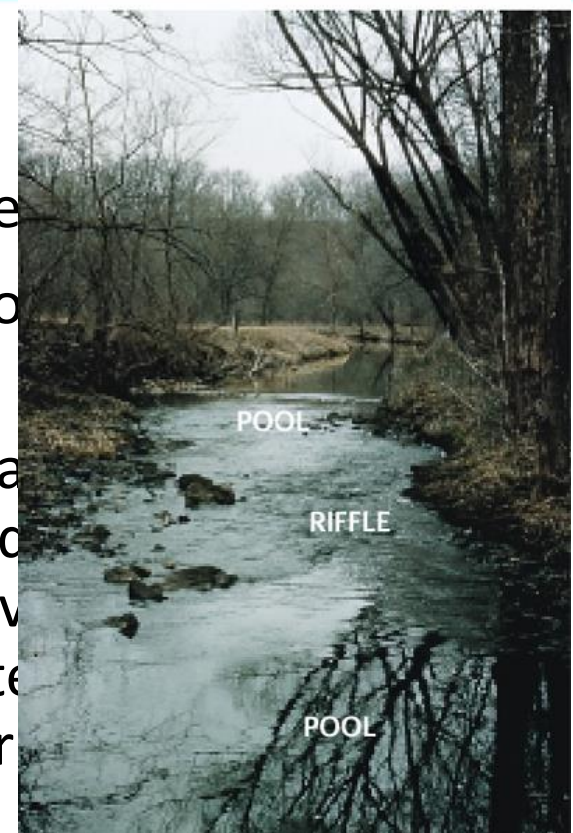
Morfologie che assecondano l'equilibrio dinamico

Sviluppano morfologie dinamicamente stabili: scambio bilanciato dell'alveo con i sedimenti che arrivano da monte:

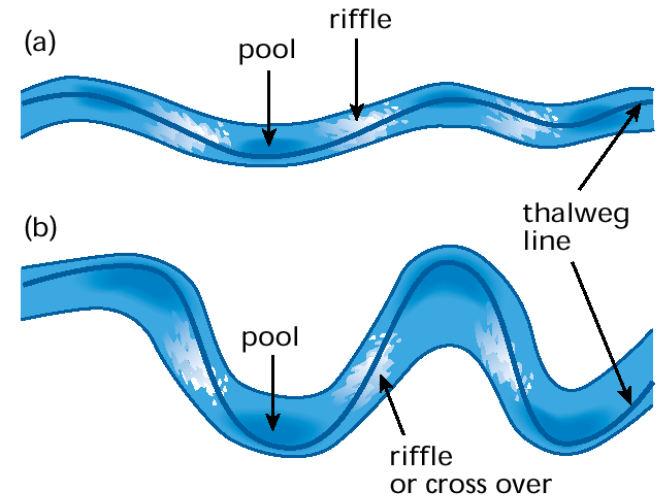
- riffle pool: sediment supply un po' più accentuata (più rari su pendenze $> 5\%$)
- letto piano: apporto solido più limitato, specie se collegano due tratti fortemente corazzati

Riffle Pool

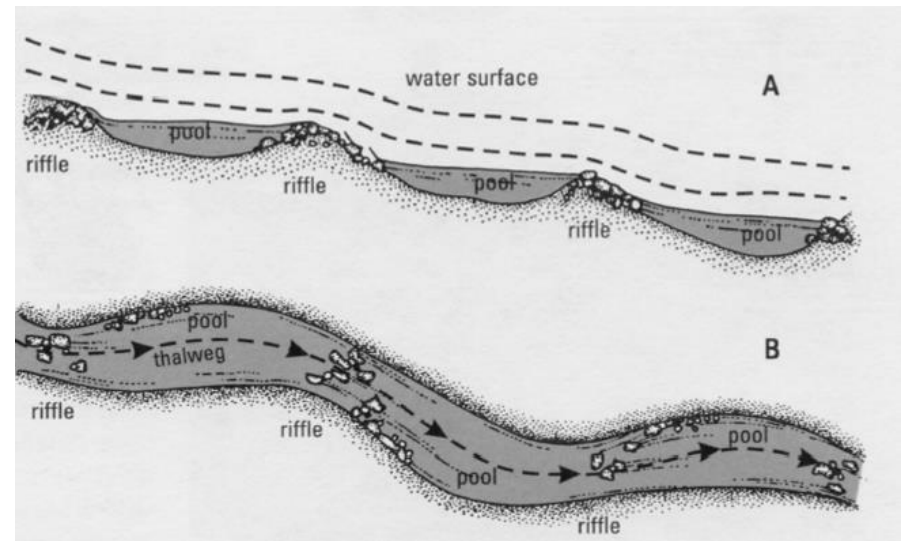
- I riffle sono tratti a pendenza sostenuta e di flusso modeste. In genere, si alternano a sequenze a riffle pool.
- La successione di riffle e pool caratterizza condizioni diverse, quasi tutti i corsi d'acqua pedemontani con pendenze del fondo sono molto più contenute sequenze step pool e generalmente inferiori e ghiaie grosse



Riffle Pool



L'alternanza di riffle e pool è accompagnata dal susseguirsi ritmico di barre longitudinali di dimensioni anche considerevoli. Per questa morfologia risulta evidente la differenziazione granulometrica, prevalendo ciottoli e ghiaie grosse nei riffle e sedimenti fini nelle pool.



Importanza della morfologia riffles-pool

- Riffles
 - Ossigenazione dell'acqua
 - Diversità di substrato e di habitat
 - Differenziazione della popolazione di macroinvertebrati
- Pools
 - Rifugio durante i periodo di magra
 - Area di sosta e alimentazione per la fauna ittica
 - Rifugio dai predatori per gli stadi giovanili della fauna ittica

- Le barre sono dei corpi sedimentari rialzati ed allungati, disposti in senso più o meno parallelo rispetto alla direzione principale del flusso.
- Si distinguono barre laterali, che si dispongono lateralmente all'alveo, e barre mediane che si formano all'interno dell'alveo



Il riffle pool manifesta una debole rindondanza di alimentazione solida da monte: il letto piano è proprio nel punto di equilibrio.

- corpi sedimentari quasi assenti
- macroscabrezze isolate
- larghezza al bankfull costante



Morfologie che regolano l'eccesso di alimentazione solida

I) Morfologie che “cercano” la massimizzazione della capacità di trasporto al fondo:

tratti braided - rami intrecciati

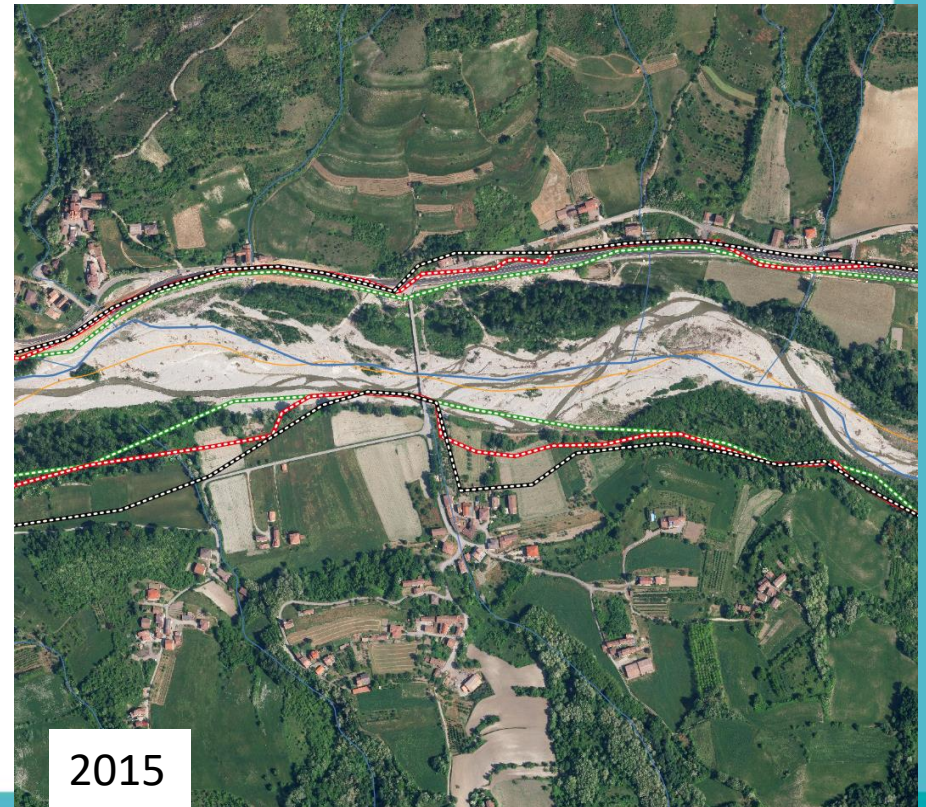
Esprimono l'incapacità di far defluire con un unico canale l'alimentazione solida che ricevono da monte



Massimizzazione della stream power unitaria:
 $\text{Velocità} \times \text{sforzo tangenziale}$

forte propensione alla formazione di corpi sedimentari centrali

Il corso d'acqua non é più unicursale, ma si ramifica ricercando una configurazione più efficiente per il trasporto dei sedimenti



2015

“Morfologie” che subiscono l'eccesso di sediment supply

- 1) Svilupperebbero una morfologia braided se non venissero continuamente congestionati dai sedimenti (o subissero sovralluvione da debris flow)

tratti deposizionali

aggradation - fenomeni avulsivi



I tratti deposizionali si localizzano generalmente in corrispondenza di allargamenti dell'alveo, dove la pendenza di fondo del corso d'acqua è inferiore rispetto ai tratti di monte e di valle. Essi tendono ad avere una struttura caotica, dominata da depositi di materiale molto consistenti; possono avere una dinamica vivace, modificandosi frequentemente, oppure stabili essendo consolidati dalla vegetazione.

I filoni di magra ramificati, che si sviluppano all'interno dei depositi, possono evidenziare, specie in condizioni di magra, una certa tortuosità. Sebbene in diverse situazioni non vi sia una netta distinzione tra la tipologia a barre e cluster ed i tratti deposizionali, tuttavia questi ultimi si distinguono dai precedenti per una maggiore ampiezza dell'alveo e per una tendenza al deposito generalizzata su tutto il tratto.



un corso d'acqua, passando attraverso la ricerca di uno stato di equilibrio dinamico, sceglie il suo andamento plano-altimetrico e la forma della sua sezione tendendo a minimizzare Ω (cioè a sviluppare il suo moto con il minimo tasso di dissipazione energetica).

Il concetto della bilancia di Lane può essere generalizzato tenendo conto della resistenza nei confronti dell'azione modellante della corrente (stream power) esercitata anche dalle dissipazioni energetiche indotte dalla sinuosità (R_s) e dalle morfologie d'alveo (R_f):

$$\Omega/\gamma = QS = Q_s (D_{50} R_s R_f)$$

CORSI d'ACQUA RETTILINEI:

$$\omega > 300 \text{ W/m}^2 \text{ (spesso } \omega > 1000 \text{ W/m}^2)$$

Energia controbilanciata da granulometrie dei sedimenti elevate e dall'organizzazione in unità morfologiche altamente dissipative (rapide e step pool). Con fondo in sabbia e/o ghiaia, l'unità morfologica prevalente è quella dei rifte pool che si formano con presenza di barre laterali.

CANALI INTRECCIATI:

$$\omega = 50\text{-}300 \text{ W/m}^2 \text{ in funzione della granulometria del fondo } (\omega = f(D_{50}))$$

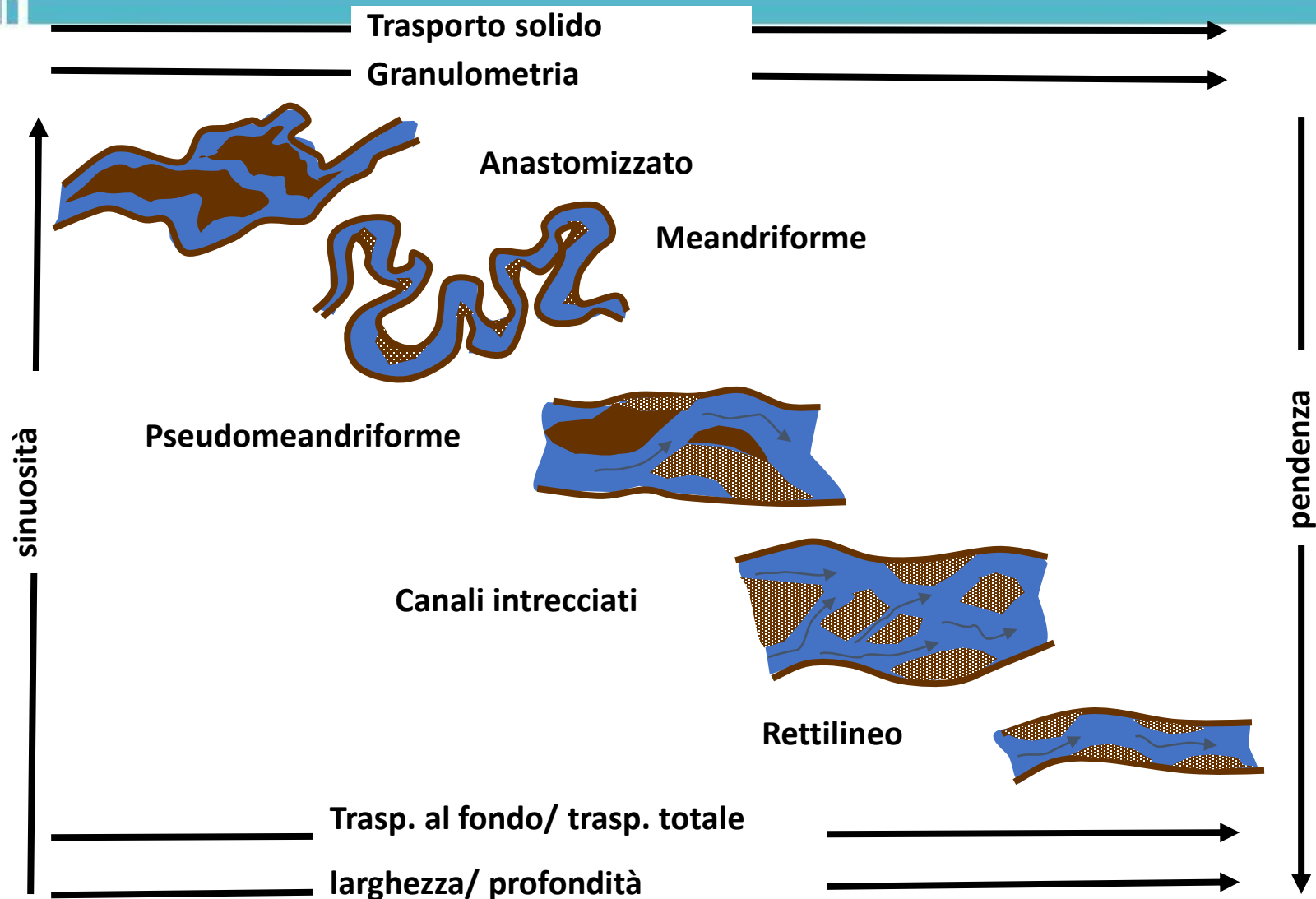
FIUMI MEANDRIFORMI:

$$\omega = 10\text{-}60 \text{ W/m}^2$$

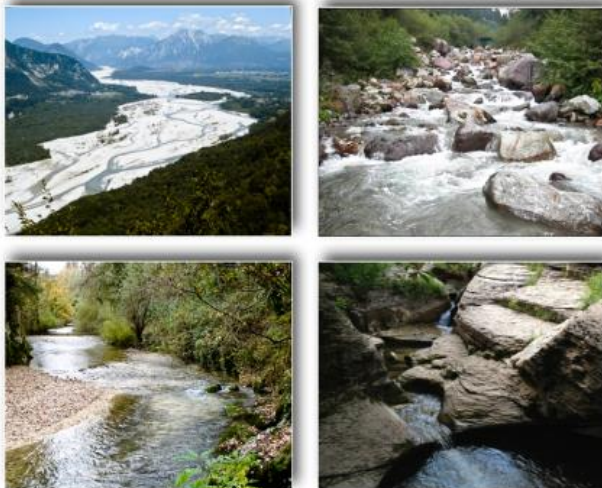
FIUMI ANASTOMIZZATI:

$$\omega = <10 \text{ W/m}^2$$

Classificazione



IDRAIM
Sistema di valutazione
idromorfologica,
analisi e **mon**itoraggio
dei corsi d'acqua



MANUALI E LINEE GUIDA

- ✓ **Indice di Qualità Morfologica (IQM)**
- ✓ **Indice alterazione idrologica (IARI)**
- ✓ **Indice di Qualità Morfologica di monitoraggio (IQMm)**
- ✓ **Indice di habitat (IH, Mesohabsim)**
- ✓ **Indice di dinamica morfologica «di lungo periodo» (IDM)**
- ✓ **Classificazione della «Dinamica da evento» (CDE)**
- ✓ **Fasce di dinamica morfologica (FDM e FDE)**

Il concetto di «portata formativa»:

- I processi erosivi alla base della definizione della forma del paesaggio fluviale e questi dipendono in primo luogo dall'energia della corrente
- Tuttavia portate basse, seppur frequenti, sono dotate di scarsa energia come anche portate elevate, molto energetiche, sono tuttavia più rare

Il concetto di «portata formativa»:

- Si definisce «portata formativa o dominante» una portata sufficientemente frequente e dotata di energia da determinare la morfologia dell'alveo (Wolman and Miller, 1960).

MAGNITUDE AND FREQUENCY OF FORCES IN GEOMORPHIC PROCESSES¹

M. GORDON WOLMAN AND JOHN P. MILLER
Johns Hopkins University and Harvard University

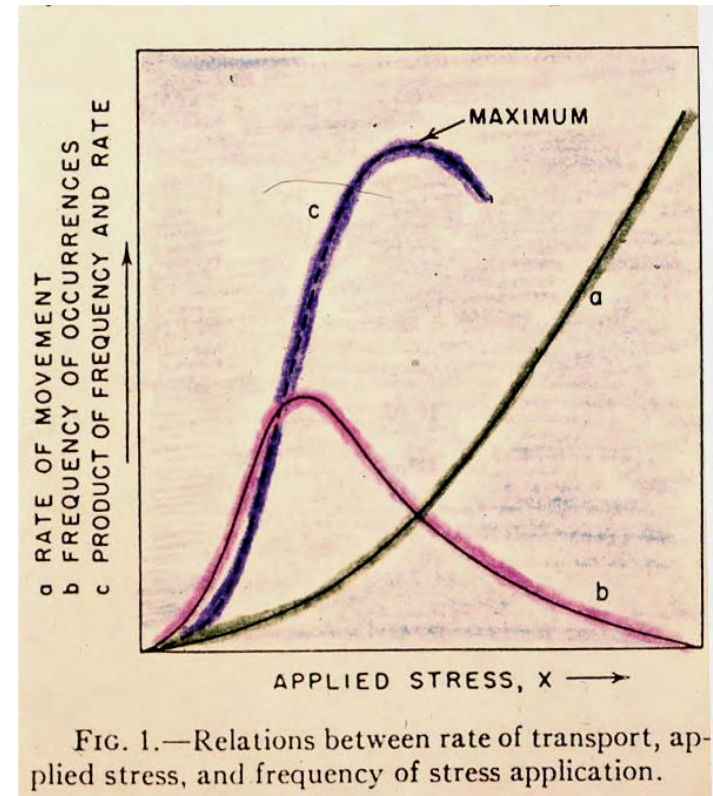
ABSTRACT

The relative importance in geomorphic processes of extreme or catastrophic events and more frequent events of smaller magnitude can be measured in terms of (1) the relative amounts of "work" done on the landscape and (2) in terms of the formation of specific features of the landscape.

For many processes, above the level of competence, the rate of movement of material can be expressed as a power function of some stress, as for example, shear stress. Because the frequency distributions of the magnitudes of many natural events, such as floods, rainfall, and wind speeds, approximate log-normal distributions, the product of frequency and rate, a measure of the work performed by events having different frequencies and magnitudes will attain a maximum. The frequency at which this maximum occurs provides a measure of the level at which the largest portion of the total work is accomplished. Analysis of records of sediment transported by rivers indicates that the largest portion of the total load is carried by flows which occur on the average once or twice each year. As the variability of the flow increases and hence as the size of the drainage basin decreases, a larger percentage of the total load is carried by less frequent flows. In many basins 90 per cent of the sediment is removed by storm discharges which recur at least once every five years.

Il concetto di «portata formativa»:

- Si definisce «portata formativa o dominante» una portata sufficientemente frequente e dotata di energia da determinare la morfologia dell'alveo (Wolman and Miller, 1960).



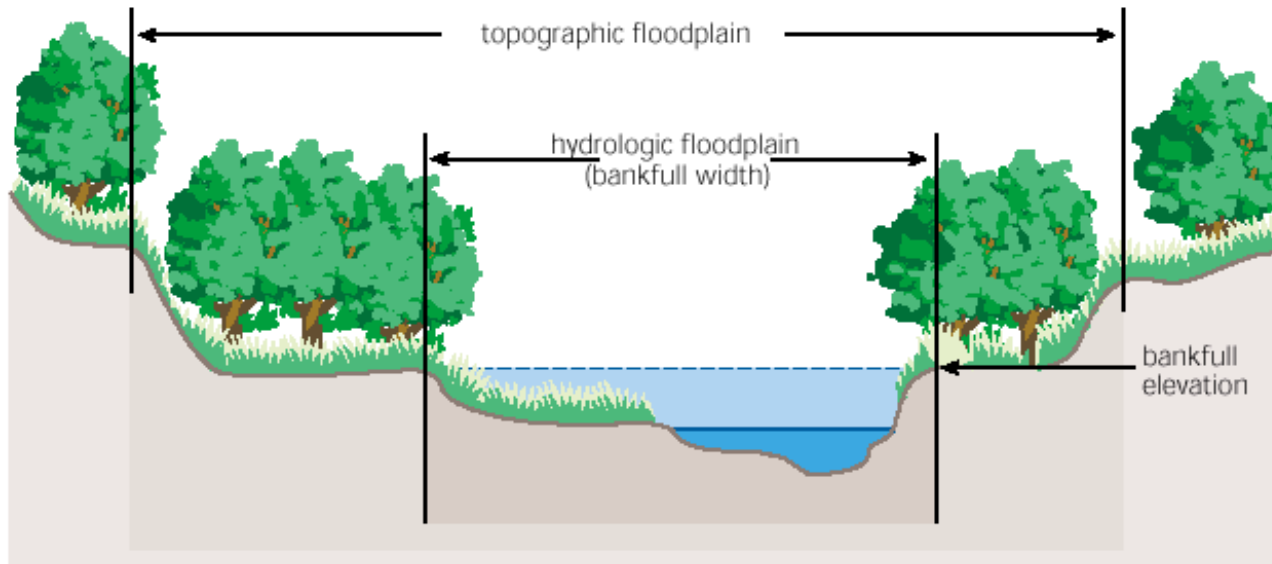
Il concetto di «portata formativa»:

- Alla portata formativa è associata una portata con tempo di ritorno da 1 a 3 anni (1.5 anni come la definizione di demanio!)

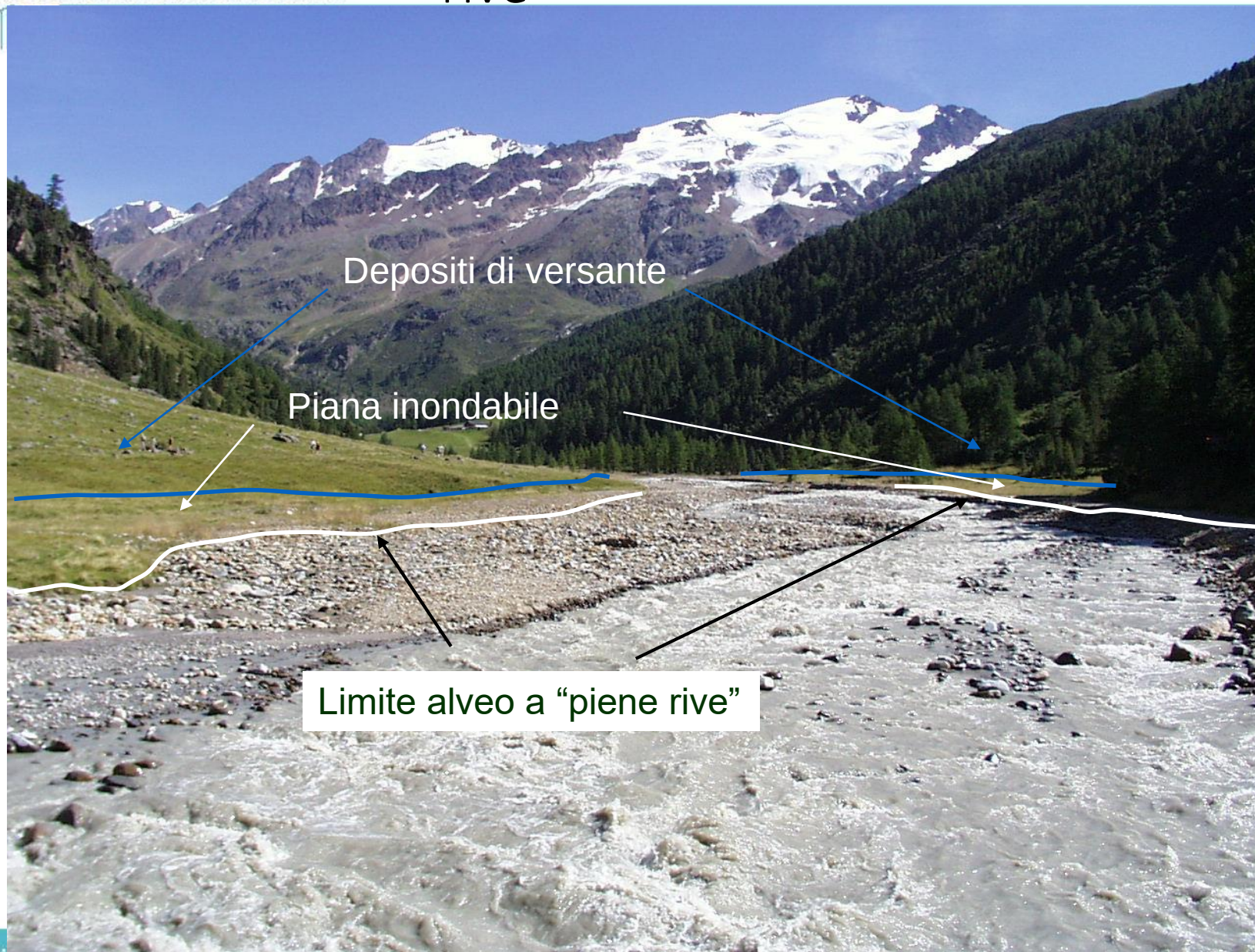


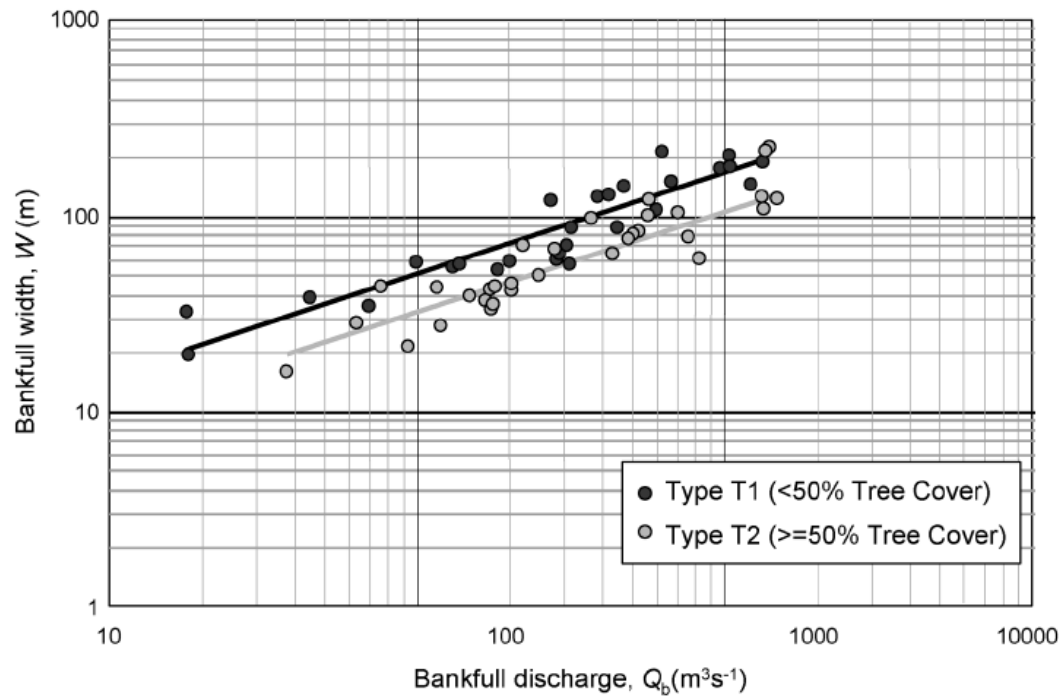
Il concetto di «portata formativa»:

- Alla portata formativa è associato il concetto di «portata a piene rive» [*bankfull discharge*] ovvero la portata che riempie completamente l'alveo fino alla piana inondabile [*floodplain*]



Portata formative e portata a piene rive

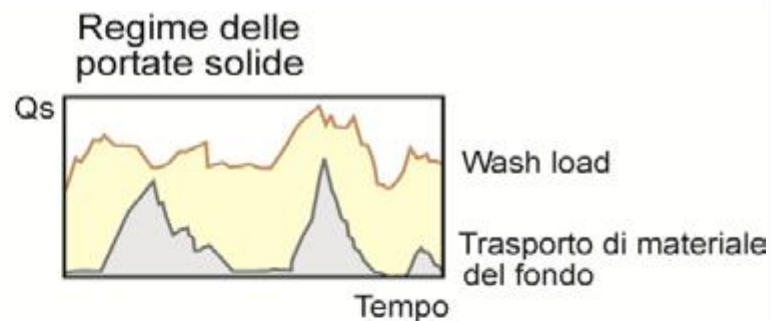
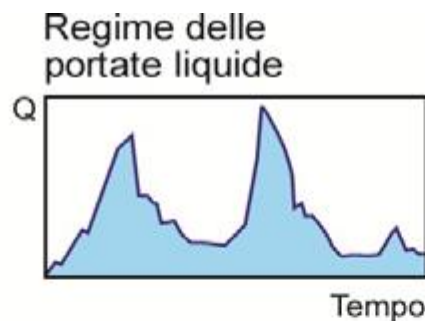




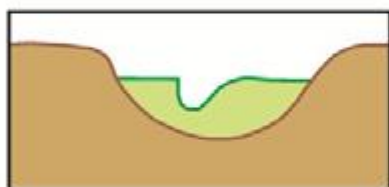
Copeland et al. (2001) Hydraulic Design of Stream Restoration Projects USACE

Interazione tra vegetazione, condizioni idrauliche ed equilibrio dei corsi d'acqua

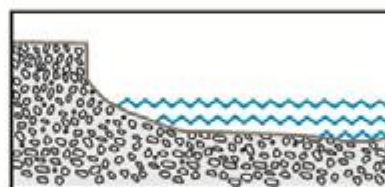
Variabili guida



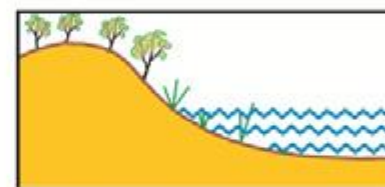
Condizioni al contorno



Pendenza e topografia della valle

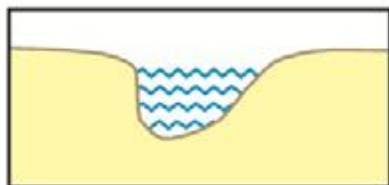


Sedimenti del fondo e delle sponde

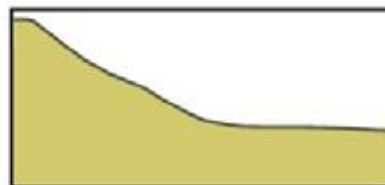


Vegetazione riparia

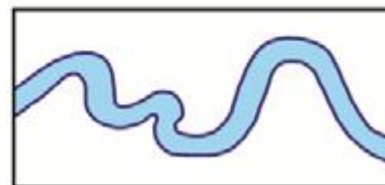
Forma dell'alveo



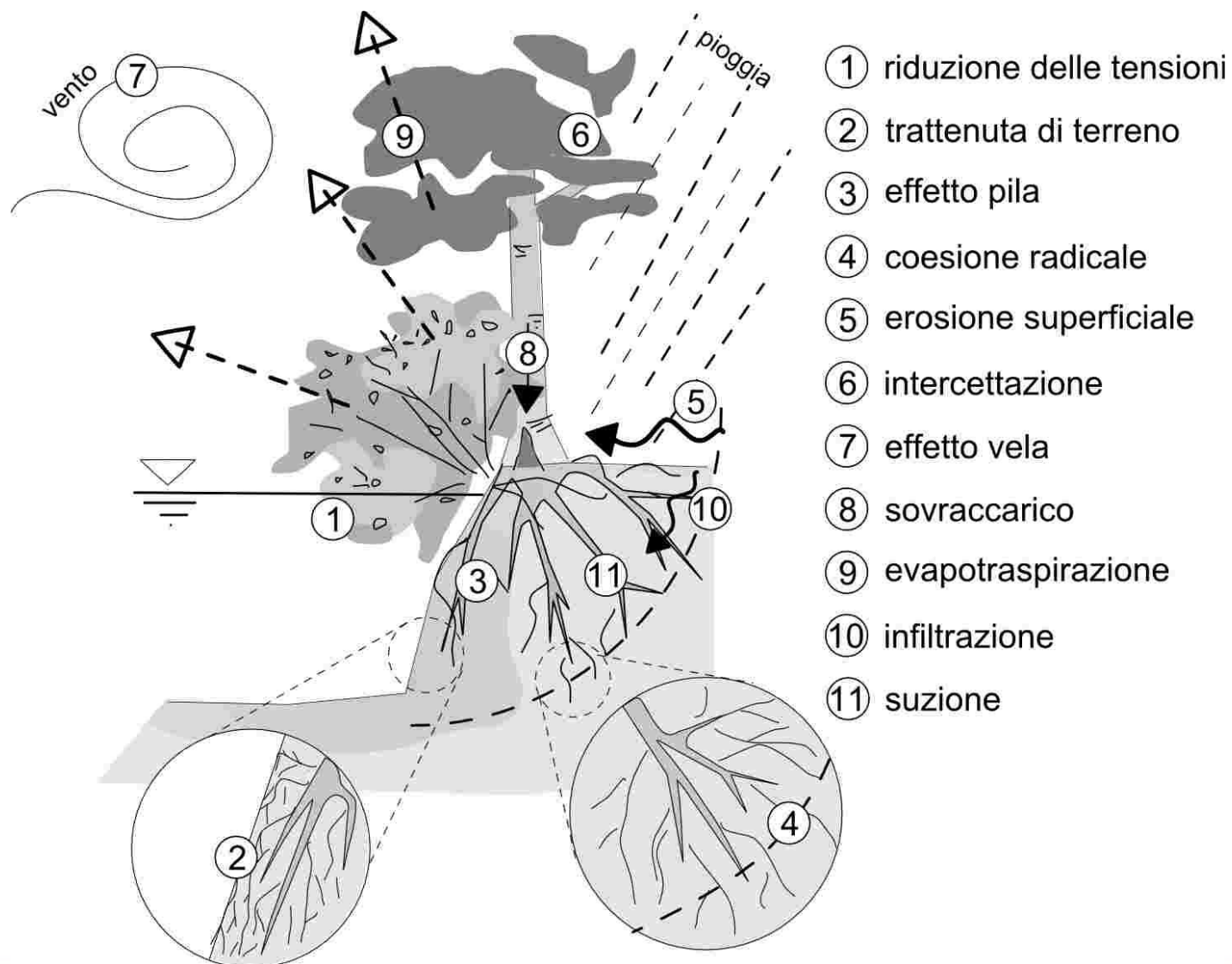
Geometria della sezione (larghezza, profondità)



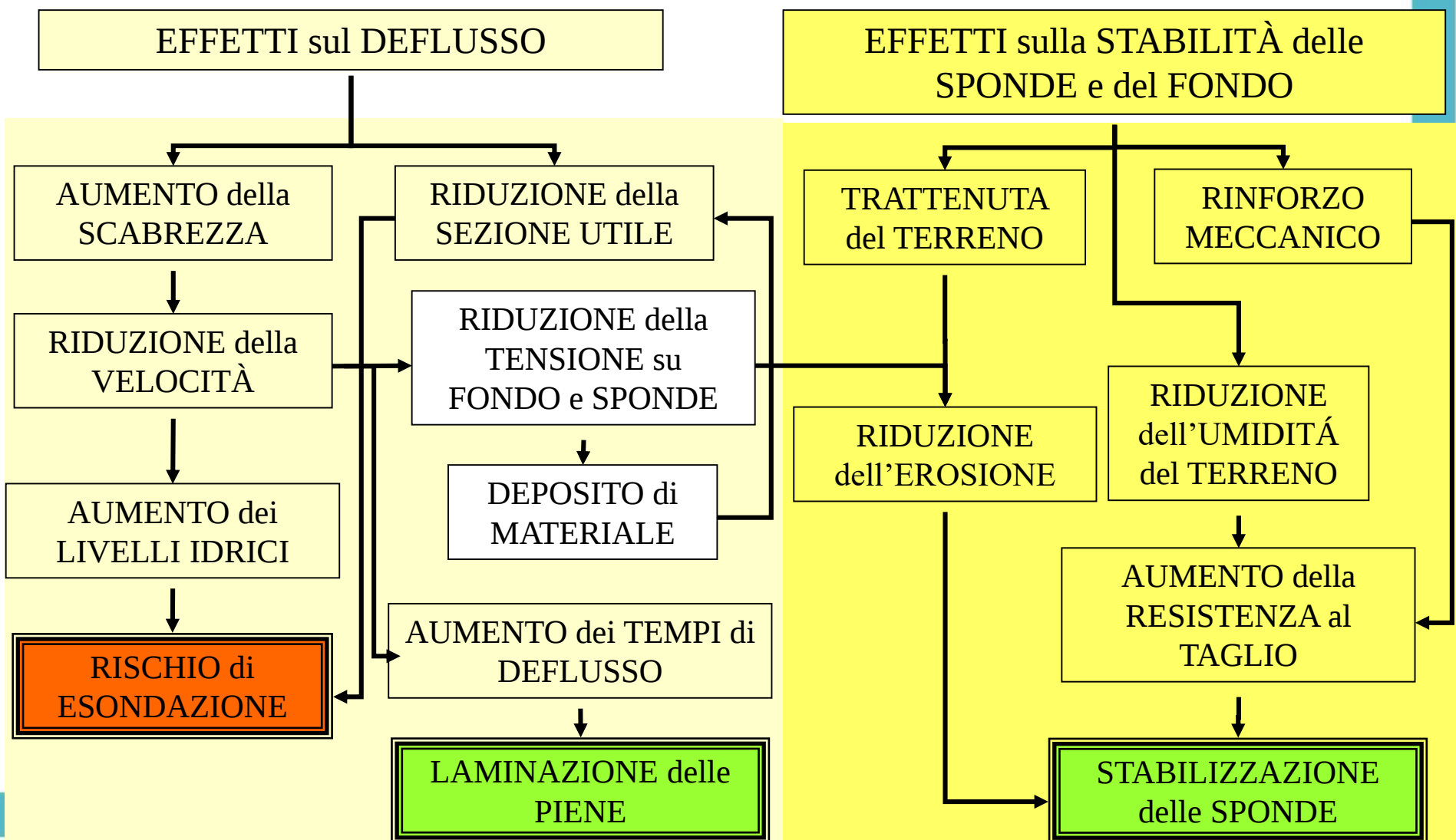
Profilo longitudinale (pendenza del fondo)



Forma planimetrica



Effetti della vegetazione nelle sezioni



La vegetazione e l'intero sistema
potamale costituisce una via ecologica
preferenziale

I corridoi fluviali

I corridoi fluviali assolvono a diverse funzioni:

- Trasporto: esso può essere di varia natura e può coinvolgere acqua, sedimenti, organismi viventi, materiale organico, sostanze tossiche o nutrienti, favorendo il loro spostamento sia in direzione longitudinale che trasversale.

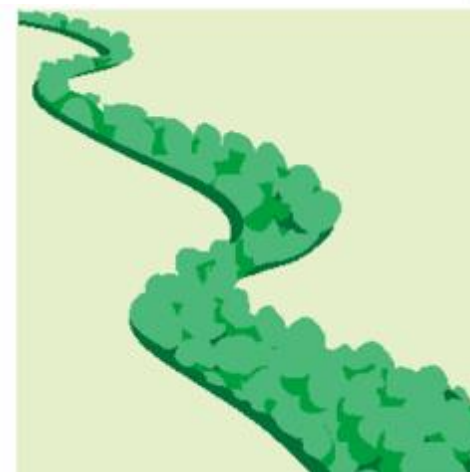


I corridoi fluviali

... trasporto,

- Habitat, per piante ed animali che nell'area del corridoio nascono, crescono e si riproducono.

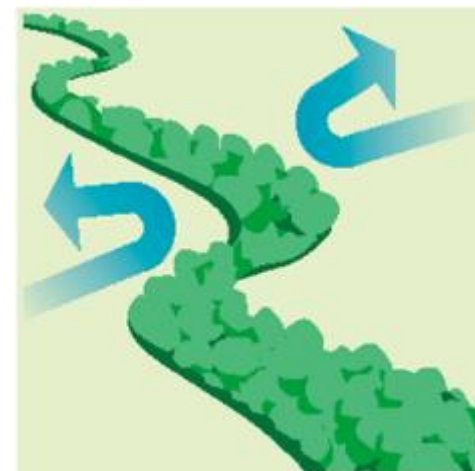
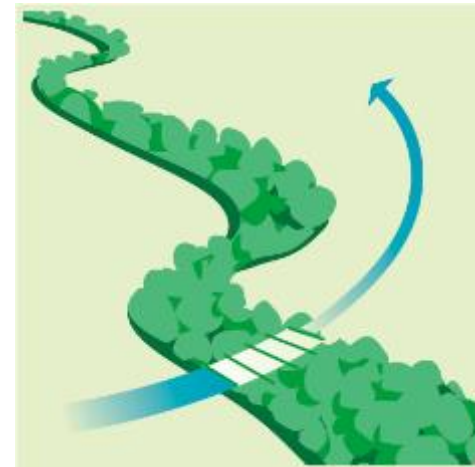
L'effettivo instaurarsi di tale livello di biodiversità dipende tuttavia dalla qualità, dalla diversificazione e dall'estensione del corridoio stesso. Questa funzione, assieme a quella di trasporto permette la connessione di porzioni di territorio più o meno distanti tra loro con importanti ripercussioni di tipo ecologico sulle popolazioni animali e vegetali



I corridoi fluviali

... trasporto, habitat,

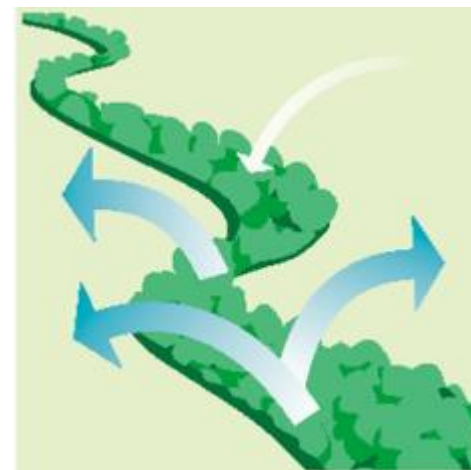
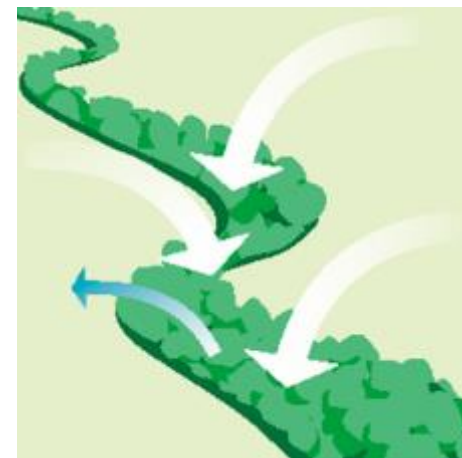
- Filtro e Barriera, come per la funzione di trasporto anche questa caratteristica dei corridoi può interessare diversi aspetti e riguardare sostanze (detriti o inquinanti), organismi viventi, deflusso di portata liquida (laminazione delle piene) o solida



I corridoi fluviali

... trasporto, habitat, filtro e barriera,

- Sink e Source ovvero “pozzo” e “sorgente”; tale funzione riguarda il territorio circostante in quanto il corridoio è in grado di “esportare” sostanze e organismi viventi (aspetto non sempre gradito nel caso della propagazione di specie vegetali infestanti o di specie animali dannose) e al contempo di “immagazzinare” sostanze, come ad esempio la fissazione dell’anidride carbonica da parte delle piante



Vegetazione e idraulica dei corsi d'acqua

$$J = \frac{v^2}{\chi^2 R}$$

Con v velocità media della corrente (m/s), R raggio idraulico (m), χ (m^{1/2}/s) coefficiente di resistenza che assume diversi valori in dipendenza della scabrezza e della dimensione trasversale della corrente.

$$\chi = \frac{1}{n} R_h^{1/6} = k_s R_h^{1/6}$$

n (m^{-1/3} s) è il coefficiente di scabrezza di Manning, crescente con la scabrezza
 k_s (m^{1/3} /s) coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickle, decrescente con la scabrezza

La formula di Chezy, valida per condizioni di moto turbolento, è quella oggi più comunemente utilizzata.

Il raggio idraulico è definito come *rapporto tra la sezione e il contorno bagnato*.

Più comunemente la relazione di Chezy viene scritta nella forma:

$$v = \chi \sqrt{RJ}$$

Oppure sfruttando il principio di continuità:

$$Q = \chi A \sqrt{RJ}$$

con A è l'area della sezione trasversale della corrente

Tipo di canale	massimo normale minimo		
<i>Canali artificiali</i>			
<i>Canali in terra lisciata e uniforme</i>			
Pulita, scavata di recente	62	56	50
Pulita, dopo prolungata esposizione	56	45	40
Ghiaia, sezione uniforme, pulita	45	40	33
Erba corta, pochi cespugli	45	37	30
<i>Canali in terra con ondulazioni o irregolari</i>			
Senza vegetazione	43	40	33
Con erba e pochi cespugli	40	33	30
Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	33	29	25
Fondo in terra e sponde in pietrisco	36	33	29
Fondo in pietrame e sponde in cespugli	40	29	25
Fondo in ciottoli e sponde pulite	33	25	20
<i>Canali scavati o dragati</i>			
Senza vegetazione	40	36	30
Cespugli sparsi sulle sponde	29	20	17
<i>Canali in roccia</i>			
Lisci e uniformi	40	29	25
Frastagliati e irregolari	29	25	20

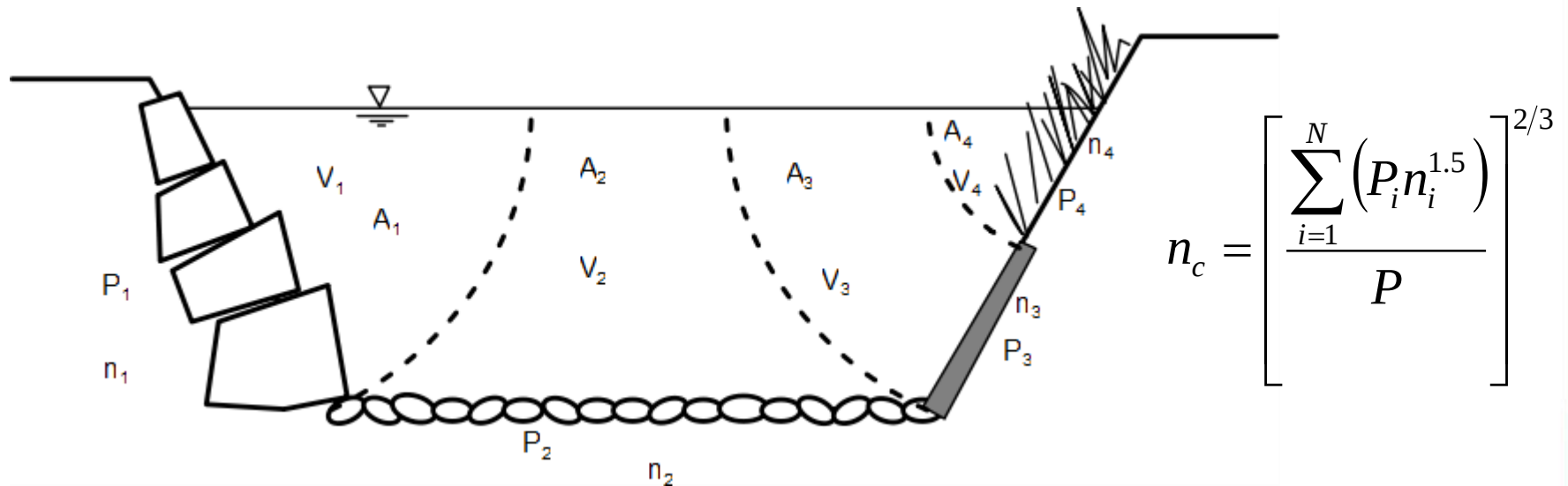
Continua...



Tipo di canale	massimo	normale	minimo
<i>Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli</i>			
Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	20	12	8
Fondo pulito, cespugli sulle sponde	25	20	12
Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	22	14	9
Cespugli densi e acque profonde	12	10	7
<i>Corsi d'acqua naturali</i>			
<i>Corsi d'acqua minori (tirante inferiore a 3.5 m)</i>			
<i>Corsi d'acqua di pianura</i>			
Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati	40	33	30
Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati, con sassi e sterpaglia	33	29	35
Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi	30	25	22
Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e pietre	29	22	20
Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, in magra	25	21	18
Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	22	20	17
Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	20	14	12
Tratti molto erbosi, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	13	10	7
<i>Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide, alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene</i>			
Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	33	25	20
Fondo: ciottoli e massi grossi	25	20	14

Sezioni con scabrezza eterogenea

Metodo di Einstein - Horton (1933-1934)



Ipotesi:

- suddivisione sezione in sub-aree con medesima velocità;
- lungo le superfici di separazione non si esplicano sforzi tangenziali;
- adatto a sezione con scabrezza eterogenea.

Table 3. Equations for Compound or Composite Channel Resistance Coefficient

Eqs.	n_c	Assumptions		Reference
		Concept	Equation	
A	$\frac{\sum n_i A_i}{A}$	Sum of component n weighted by area ratio; or Total shear velocity is weighted sum of subarea shear velocity	$\sqrt{gRS} = \sum \left(\frac{P_i}{P} \sqrt{gR_i S_i} \right)$ $(V_i/V) = (R_i/R)^{7/6}$	U.S. Army Corps of Engineers Los Angeles District Method, see Cox (1973)
B	$\sqrt{\sum n_i^2 \frac{A_i}{A}}$	Total resistance force is equal to sum of subarea resistance forces; or, n_i weighted by $\sqrt{A_i}$	$P\gamma RS = \sum P_i \gamma R_i S_i$ $(V_i/V) = (R_i/R)^{2/3}$	
C	$\frac{A}{\sum (A_i/n_i)}$	Total discharge is sum of subarea discharges	$Q = VA = \sum (V_i A_i) = \sum Q_i$ $(S_i/S) = (R_i/R)^{4/3}$	
D	$\left[\frac{\sum (n_i^{3/2} A_i)}{A} \right]^{2/3}$	Same as Horton and Einstein's Eq. E but derived erroneously		Colebatch (1941)
E	$\left[\frac{1}{P} \sum (n_i^{3/2} P_i) \right]^{2/3}$	Total cross sectional mean velocity equal to subarea mean velocity	$V = V_i$ $A = \sum A_i$ $S = S_i$	Horton (1933) Einstein (1934)
F	$\frac{P}{\sum (P_i/n_i)}$	Total discharge is sum of subarea discharges	$Q = \sum Q_i$ $(S_i/S) = (R_i/R)^{10/3}$	Felkel (1960)
G	$\left[\frac{1}{P} \sum (n_i^2 P_i) \right]^{1/2}$	Total resistance force, F , is sum of subarea resistance forces, $\sum F_i$	$P\gamma RS = \sum P_i \gamma R_i S_i$ $(V_i/V) = (R_i/R)^{1/6}$	Pavlovskii (1931)
H	$\frac{\sum (n_i P_i)}{P}$	Total shear velocity is weighted sum of subarea shear velocity; or, Contributing component roughness is linearly proportional to wetted perimeter	$\sqrt{gRS} = \sum \left(\frac{P_i}{P} \sqrt{gR_i S_i} \right)$ $(V_i/V) = (R_i/R)^{1/6}$ or $n_c P = \sum (n_i P_i)$	Yen (1991)
I	$\left[\frac{R^{1/3}}{P} \sum \frac{n_i^2 P_i}{R_i^{1/3}} \right]^{1/2}$	Total resistance force, F , is sum of subarea resistance forces, $\sum F_i$	$P\gamma RS = \sum P_i \gamma R_i S_i$ $(V_i/V) = 1$	
J	$\left[\frac{\sum n_i^2 P_i R_i^{2/3}}{P R^{2/3}} \right]^{1/2}$	Total resistance force equal to sum of subarea resistance forces	$P\gamma RS = \sum P_i \gamma R_i S_i$ $(V_i/V) = (R_i/R)^{1/2}$	
K	$\frac{P R^{7/6}}{\sum \frac{P_i R_i^{7/6}}{n_i}}$	Total discharge is sum of subarea discharges	$Q = VA = \sum (V_i A_i)$ $(S_i/S) = (R_i/R)$	
L	$\frac{P R^{5/3}}{\sum \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i}}$	Total discharge is sum of subarea discharges	$Q = VA = \sum (V_i A_i)$ $(S_i/S) = 1$ $R = A/P$	Lotter (1993)
M	$\frac{\sum P_i R_i^{5/3}}{\sum \frac{P_i R_i^{5/3}}{n_i}}$	Same as Eq. L with modified definition of R	$Q = VA = \sum (V_i A_i)$ $(S_i/S) = 1$ R from $\frac{P R^{5/3}}{\sum P_i R_i^{5/3}} = \frac{A R^{2/3}}{\sum A_i R_i^{2/3}} = 1$	Ida (1960) Engelund (1964)
N	$\frac{\sum (n_i P_i / R_i^{1/6})}{P / R^{1/6}}$	Total shear velocity, $\sqrt{gRS}$ is weighted sum of subarea shear velocity	$\sqrt{gRS} = \sum \left(\frac{P_i}{P} \sqrt{gR_i S_i} \right)$ $(V_i/V) = 1$	Yen (1991)
O	$\frac{\sum (n_i P_i R_i^{1/2})}{P R^{1/2}}$	Total shear velocity is weighted sum of subarea shear velocity	$\sqrt{gRS} = \sum \left(\frac{P_i}{P} \sqrt{gR_i S_i} \right)$ $(V_i/V) = (R_i/R)^{2/3}$	
P	$\frac{\sum (n_i P_i R_i^{1/3})}{P R^{1/3}}$	Total shear velocity is weighted sum of subarea shear velocity	$\sqrt{gRS} = \sum \left(\frac{P_i}{P} \sqrt{gR_i S_i} \right)$ $(V_i/V) = (R_i/R)^{1/2}$ $S = S_i$, $Q = \sum Q_i$	Yen (1991)
Z	$\exp \left[\frac{\sum P_i h_i^{3/2} \ln n_i}{\sum P_i h_i^{3/2}} \right]$	Logarithmic velocity distribution over depth h for wide channel	$\frac{Q_i}{2.5 \sqrt{gS}} = h_i^{3/2} P_i \left[\ln \left(\frac{10.93 h_i}{k_i} \right) \right]$ $\frac{Q}{2.5 \sqrt{gS}} = \sum h_i^{3/2} P_i \left[\ln \left(\frac{10.93 h_i}{k} \right) \right]$ $n = 0.0342k$	Krishnamurthy and Christensen (1972)

Alcune formule per
il calcolo della
scabrezza composta
(coefficiente di
Manning):

17

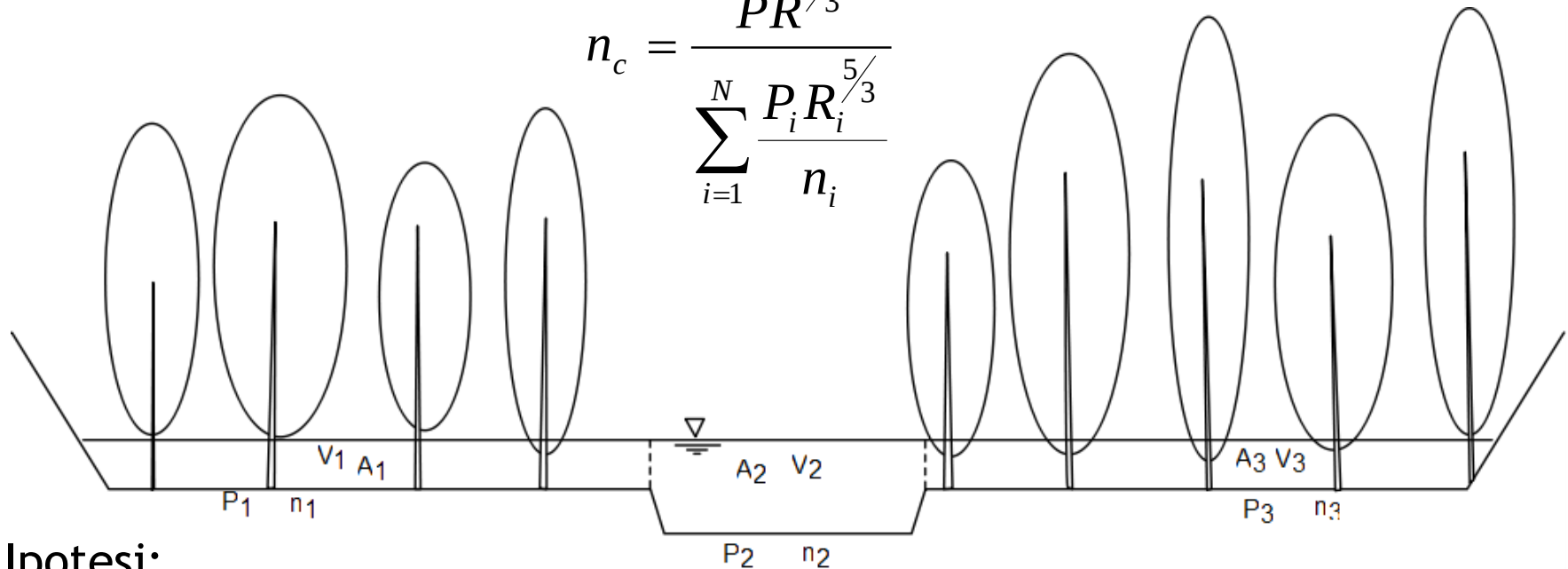
Open Channel Flow Resistance¹

Ben Chie Yen, F.ASCE²

20 / JOURNAL OF HYDRAULIC ENGINEERING / JANUARY 2002

Sezioni con forma composta Metodo di Lotter (1933)

$$n_c = \frac{PR^{\frac{5}{3}}}{\sum_{i=1}^N \frac{P_i R_i^{\frac{5}{3}}}{n_i}}$$



Ipotesi:

- suddivisione sezione in subaree mediante linee verticali;
- lungo le superfici di separazione non si esplicano sforzi tangenziali;
- In genere è utilizzato per alvei con golene.

- L'ipotesi di superfici di separazione dei flussi senza sforzi tangenziali è valida solo se l'estensione è molto contenuta

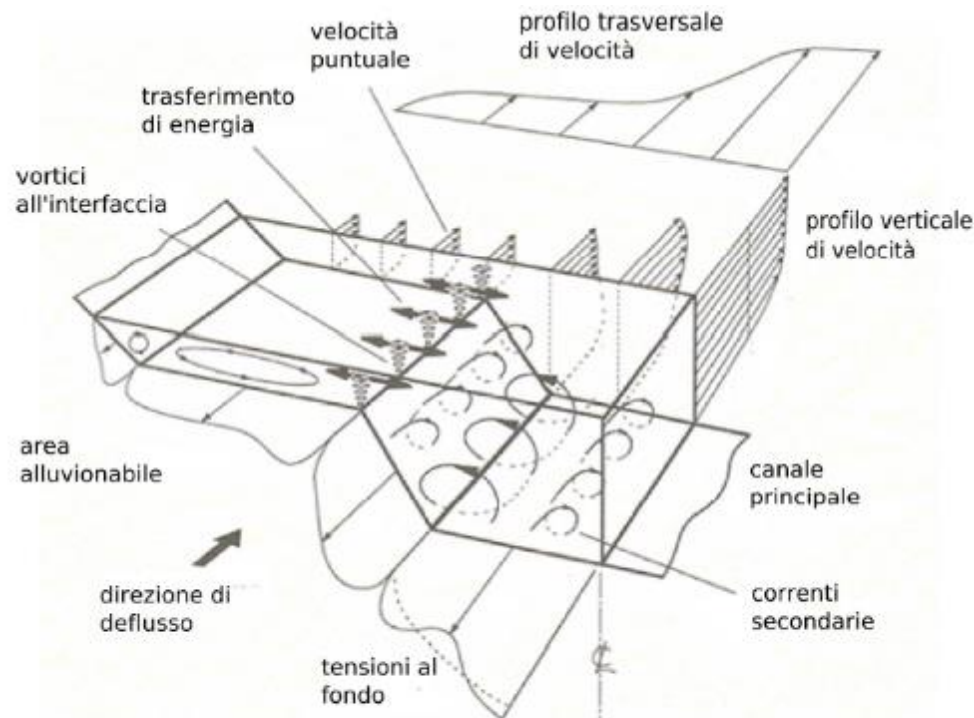
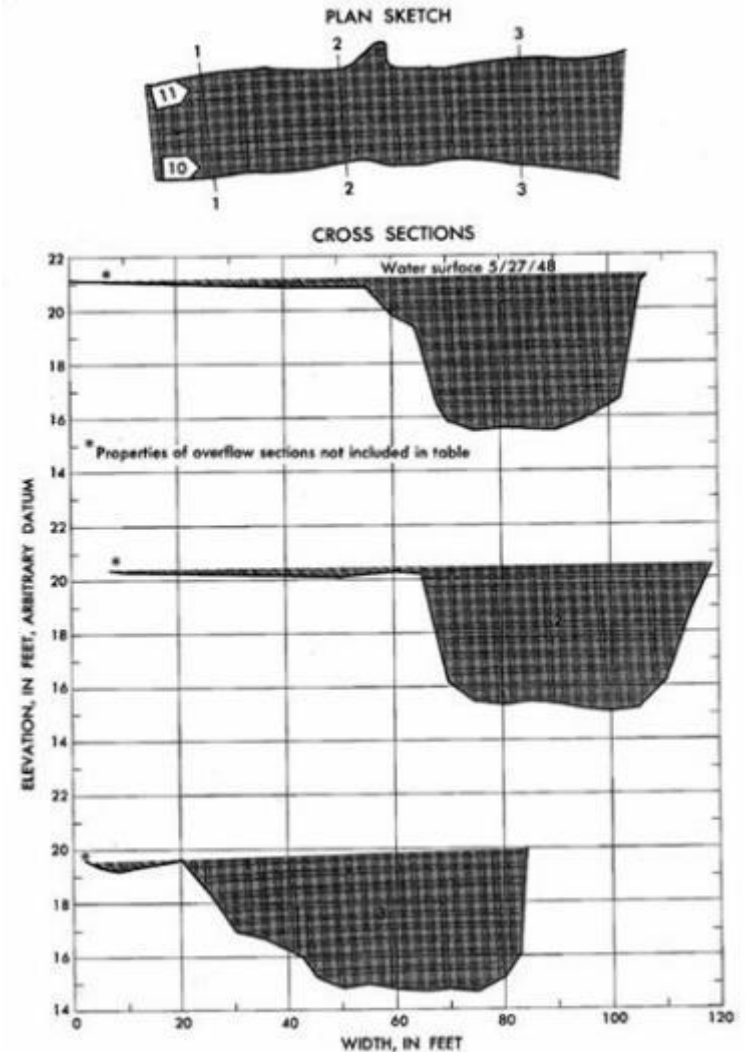
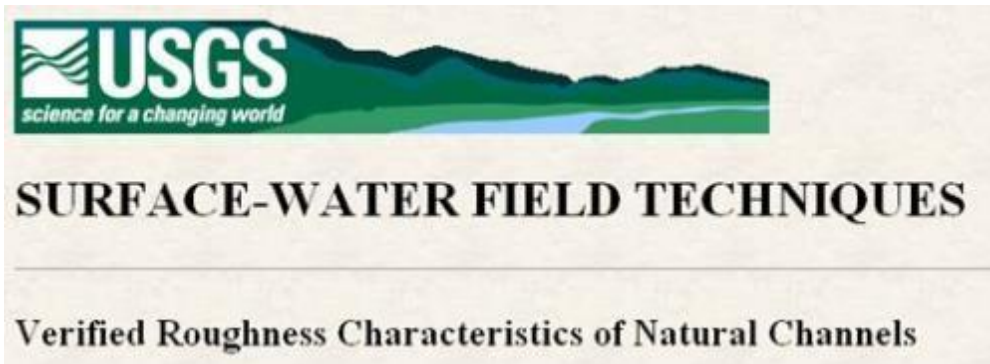


Figura 2.4: scambi di energia tra il canale principale e le golene attraverso la formazione di vortici e correnti secondarie (modificato da Shiono e Knight, 1991).

U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1849



U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1849

Site Description

Station name	Catherine Creek near Union, Oregon
Station number	13-3200
Gage location	Lat 45°09'20", long 117°46'40", in SE 1/4 sec. 2, T. 5 S., R. 40 E., on right bank 3 miles downstream from Little Catherine Creek and 6 miles southeast of Union. Section 1 is about 0.75 mile downstream from gage.
Drainage area	105sq mi
Date of flood	May 27, 1948
Gage height	4.57 ft at gage; 21.21 ft (different datum) at section 1
Peak discharge	1,740 cfs
Computed roughness coefficient	Manning $n = 0.043$
Description of channel	Bed consists of cobbles and small boulders. Banks are lined with small trees and brush, and limbs overhang along left bank.

Reach Properties

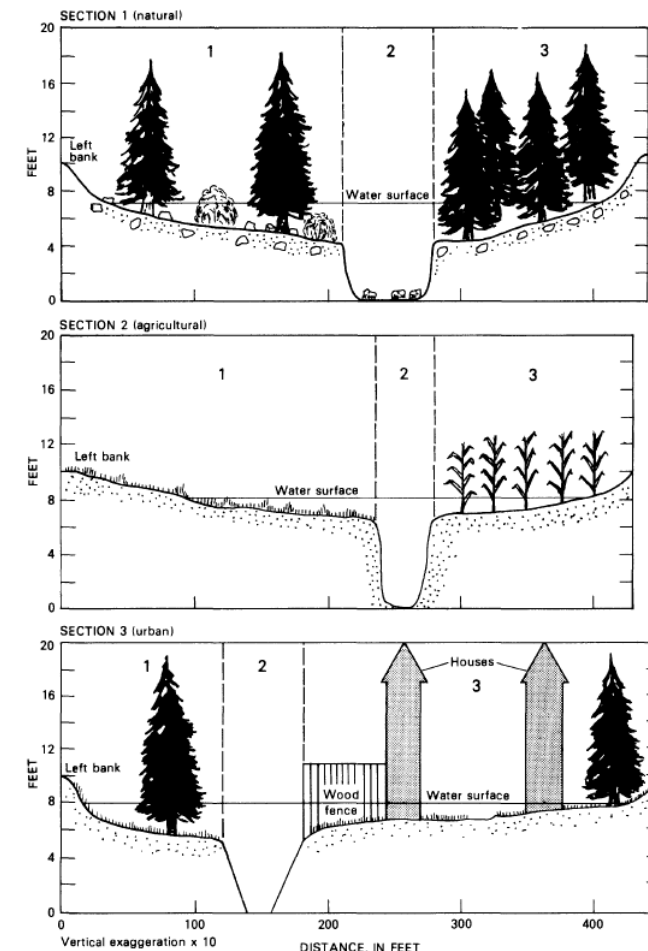
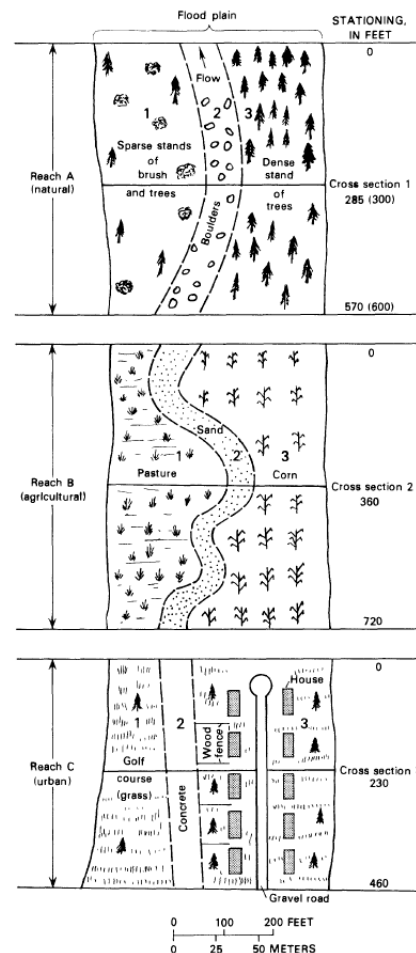
Section	Area (sq ft)	Top Width (ft.)	Mean depth (ft)	Hydraulic radius (ft)	Mean velocity (ft per sec)	Lenght (ft) between sections	Fall (ft) between sections
1	220	52	4.23	4.00	7.91		
2	236	54	4.37	4.15	7.37	102	0.73
3	256	64	4.00	3.76	6.80	116	0.72

Nei canali, e ancor più negli alvei naturali, alla resistenza del contorno si aggiungono altre fonti di perdita di energia dovute alla continua variazione

di geometria del contorno (allargamenti, restringimenti, variazioni di forma, ecc.).

Il loro effetto deve essere incluso nel calcolo.

La metodologia più diffusa a livello pratico (indicata anche dall'AdB del f. Po) è quella additiva di Cowan (1956)



- Un approccio tutt'ora validissimo alla stima delle resistenze in alvei naturali è quello fornito dalla procedura, sempre dell'USGS, della resistenza additiva.
- In tale procedura, il valore del coefficiente di scabrezza di Manning viene calcolato sommando il contributo di tutti i fattori che provocano resistenze al flusso (materiale, forme, ostacoli, vegetazione):

$$n = (n_o + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

$n_0 = f(\text{tipologia di materiale del fondo})$

valore di base per n valido per un canale
rettilineo, uniforme in materiale naturale

Materiale costituente l'alveo	Dimensione media del materiale (mm)	Valore di base per n
Sabbia fine	0,2	0,012
Sabbia media	0,5	0,022
Sabbia grossolana	1,0	0,026
Sabbia molto grossolana	1-2	0,026-0,035
Ghiaia	2-64	0,028-0,035
Ciottoli	64-256	0,030-0,050
Massi	>256	0,040-0,070

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

$$n_1 = f(\text{irregolarità fondo})$$

valore aggiuntivo per tener conto
delle irregolarità della superficie

Irregolarità della superficie della sezione	Fattore di correzione per n	Caratteristiche
Trascurabile	0,000	Canali regolari con materiale del fondo ben distribuito.
Bassa	0,001-0,005	Canali in buone condizioni aventi però le sponde leggermente erose.
Moderata	0,006-0,010	Canali dragati aventi scabrezza dell'alveo da moderata a considerevole e sponde moderatamente erose.
Elevata	0,011-0,020	Canali aventi sponde pesantemente erose.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

$n_2 = f(\text{variabilità della forma e delle dimensioni della sezione})$

valore aggiuntivo per tener conto delle variazioni di forma e dimensioni del canale

Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Fattore corr. per n	Caratteristiche
Graduale	0,000	La dimensione e la forma della sezione trasversale del canale varia gradualmente.
Variazione occasionale	0,001-0,005	Sezioni trasversali grandi e piccole si succedono occasionalmente.
Variazione frequente	0,010-0,015	Sezioni trasversali grandi e piccole si succedono frequentemente.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

$n_3 = f(\text{presenza di elementi di occlusione})$

valore aggiuntivo per tener conto di ostacoli in alveo

Effetto relativo di ostruzioni	Fattore corr. per n	Caratteristiche
Trascurabile	0,000-0,004	Ostruzioni poco diffuse: queste comprendono depositi di detrito, ceppi, tronchi, radici esposte o massi isolati che occupino meno del 5% della sezione.
Modesto	0,005-0,015	Le ostruzioni occupano dal 5% al 15% della sezione e la distanza tra di esse è tale che la sfera di influenza intorno ad una ostruzione non si estende fino alla sfera che si trova intorno ad un'altra.
Apprezzabile	0,020-0,030	Le ostruzioni occupano dal 15% al 50% della sezione o la distanza tra di esse è sufficientemente piccola da far sì che gli effetti delle diverse ostruzioni si sommino, in modo che viene ostruita, di conseguenza, una frazione equivalente della sezione.
Elevato	0,040-0,050	Le ostruzioni occupano più del 50% della sezione o la distanza fra di esse è sufficientemente piccola da causare turbolenza attraverso la maggior parte della sezione.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

$n_4 = f(\text{presenza di vegetazione})$

valore aggiuntivo per tener conto della vegetazione e delle condizioni di deflusso

Effetto della vegetazione	Fattore corr. per n	Caratteristiche
Basso	0,002-0,010	Fitta vegetazione erbacea che si sviluppi dove la profondità media della corrente è da una a due volte l'altezza della vegetazione stessa; vegetazione arbustiva flessibile, come il salice, che si sviluppi dove la profondità media della corrente è almeno tre volte l'altezza della vegetazione stessa.
Medio	0,010-0,025	Vegetazione erbacea che si sviluppi dove la profondità media della corrente è da due a tre volte l'altezza della vegetazione stessa; vegetazione arbustiva moderatamente fitta, simile a delle piante di salice di 1 o 2 anni durante la stagione invernale, che cresca lungo le rive e dove non sia presente vegetazione significativa lungo il fondo del canale dove il raggio idraulico è maggiore di 0,61 m.
Alto	0,025-0,050	Vegetazione erbacea che si sviluppi dove la profondità media della corrente è circa uguale all'altezza della vegetazione stessa; piante di salice di 8-10 anni (in riposo vegetativo) cresciute insieme a vegetazione erbacea dove il raggio idraulico sia superiore a 0,60 m; salici di 1 anno circa cresciuti insieme a vegetazione erbacea lungo le sponde (durante la stagione vegetativa), dove non sia presente vegetazione significativa lungo il fondo del canale con un raggio idraulico maggiore di 0,61 m.
Molto alto	0,050-0,100	Vegetazione erbacea che si sviluppi dove la profondità media della corrente è meno della metà dell'altezza della vegetazione stessa; piante di salice di circa 1 anno con vegetazione erbacea lungo le sponde (durante la stagione vegetativa), o fitta vegetazione di <i>typha</i> lungo il fondo del canale.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m$$

$$m = f(\text{sinuosità dell'alveo})$$

fattore di correzione per tener conto della meandrizazione

Grado di sinuosità dell'alveo (m)	Fattore moltiplicativo	Caratteristiche
Modesto	1,00	Il rapporto fra la lunghezza effettiva del canale ed il percorso rettilineo compiuto dallo stesso è compreso fra 1,0 e 1,2.
Apprezzabile	1,15	Il rapporto fra la lunghezza effettiva del canale ed il percorso rettilineo compiuto dallo stesso è compreso fra 1,2 e 1,5.
Elevato	1,30	Il rapporto fra la lunghezza effettiva del canale ed il percorso rettilineo compiuto dallo stesso è maggiore di 1,5.

Presenza di vegetazione

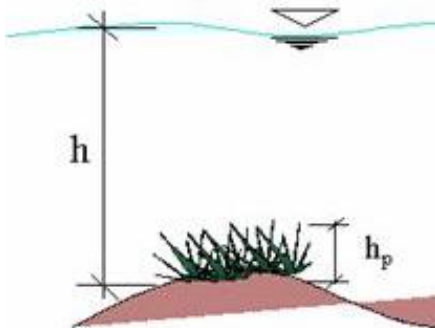
- La vegetazione in genere costituisce un ostacolo al deflusso in alveo ma essendo costituita da un «materiale» dotato di una certa flessibilità, il suo comportamento non è costante ma varia, spesso a favore, a seconda delle condizioni idrauliche che si verificano nell'alveo.
- L'aumento di scabrezza genera un rallentamento della corrente e un conseguente innalzamento dei tiranti. Ciò può determinare un aumento del pericolo di esondazione ovvero un effetto di ritardo dell'ondata di piena
- L'utilizzo della vegetazione può avere effetti positivi e negativi da valutarsi caso per caso

I diversi tipi di vegetazione interagiscono con il deflusso in maniera differente in funzione delle proprie caratteristiche geometriche e meccaniche, e del rapporto di sommergenza (rapporto tra livello idrometrico e altezza delle piante).

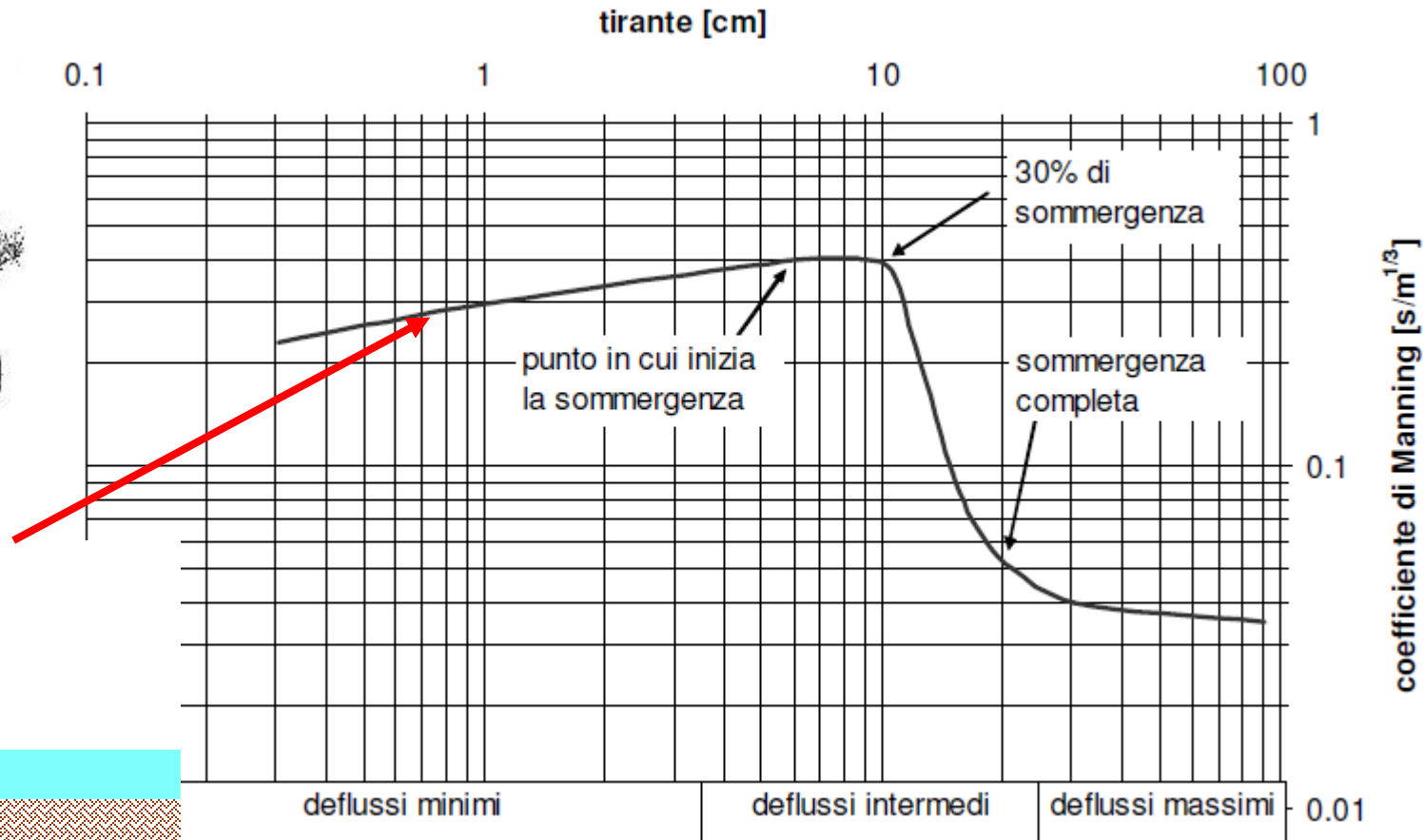
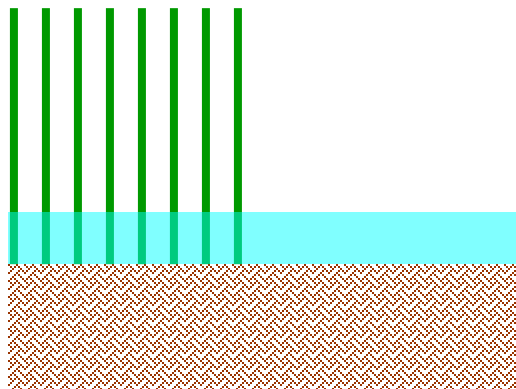
- La vegetazione erbacea è molto flessibile e viene facilmente sommersa con un rapporto di sommersenza molto elevato.

Ne consegue che l'effetto di resistenza esercitato dalla vegetazione erbacea è assolutamente trascurabile durante le piene quando la forza della corrente piega e «schiaccia» gli steli che quindi diminuiscono l'effetto di freno alla corrente

VEGETAZIONE
ERBACEA
 $h_p \ll h$

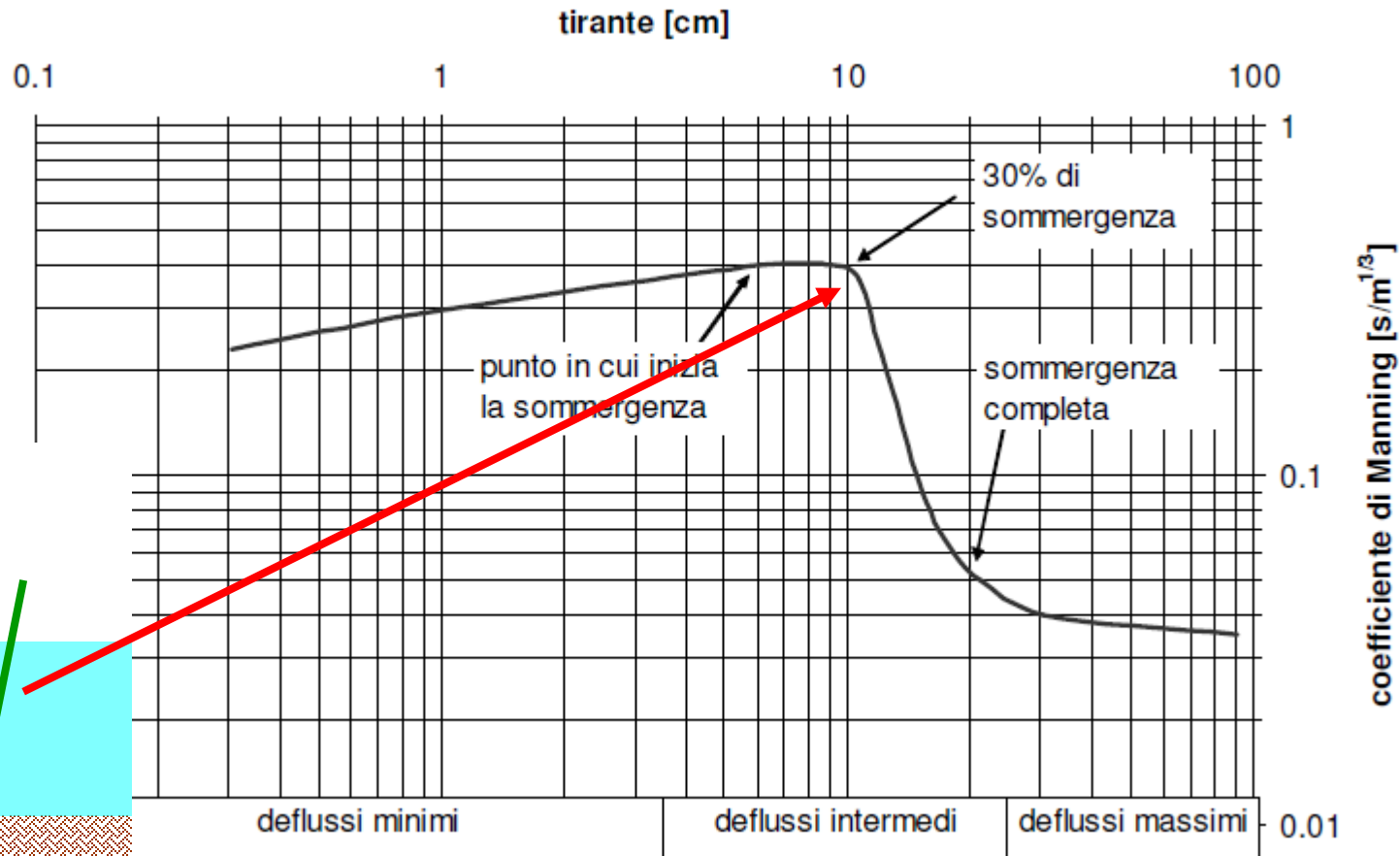
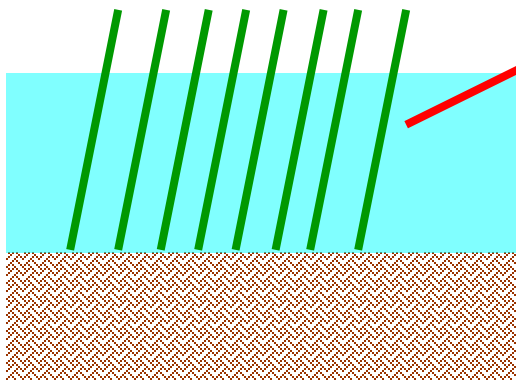


Ree, 1949 in Schwab et al., 1981
 Immagine da wikipedia



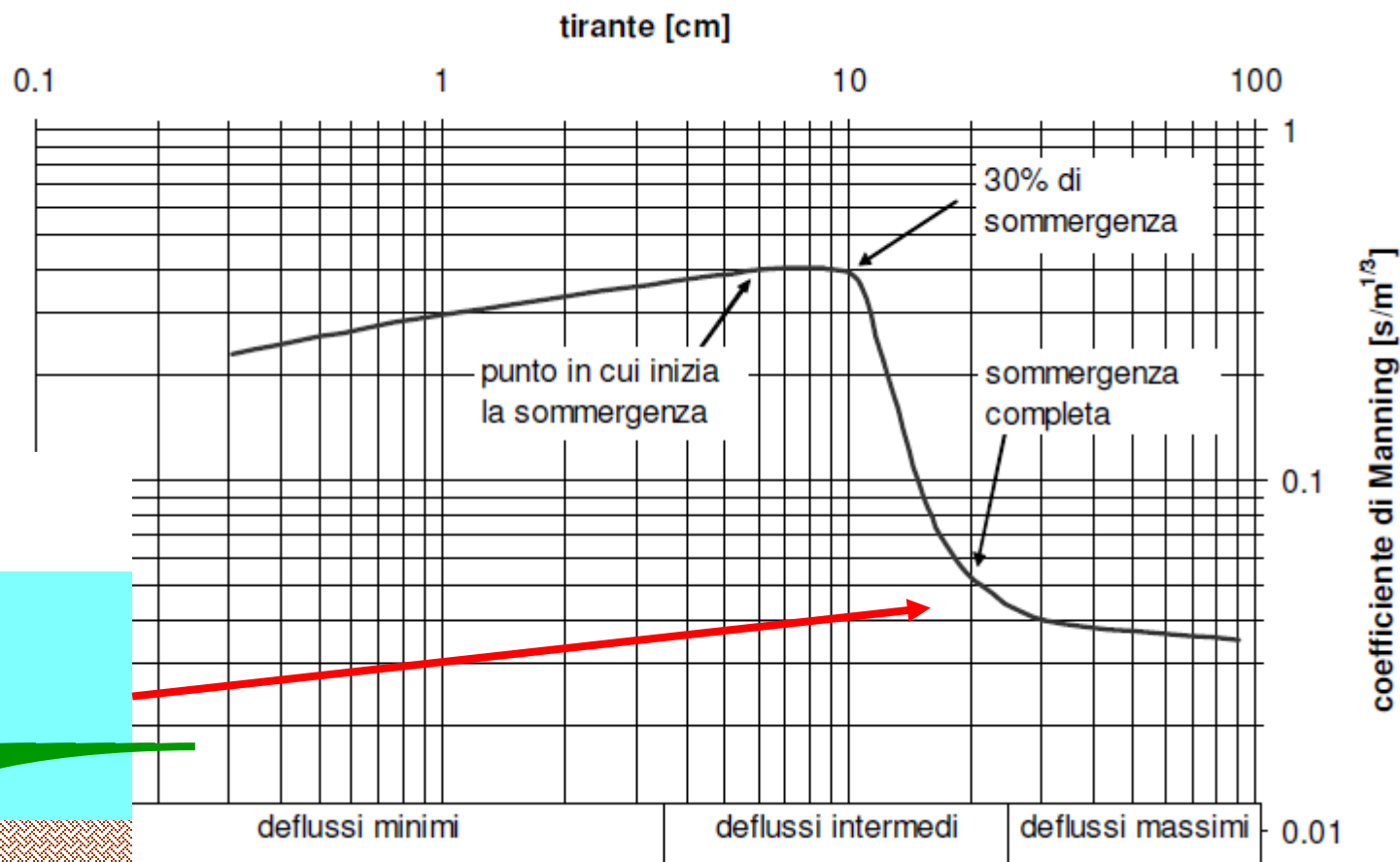
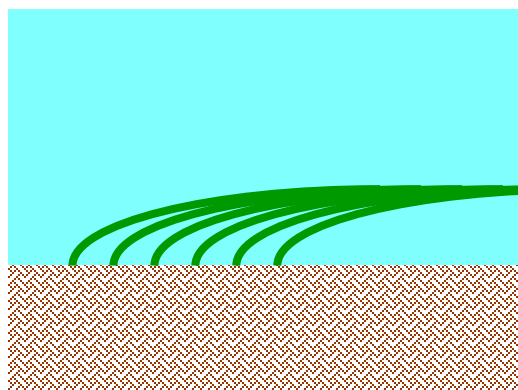
vegetazione erbacea di media lunghezza (*Bermuda grass*) in un canale con pendenza del 5%

Ree, 1949 in Schwab et al., 1981
 Immagine da wikipedia



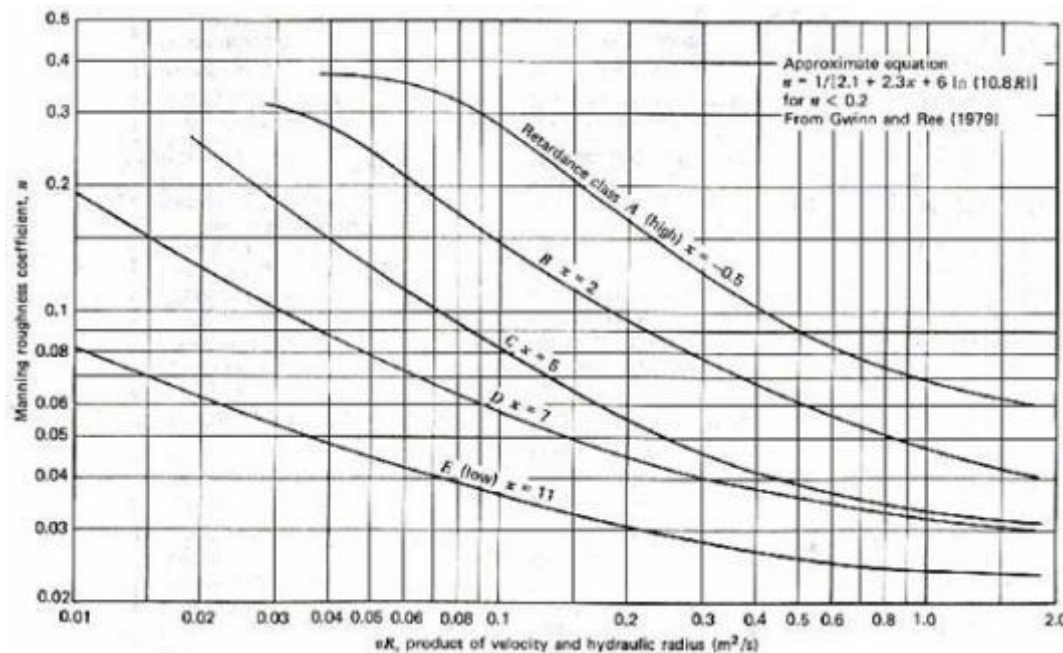
vegetazione erbacea di media lunghezza (*Bermuda grass*) in un canale con pendenza del 5%

Ree, 1949 in Schwab et al., 1981
 Immagine da wikipedia



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

Metodo S.C.S. U.S.D.A. (1966, in Schwab et al., 1981)



Densità	Altezza media (cm)	X	Categoria
Buona	>76	-0,5	A
"	28-61	2	B
"	15-25	5	C
"	5-15	7	D
"	<5	11	E
Scarsa	>76	2	B
"	28-61	5	C
"	15-25	7	D
"	5-15	7	D
"	<5	11	E

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

Condizioni di ricerca e applicabilità:

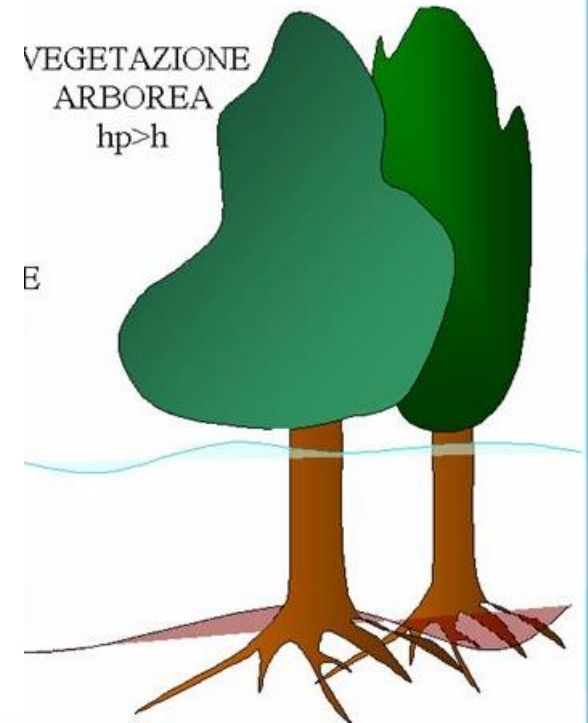
- alvei sufficientemente larghi da poter trascurare l'effetto delle sponde
- copertura erbosa (h_v : 5 - 90 cm) totalmente sommersa

Kouwen e Unny (1968)

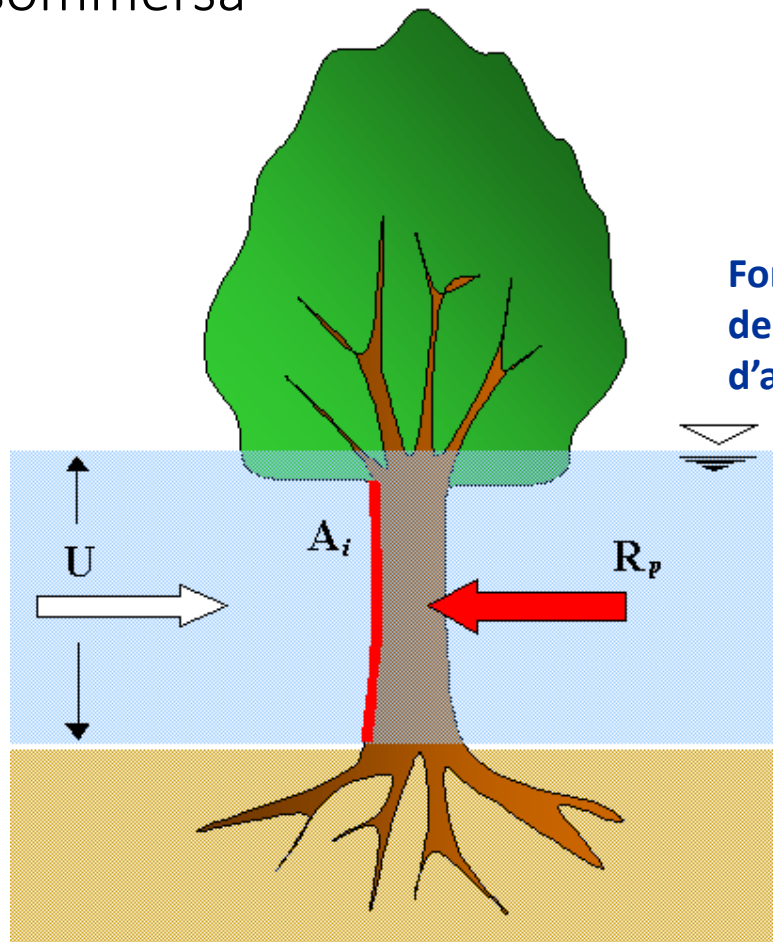
$$n = 0.14h_{veg} \left(\frac{\left(\frac{MEI}{\tau_0} \right)^{0.25}}{h_{veg}} \right)^{1.59}$$

La vegetazione arborea

- Al contrario gli alberi non vengono quasi mai sommersi completamente e vengono investiti dalla corrente solo nella porzione legnosa, che è rigida e rallenta la corrente senza farsi deformare.
- Questo tipo di vegetazione esercita quindi una elevata resistenza e riduzione della velocità.



Vegetazione arborea o arbustiva a comportamento rigido parzialmente sommersa



do di Petryk – Bosmanjian (1975)

Sforzi sul
contorno
bagnato

Forza peso
del volume
d'acqua

$$\gamma JAL = \tau_0 PL + \sum_{i=1}^N R_{p_i}$$

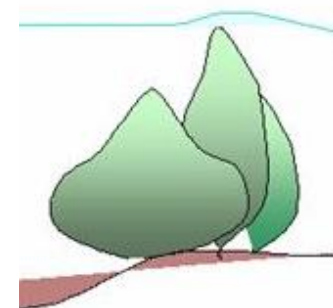
$$n_{eq} = \sqrt{n_{base} + \frac{R^{4/3}}{2g} \sum_{i=1}^N C_D \frac{A_{p_i}}{AL}}$$

Rappresenta la densità della
vegetazione

La vegetazione arbustiva ha caratteristiche meccaniche intermedie tra la vegetazione erbacea (massima flessibilità) e vegetazione arborea (massima rigidità). Inoltre l'altezza delle piante è in genere nello stesso ordine di grandezza del livello idrometrico.

Il comportamento in termini di resistenza al deflusso è quindi intermedia tra gli altri due tipi di vegetazione, ma soprattutto cambia il proprio comportamento con le caratteristiche della corrente.

VEGETAZIONE
ARBUSTIVA
 $h_p = h$



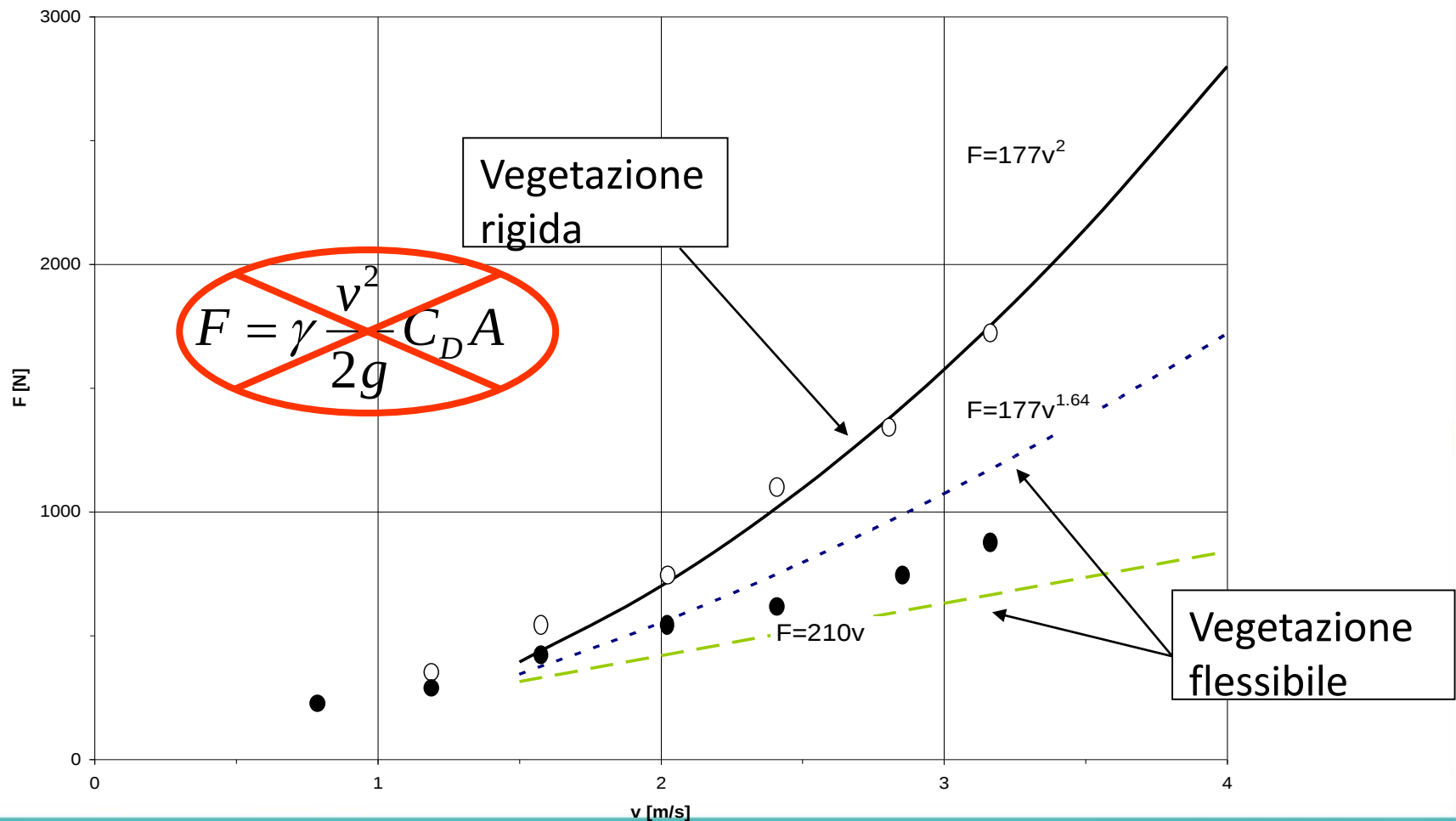
Vegetazione arbustiva flessibile parzialmente sommersa



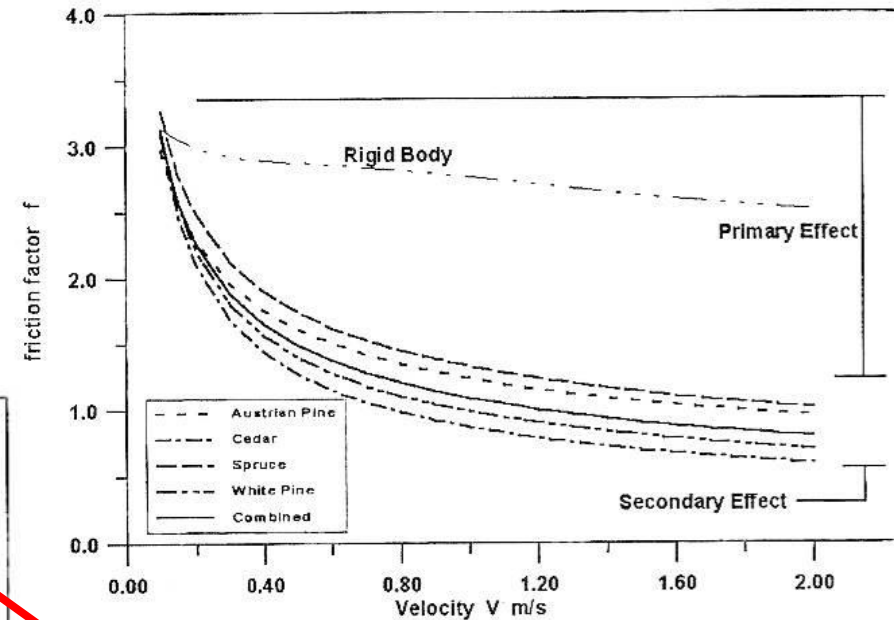
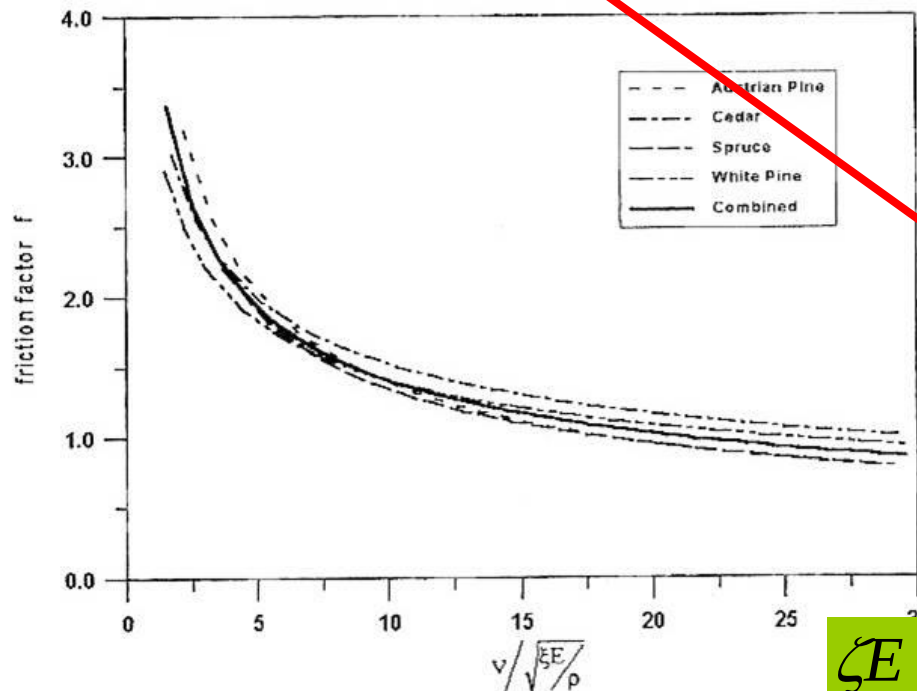
(da Kouwen, 2003)

Vegetazione arbustiva flessibile parzialmente sommersa

Modificato da Vischer e O'Platka (1998)



$$n = 0.228 \left(\frac{v}{\sqrt{\frac{(\zeta E)}{\rho}}} \right)^{-0.23} \sqrt{\frac{h}{h_{veg}}}$$

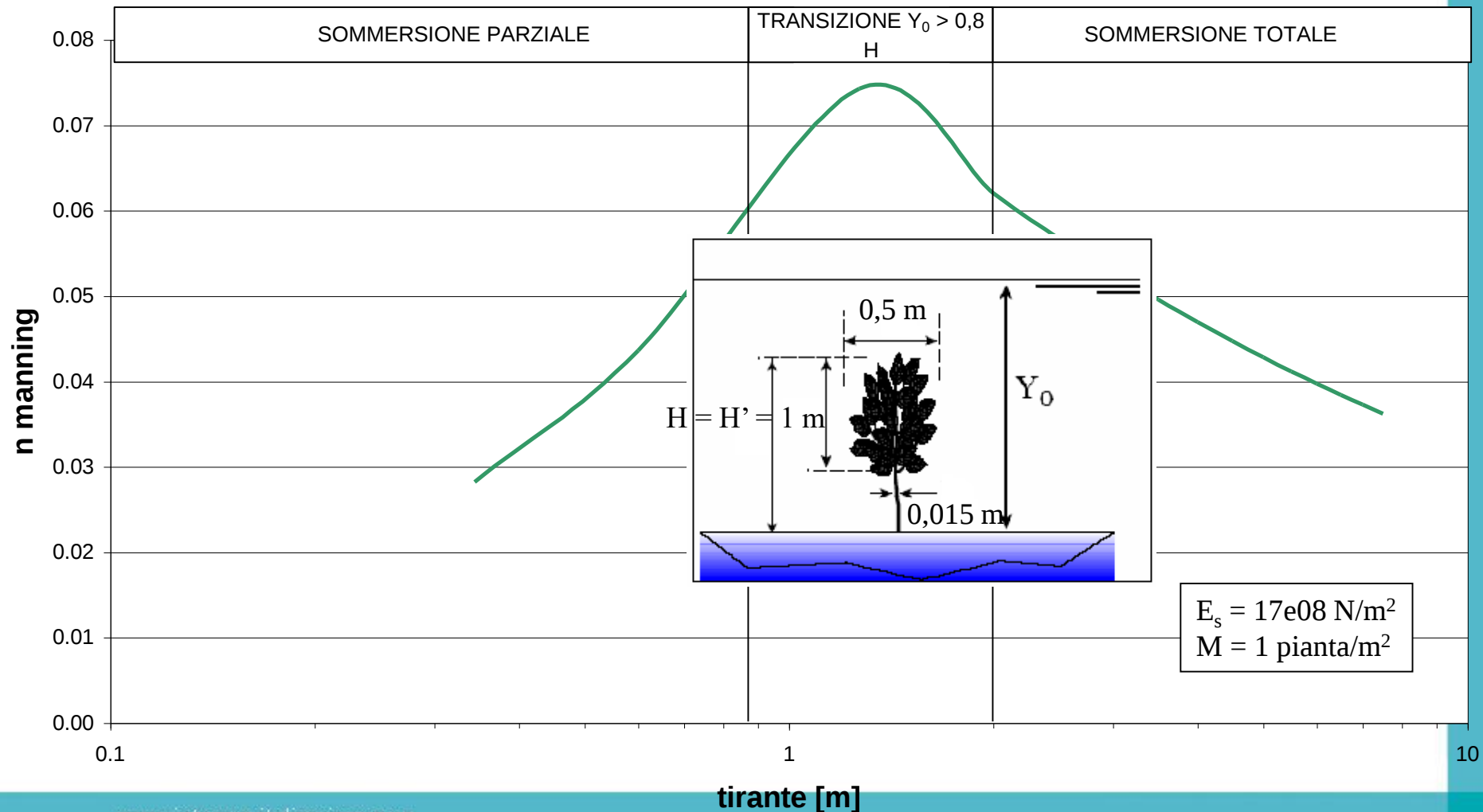


Indice di vegetazione

Che tiene conto dell'elasticità dei rami e della superficie fogliare

$$\zeta E = f(\text{massa, frequenza di risonanza})$$

variazione della scabrezza in funzione del tirante



Freeman et al. (2000)

$n = K_n 0.183 \left(\frac{E_s A_s}{\rho A_i V_*^2} \right)^{0.183} \left(\frac{H}{Y_o} \right)^{0.243} (M A_i)^{0.175} \left(\frac{v}{V_* R_h} \right)^{0.115} \left(\frac{1}{V_*} \right) (R_h)^{2/3} (S)^{1/2}$ con $H < 0,8 Y_o$

Equilibrio tra le forze in gioco (red circle around $\frac{E_s A_s}{\rho A_i V_*^2}$)

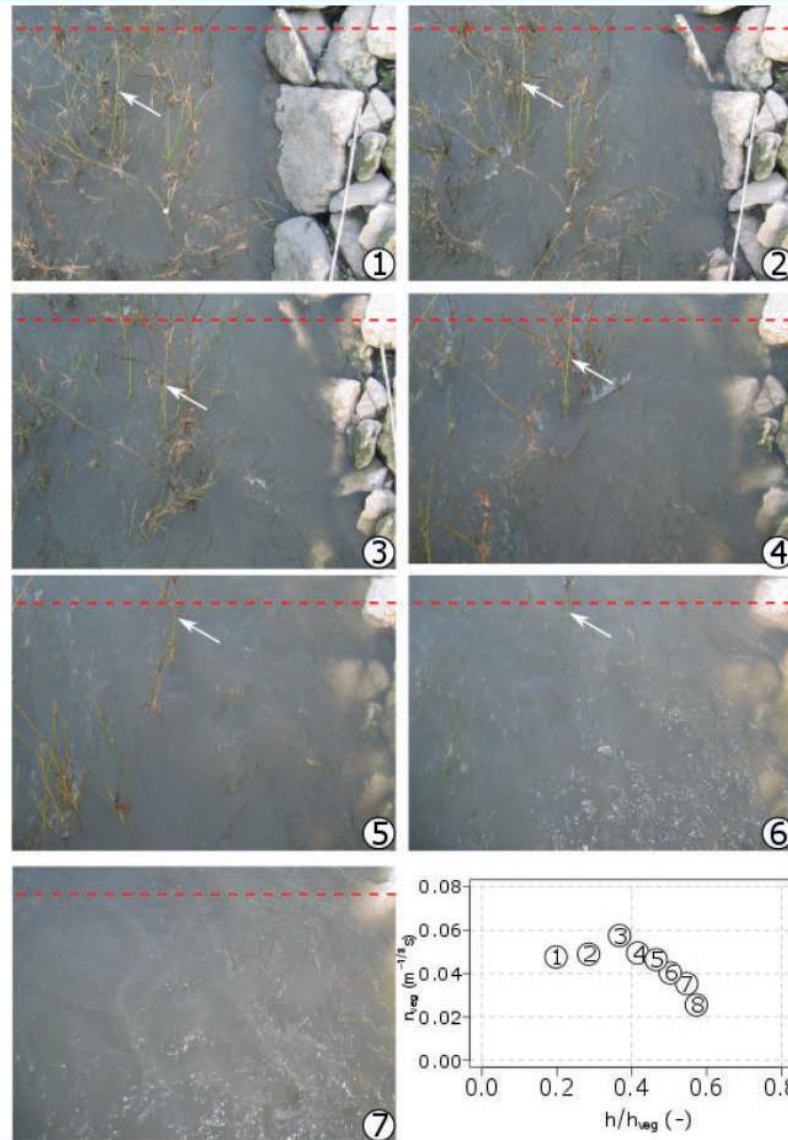
Grado di sommergenza (blue circle around $\left(\frac{H}{Y_o} \right)$)

Densità di vegetazione (green circle around $(M A_i)$)

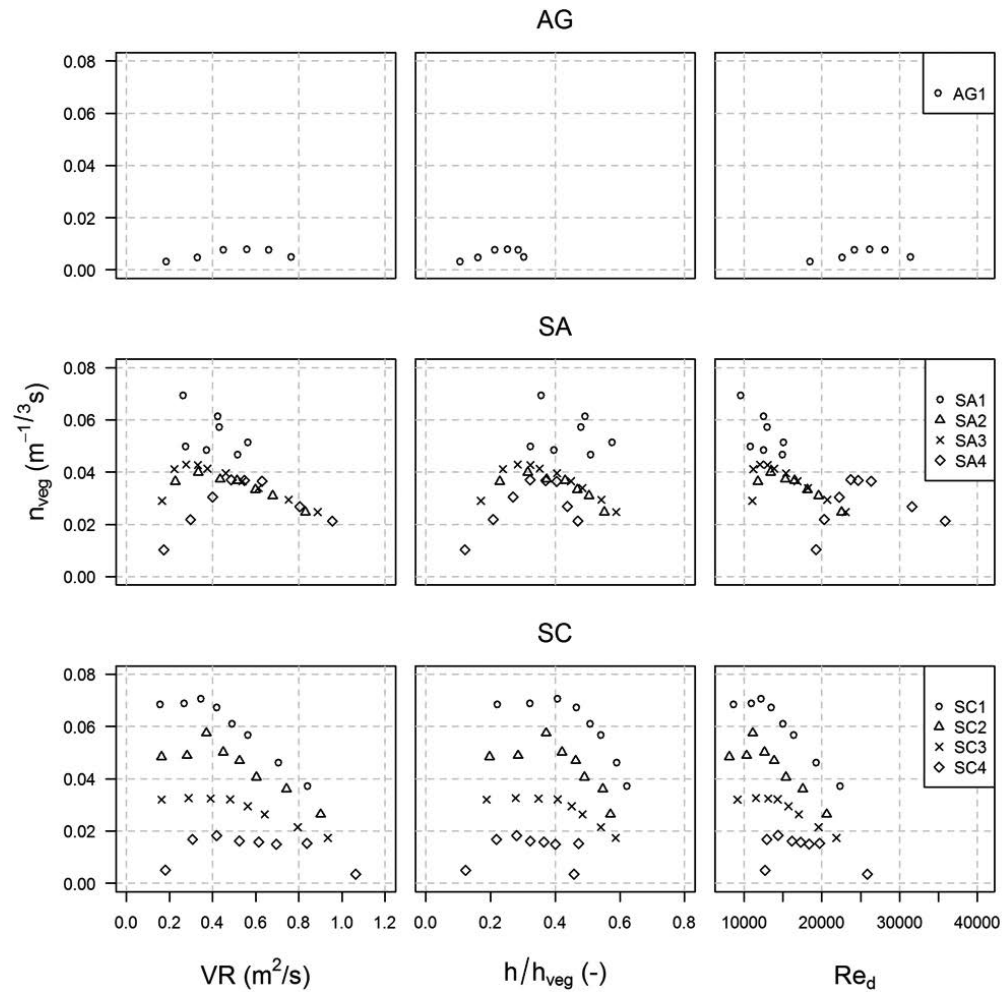
R_e = tipo di moto (blue circle around $\left(\frac{v}{V_* R_h} \right)$)

Forza motrice (blue circle around $\left(\frac{1}{V_*} \right) (R_h)^{2/3} (S)^{1/2}$)

$n = K_n 3.487E-05 \left(\frac{E_s A_s}{\rho A_i^* V_*^2} \right)^{0.150} (M A_i^*)^{0.166} \left(\frac{V_* R_h}{v} \right)^{0.622} \left(\frac{R_h^{2/3} S^{1/2}}{V_*} \right)$ con $H > 0,8 Y_o$



Chiaradia, E.A., Gandolfi, C., Bischetti, G.B., 2019. Flow resistance of partially flexible vegetation: A full-scale study with natural plants. *Journal of Agricultural Engineering* 50, 55–65.
<https://doi.org/10.4081/jae.2019.885>



Chiaradia, E.A., Gandolfi, C., Bischetti, G.B., 2019. Flow resistance of partially flexible vegetation: A full-scale study with natural plants. *Journal of Agricultural Engineering* 50, 55–65. <https://doi.org/10.4081/jae.2019.885>

Portata in alvei con vegetazione arbustiva

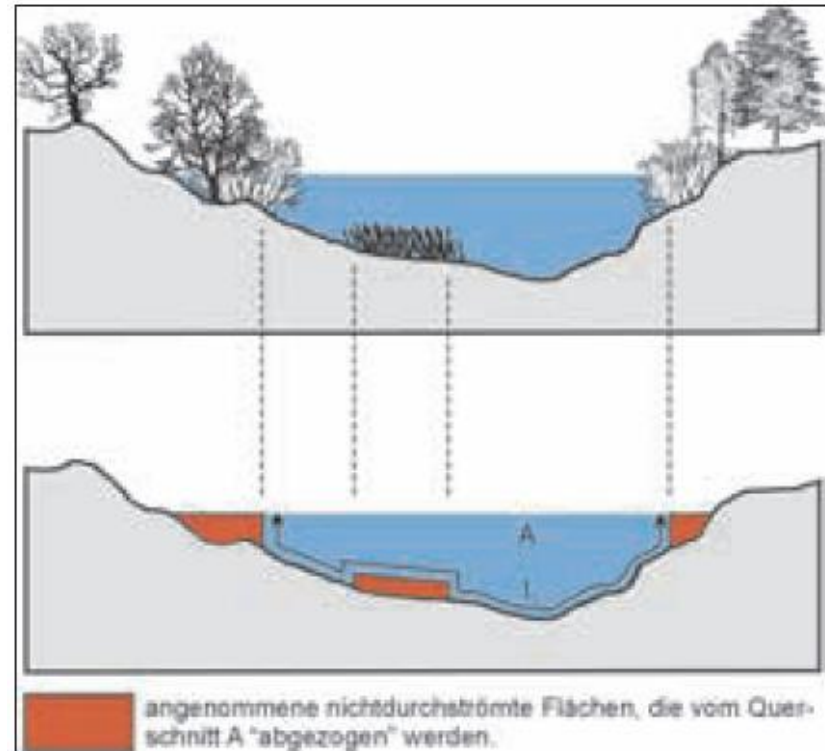
h	1 m				
l	8 m				
i	0.05 m/m				
R	0.8 m				
				I	
Petryk e Bosmajian (1975)					
C	n0	Vegd	n	v	Q
[-]	[m ^{1/3} s]	[m ² /m ³]	[m ^{1/3} s]	[m/s]	[m ³ /s]
5	0.025	0.03	0.0794	0.6009	4.81
Vegetazione flessibile					
v*	CdA	CdA/a	n	v	Q
[m/s]	[m ²]	[-]	[m ^{1/3} s]	[m/s]	[m ³ /s]
1.00	0.4200	0.0840	0.0378	1.26	10.10
1.30	0.3231	0.0646	0.0331	1.44	11.52
1.40	0.3000	0.0600	0.0319	1.49	11.95
1.50	0.2800	0.0560	0.0308	1.55	12.37
1.55	0.2710	0.0542	0.0303	1.57	12.58
1.60	0.2625	0.0525	0.0299	1.60	12.78

Calcolo con sottrazione di superfici

Tiene conto dell'effetto riduttivo sulla portata, esercitato dalla vegetazione, sottraendo le superfici della sezione di deflusso attraversate con difficoltà e modificando di conseguenza il contorno bagnato con data scabrezza.

L'ipotesi è che l'acqua fluisca a stento nelle parti dell'alveo interessate da vegetazione legnosa e quindi esse debbano essere sottratte alla sezione di deflusso.

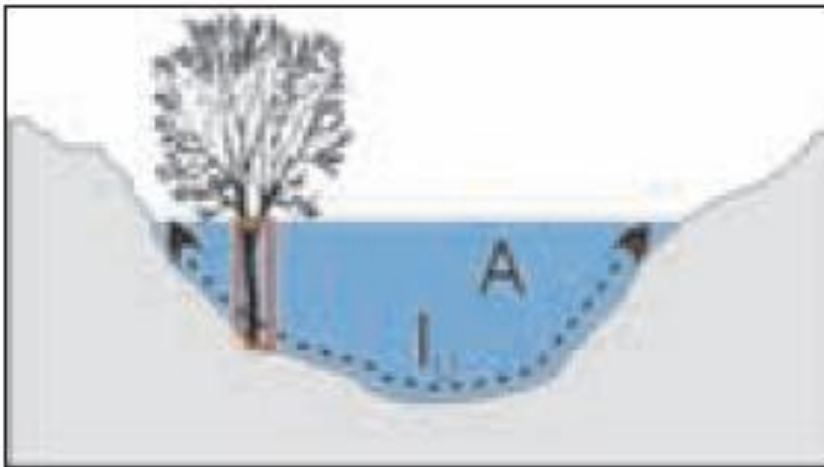
Il problema principale è la determinazione della superficie da sottrarre in cui giocano un ruolo essenziale sia la densità sia la tipologia delle specie e la loro capacità di piegarsi sotto l'influsso della corrente.



- In primavera il canneto è così flessibile che si piega completamente quando è sommerso; si può quindi omettere la sottrazione della sua superficie. Il coefficiente di Strickler prescelto è simile a quello dell'erba. Viceversa, in autunno e all'inizio dell'inverno, le canne sono più rigide e tendono a rompersi, quando sono sommerse. Le stagioni intermedie costituiscono periodi di transizione.
- In modo analogo, anche i giovani salici ed altre specie flessibili di legno dolce, quando sono sommersi, si piegano sotto l'azione della corrente, riducendo quindi la resistenza al deflusso.
- Una regola empirica adottata per i popolamenti vegetali, che solo in parte non sono attraversati dalla corrente, consiste nel sottrarre dalla sezione di deflusso $1/3$ dell'altezza massima di sviluppo.

singoli elementi avvolti dalla corrente

- Nel caso d'esemplari vegetali isolati, avvolti ma non completamente sommersi dalla corrente, si sottrae la relativa superficie dalla sezione di deflusso efficace.
- Questi elementi non sono invece considerati nella determinazione del contorno bagnato.

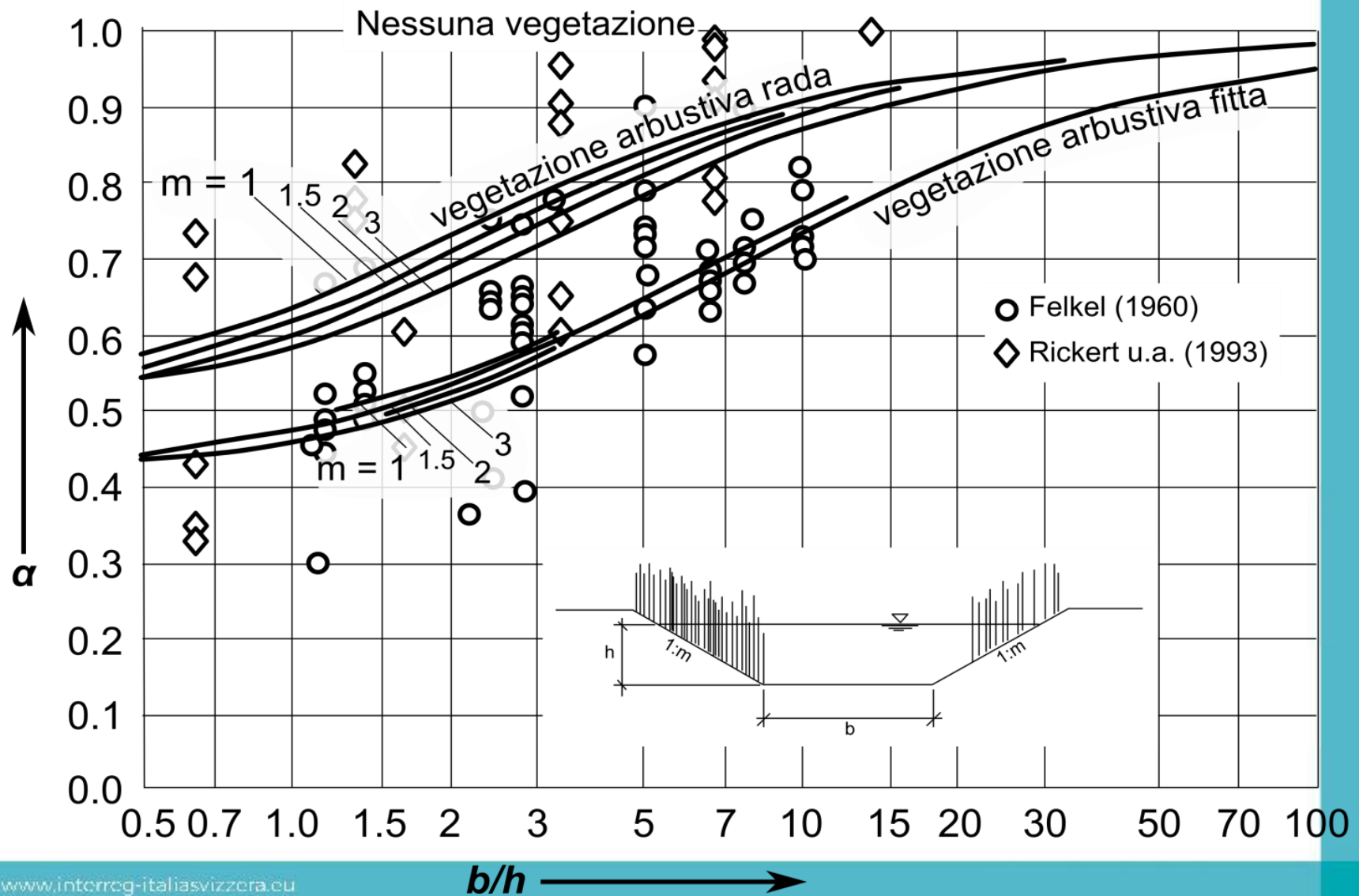


L'idea di fondo è quella di avere un coefficiente moltiplicativo (minore di 1) da applicare al valore di portata calcolato secondo le consuete relazioni ed un coefficiente di scabrezza che tiene conto del solo materiale che costituisce il fondo e le sponde del corso d'acqua:

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

con α coefficiente di riduzione da valutare con l'ausilio di diagrammi

diagrammi di Kauch



Alvei naturali montani

Gli alvei montani e pedemontani sono caratterizzati da una granulometria del fondo e delle sponde di grandi dimensioni. Questo determina una macroscabrezza che provoca una resistenza che è prevalentemente legata alla dimensione del materiale stesso ed al livello di sommersione.



Relazioni basate sulla granulometria

$$n = \frac{(0.1129)R^{0.167}}{1.16 + 2.0 \log(R/d_{84})}$$

Limerinos (1970): $i=0.00068-0.024$, $d_{84}=2-75$ cm, $R/d_{84}=0.9-47.2$, $Q=5.62-427$ m³/s

$$n = \frac{(0.3193)R^{0.167}}{4 + 5.62 \log(R/d_{84})}$$

Bathurst (1985): $i=0.004-0.04$, $d_{84}=11.3-74$ cm, $R/d_{84}<10$, $Q=0.14-195$ m³/s

$$n = 0.32i^{0.38}R^{-0.16}$$

Jarrett (1984,1985,1987): $i=0.002-0.052$, $d_{84}=10-80$ cm, $R=0.15-2.2$, $Q=0.34-127$ m³/s

$$n = \frac{(0.3193)R^{0.167}}{5.75 \left\{ 1 - \exp \left[-0.05(R/d_{90})(1/i^{0.5}) \right] \right\}^{0.5} \log[8.2(R/d_{90})]}$$

Qualunque sia la relazione adottata, quando il rapporto tra la larghezza dell'alveo e il livello idrometrico supera il valore di 10, la resistenza generata dalle sponde è poco rilevante rispetto a quella generata dal fondo.

Chiaramente questo vale solo per alvei privi di piana alluvionale che è fondamentale per convogliare le portate di piena

Tensioni esercitate dalla corrente sul
contorno bagnato e resistenza del
sedimento

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \approx \gamma h i$$

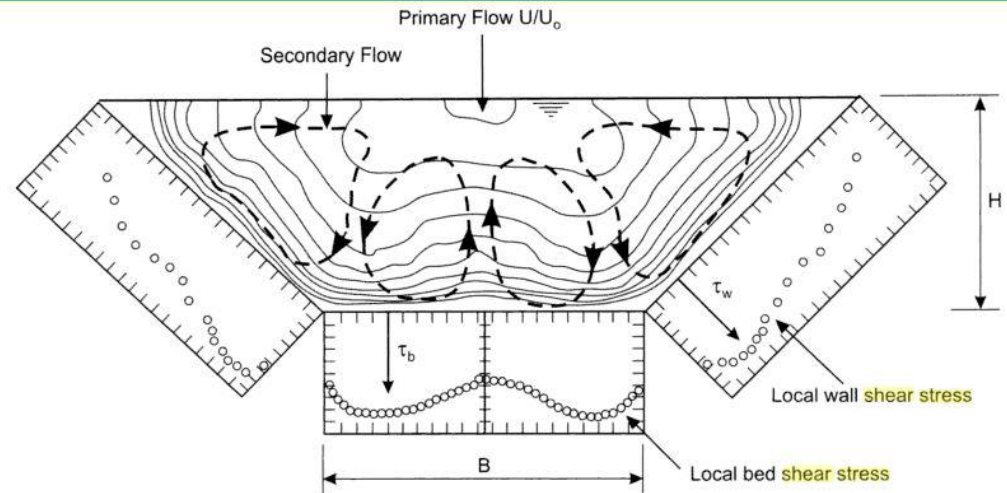
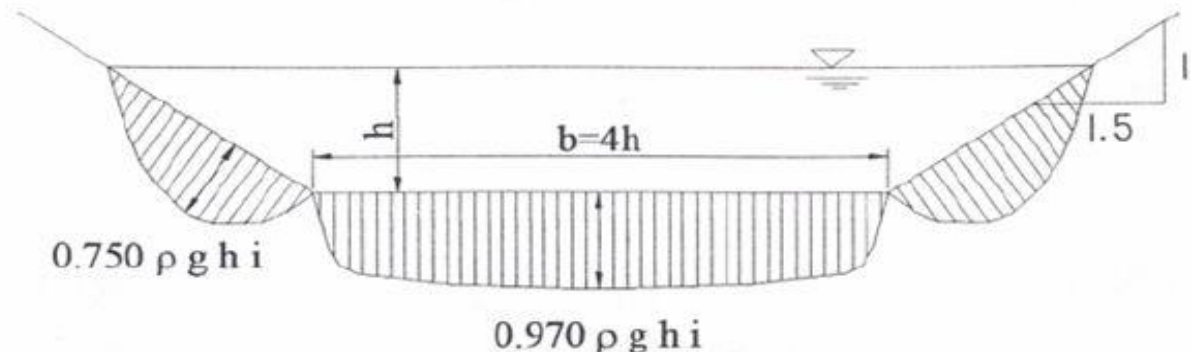


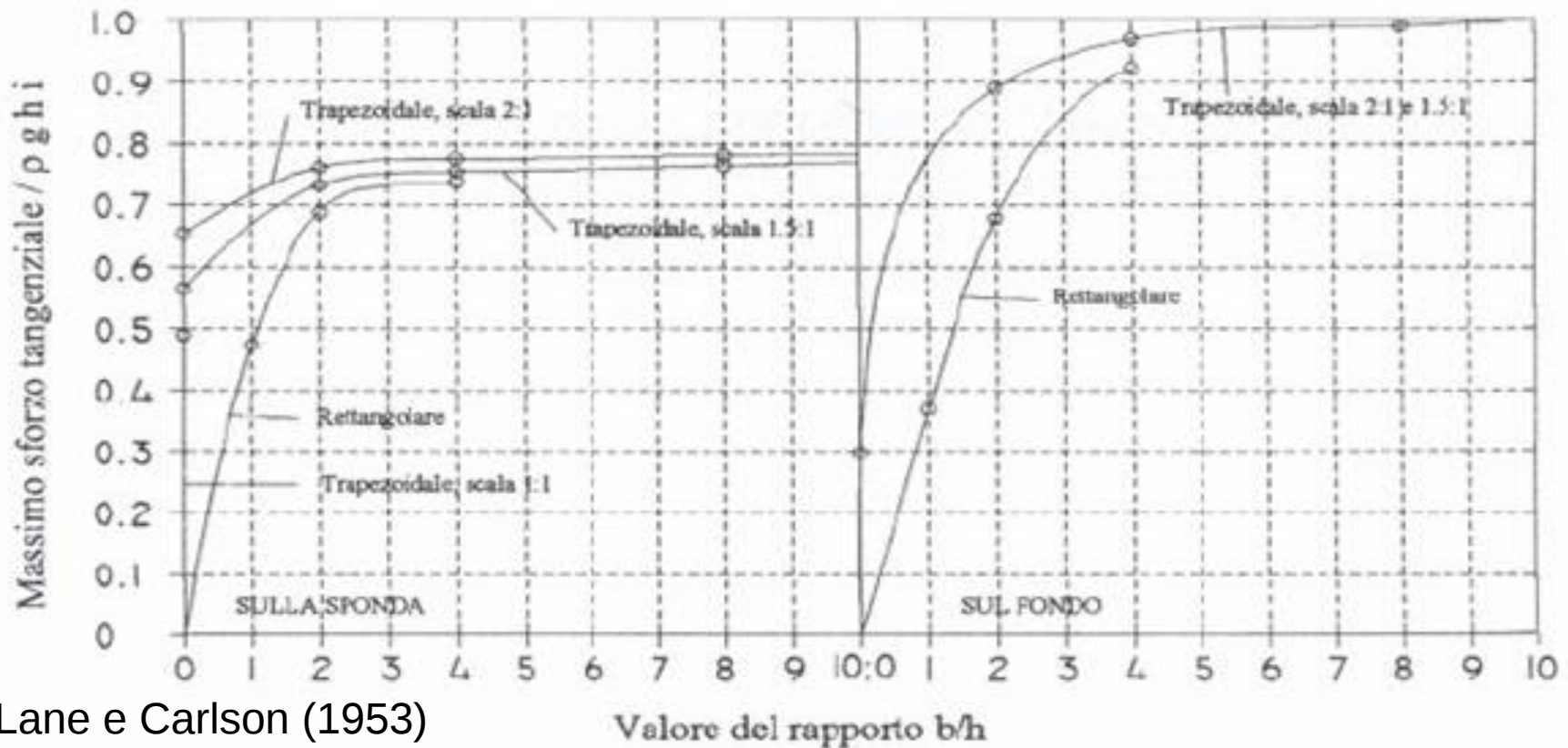
Fig. 7-5. Typical relationship between boundary shear stress distribution, secondary currents, and primary velocities in trapezoidal channel. The Froude number $F = 3.24$, width/depth = 1.52. (Adapted from Knight et al. 1994. Copyright John Wiley & Sons Limited. Reproduced with permission.)



Andamento degli sforzi tangenziali lungo il fondo di una sezione trapezia.

$$\tau_{\text{fondo}} \approx K_f \gamma h i$$

$$\tau_{\text{sponde}} \approx K_{sp} \gamma h i$$



Lane e Carlson (1953)

Resistenza al trasporto del materiale al fondo e sulle pareti

Ponendosi in condizioni di equilibrio geomorfologico deve valere l'eguaglianza tra tensioni esercitate dalla corrente sul contorno bagnato e tensioni resistenti del materiale che costituisce il contorno bagnato.

Tale condizione di equilibrio, per il trasporto al fondo, è stata definita da Shields (1936), basandosi sull'ipotesi che la spinta esercitata dalla corrente su una particella solida sia proporzionale alla superficie investita dalla corrente stessa e che la forza resistente dipenda solamente dalla forma del fondo e dal peso immerso della particella

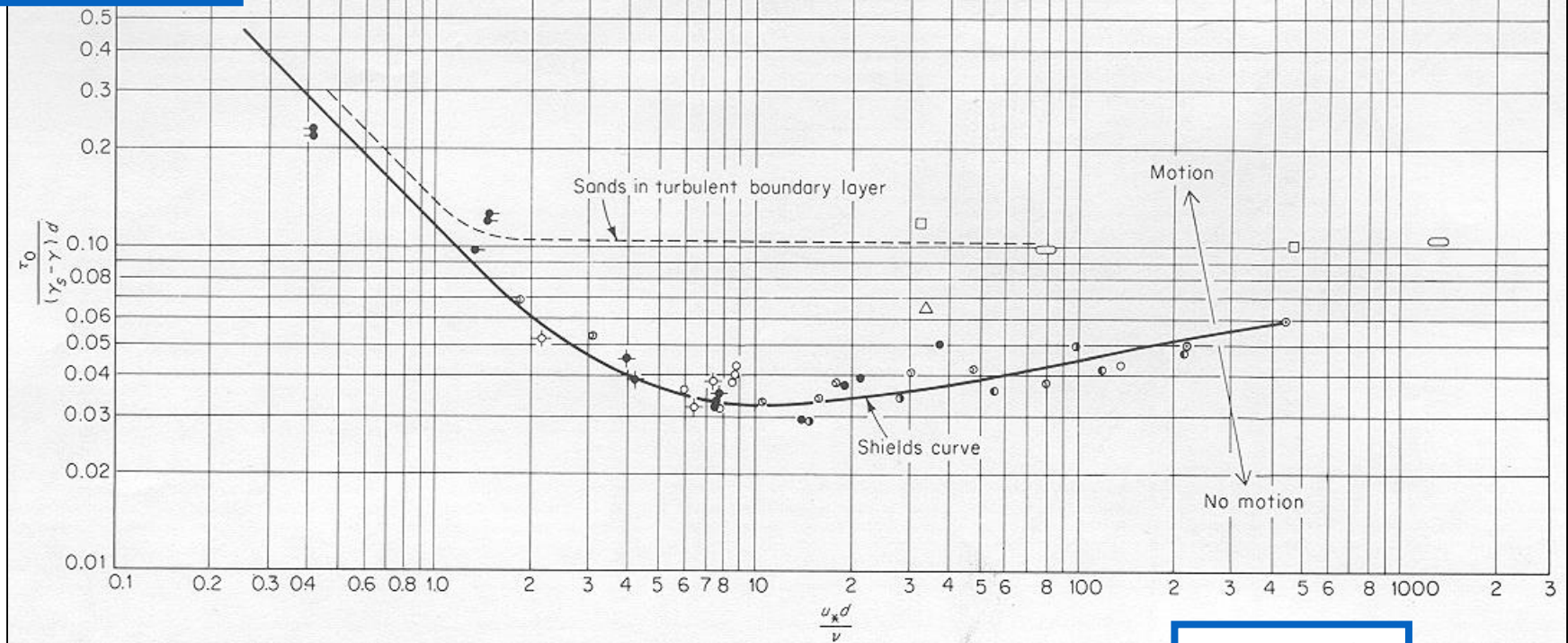
Condizione di equilibrio: la Teoria di Shields

$$\psi \quad \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d} = f\left(\frac{du^*}{\nu}\right) \quad Re^*$$

τ_0 tensione al fondo, γ_s peso specifico del granulo, d diametro del granulo, u_* velocità d'attrito, ν viscosità cinematica

Diagramma di Shields

$$\psi = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d}$$



$$Re^* = \frac{u^* d}{\nu}$$

Diagramma di Shields

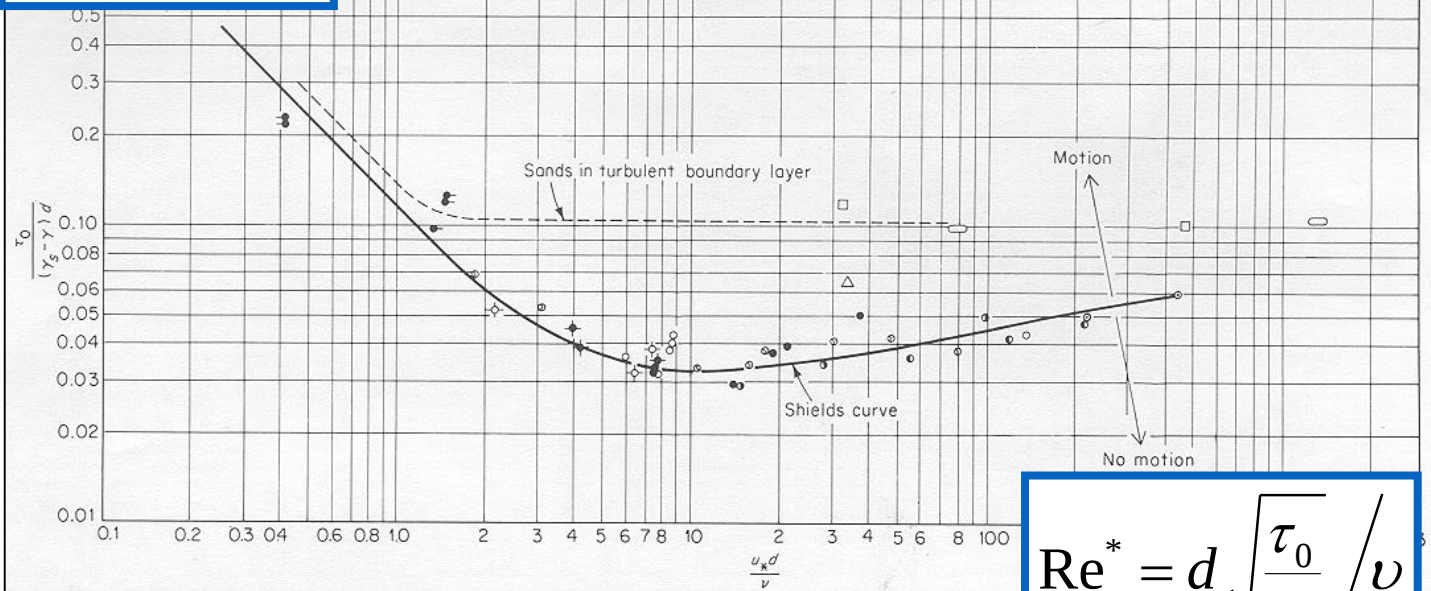
La tensione al fondo esercitata dalla corrente può essere espressa in funzione della velocità all'interfaccia corrente-fondo

$$\tau_0 = \rho u_*^2$$

$$u_*^2 = \frac{\tau_0}{\rho}$$

$$d \Rightarrow d_{50}$$

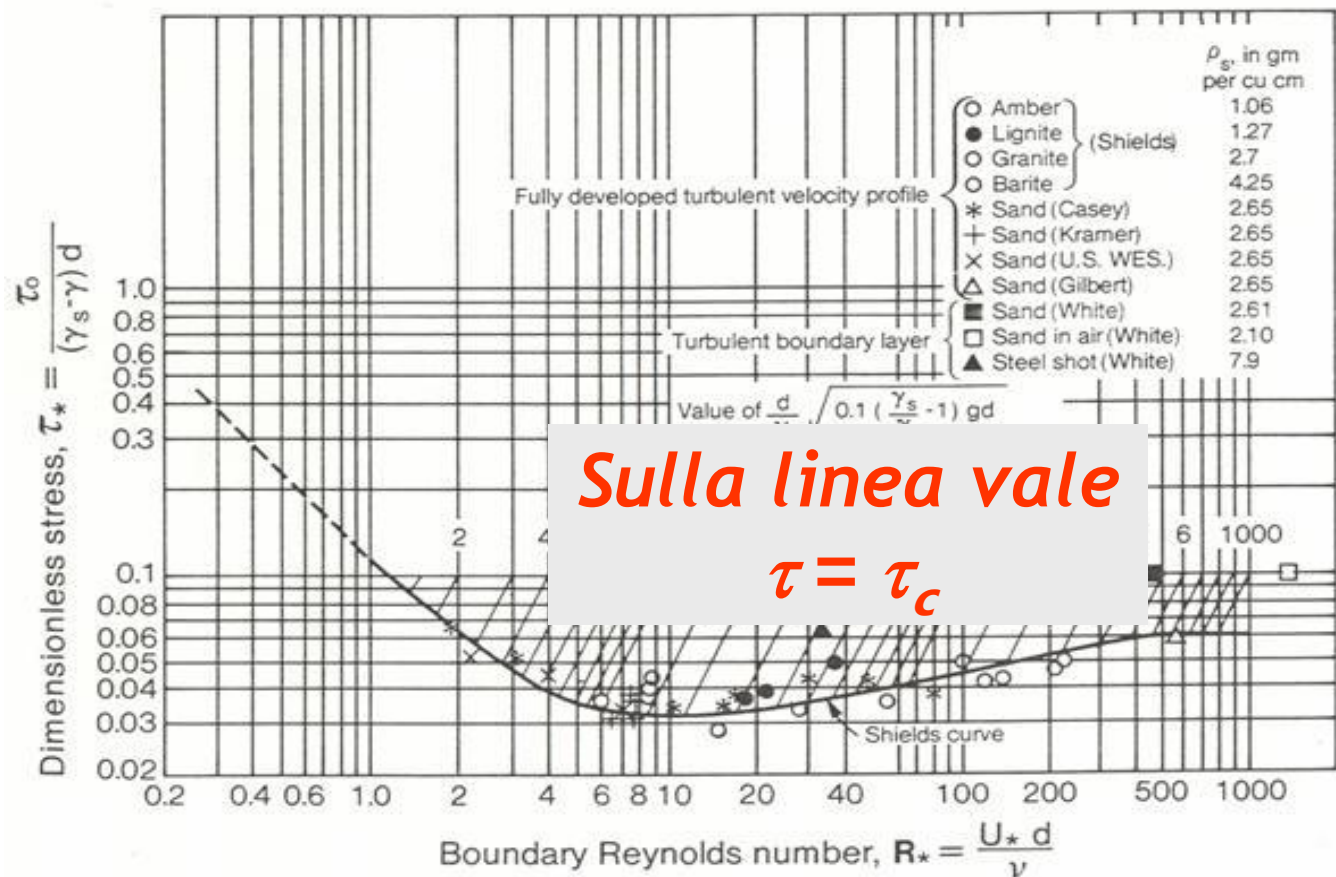
$$\psi = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d}$$



$$Re^* = d \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} / \nu$$

Al punto di equilibrio la tensione al fondo supportabile dal materiale che lo costituisce viene detta tensione critica τ_c

$$\tau_f \leq \tau_c^f$$



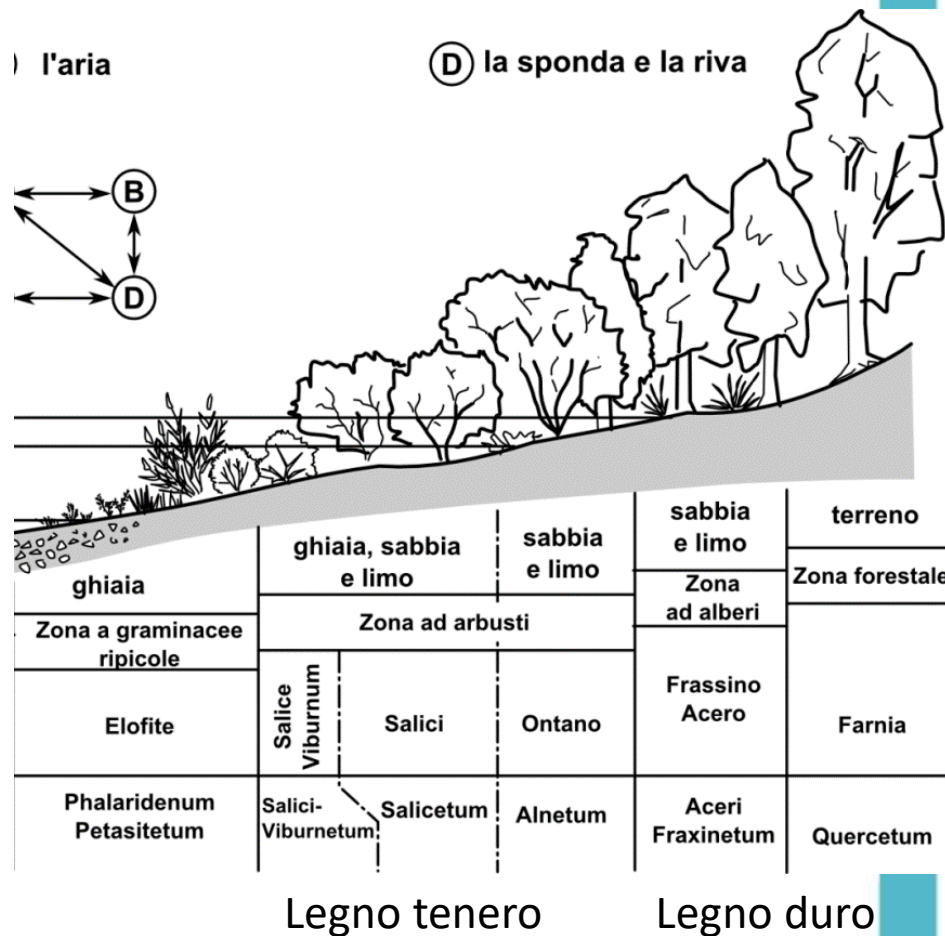
“aggiustamenti” della teoria di Shields

- EFFETTO della DISOMOGENEITÀ GRANULOMETRICA
- EFFETTO della PENDENZA
- EFFETTO del CORAZZAMENTO

Vegetazione e morfologia dei corsi d'acqua

Vegetazione di ripa

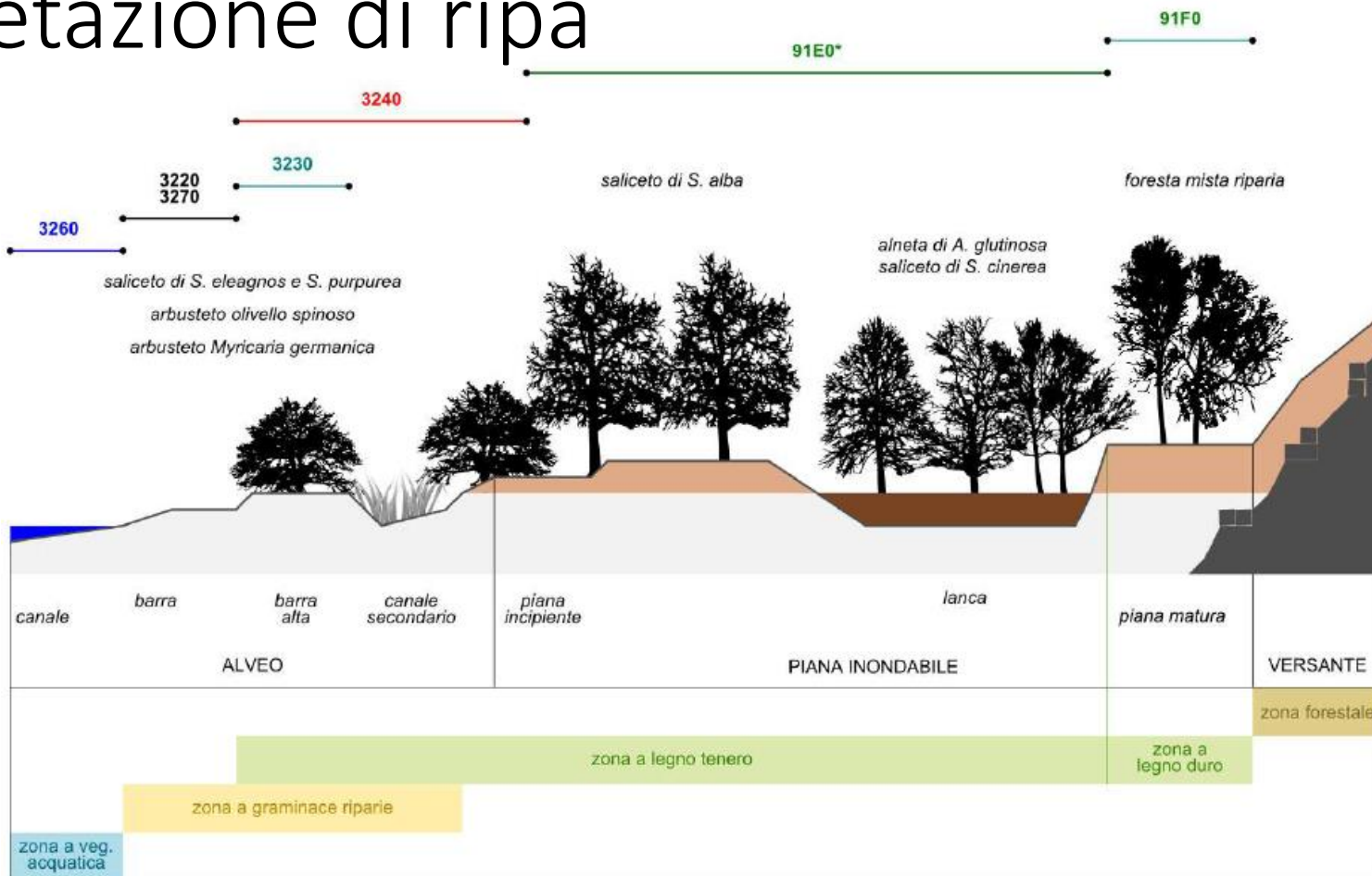
- Comprende un insieme di generi che resistono, con diverso grado di sopportazione, a condizioni di saturazione del suolo e sommersione.
- Allo scopo hanno sviluppato forme (ad es. foglie lanceolate) e stratagemmi specifici (ad. es radici avventizie) per la loro sopravvivenza e diffusione.

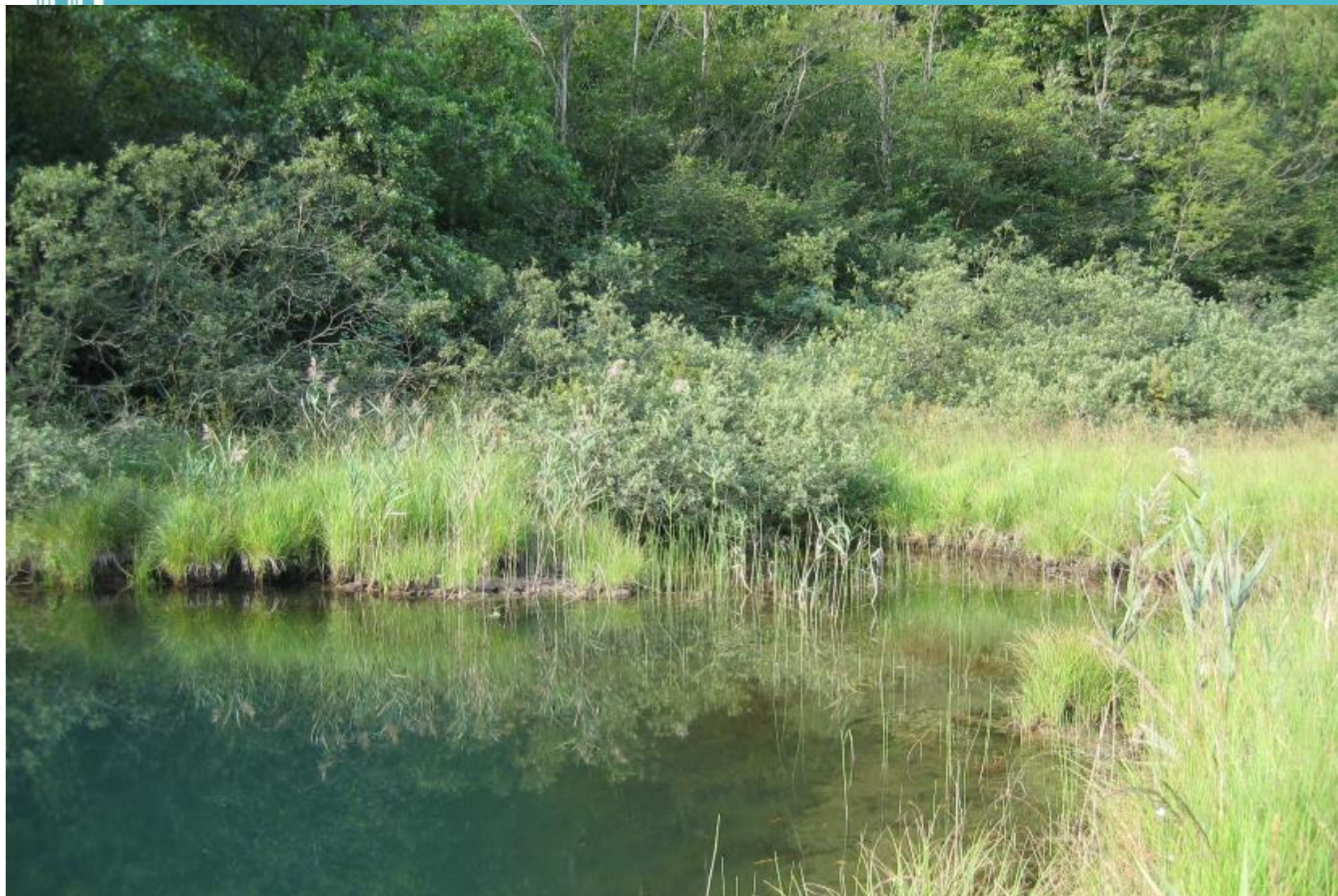


Vegetazione zonale

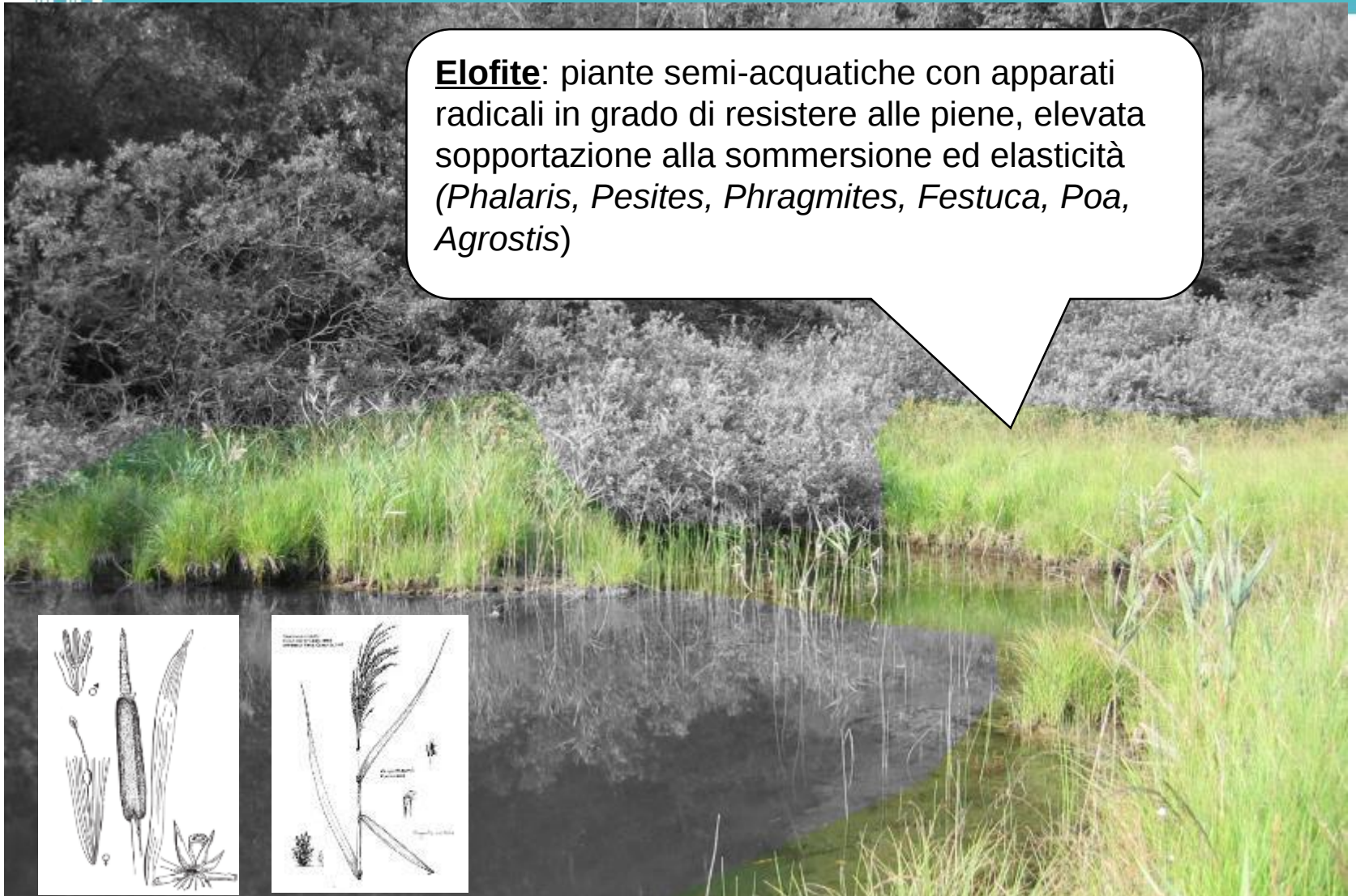
Vegetazione di ripa

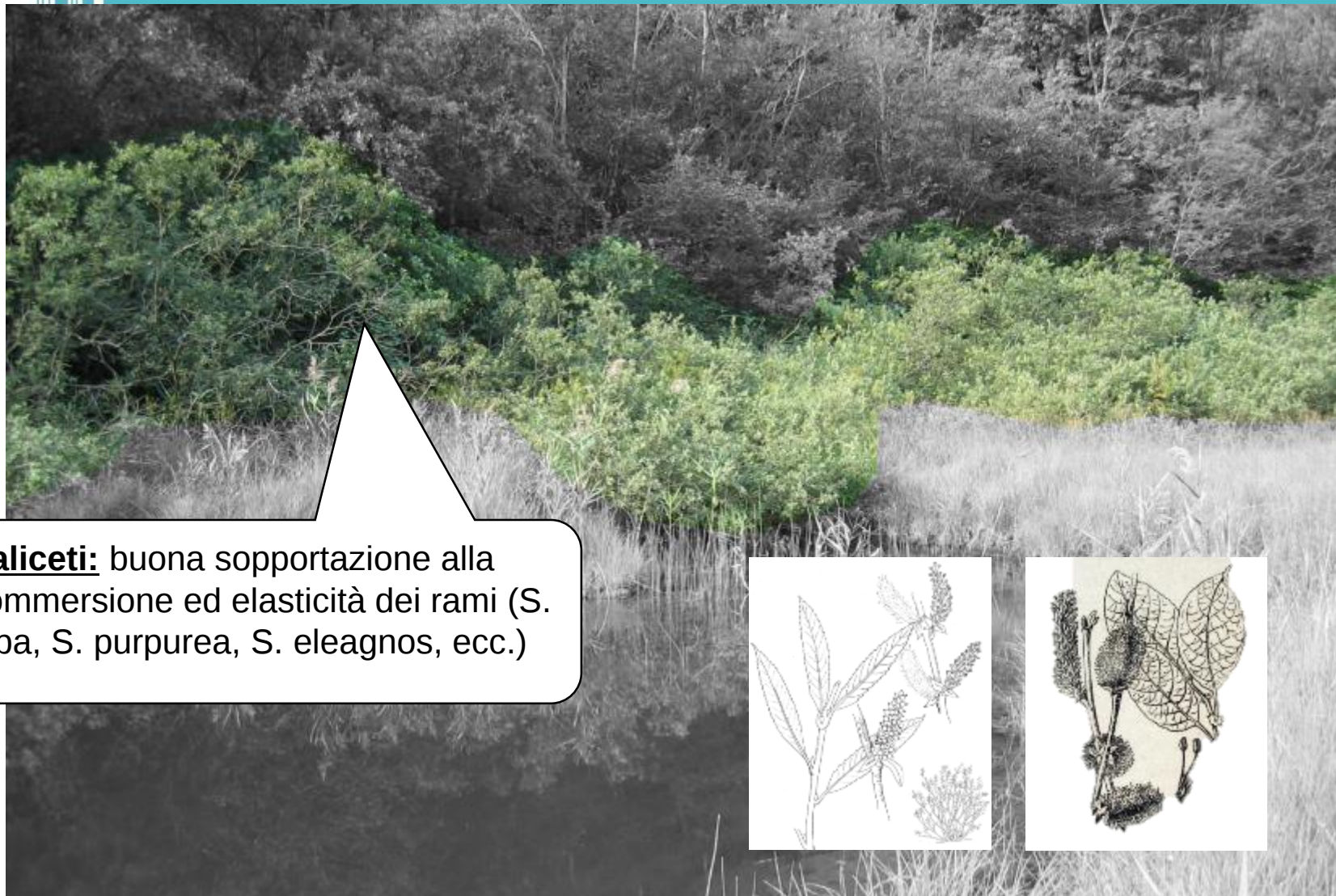
AZIONE A7
 Linee guida per la gestione della
 vegetazione lungo i
 corsi d'acqua in Provincia di Trento





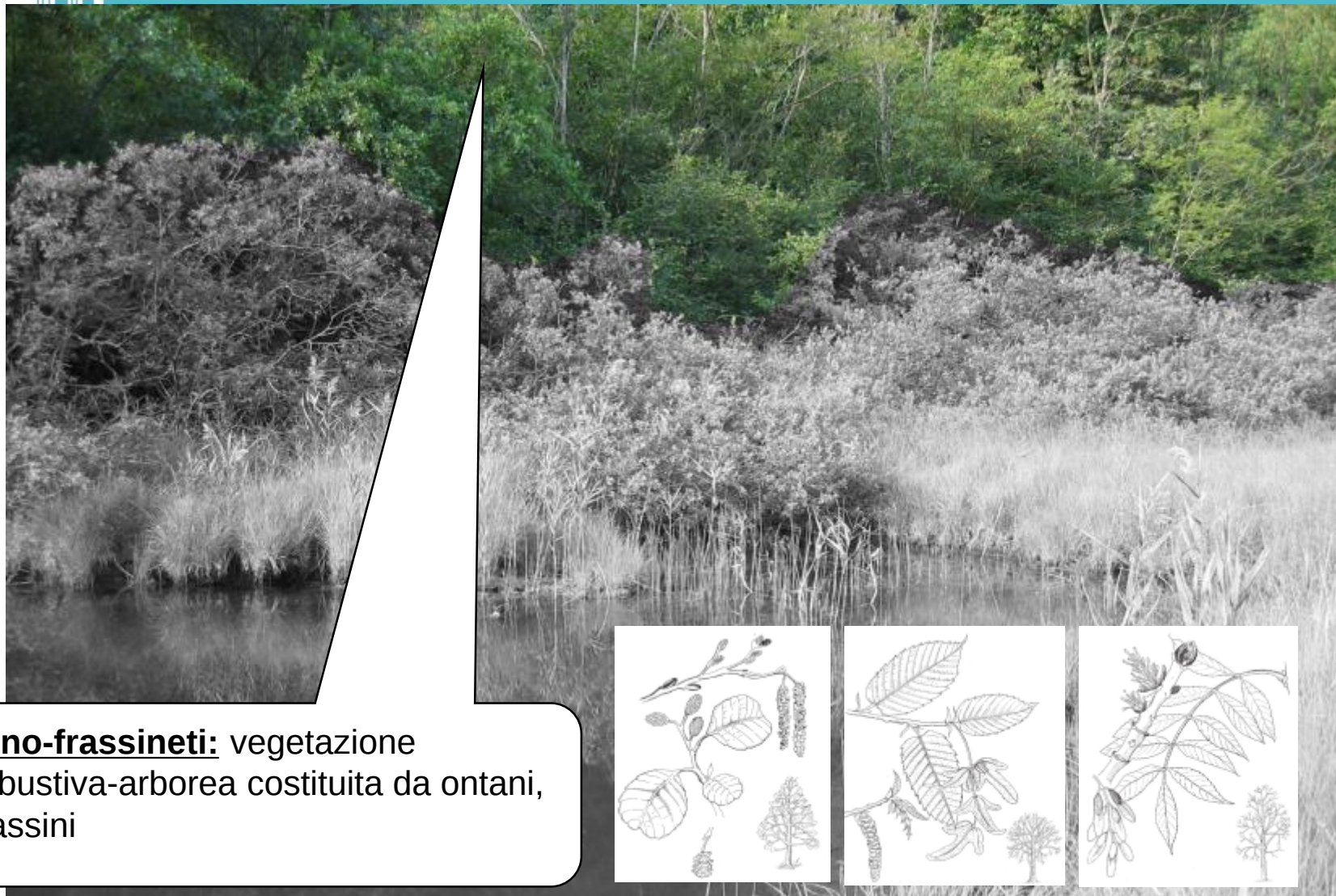
Elofite: piante semi-acquatiche con apparati radicali in grado di resistere alle piene, elevata sopportazione alla sommersione ed elasticità (*Phalaris*, *Pesites*, *Phragmites*, *Festuca*, *Poa*, *Agrostis*)





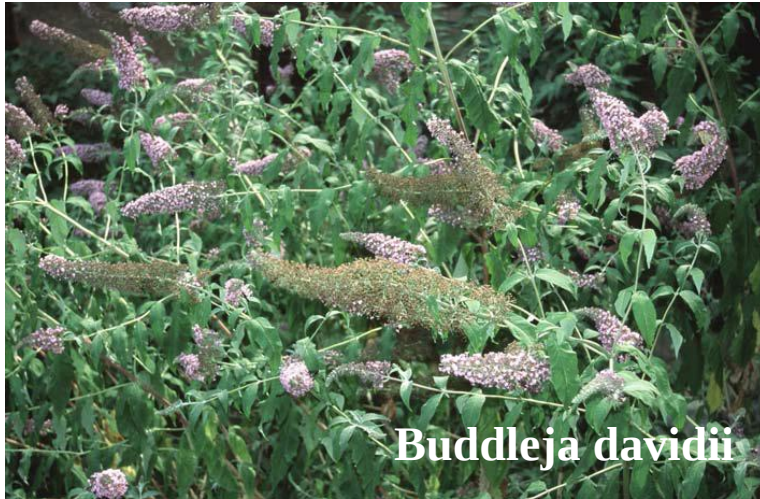
Saliceti: buona sopportazione alla sommersione ed elasticità dei rami (S. alba, S. purpurea, S. eleagnos, ecc.)





Alno-frassineti: vegetazione
arbustiva-arborea costituita da ontani,
frassini

Specie invasive



Buddleja davidii

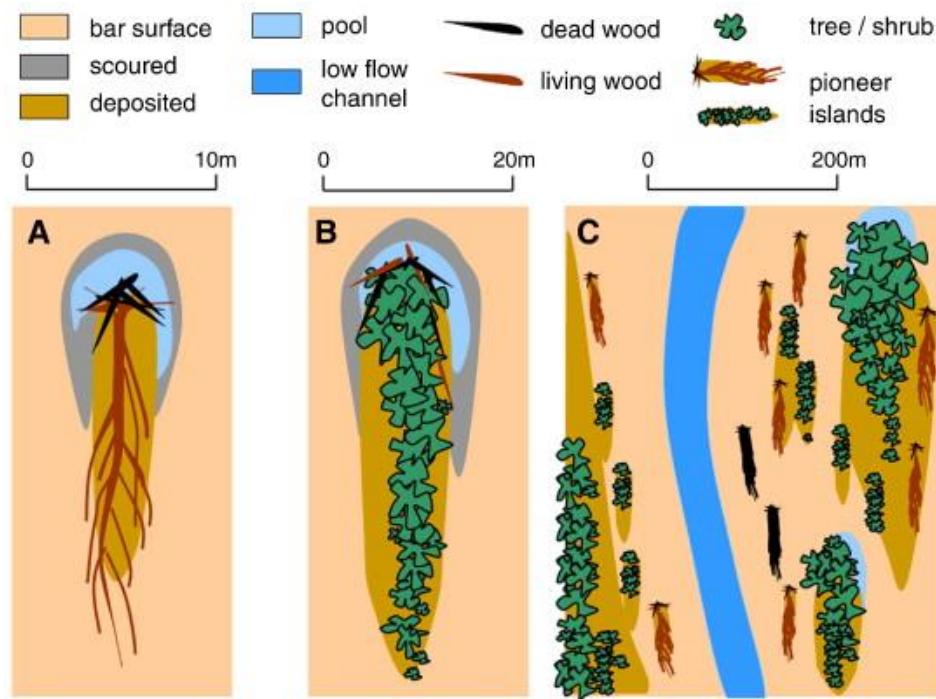
Altre specie invasive: ailanthus altissima, Robinia Pseudoacacia, Ambrosia artemisiifolia, Amorpha fruticosa, Impatiens spp., Helianthus tuberosus, ...

AA.VV. (2008) Indirizzi per la gestione dei boschi ripari e montani. Quaderni di tutela del territorio n. 2 Regione Piemonte.



Reynoutria japonica

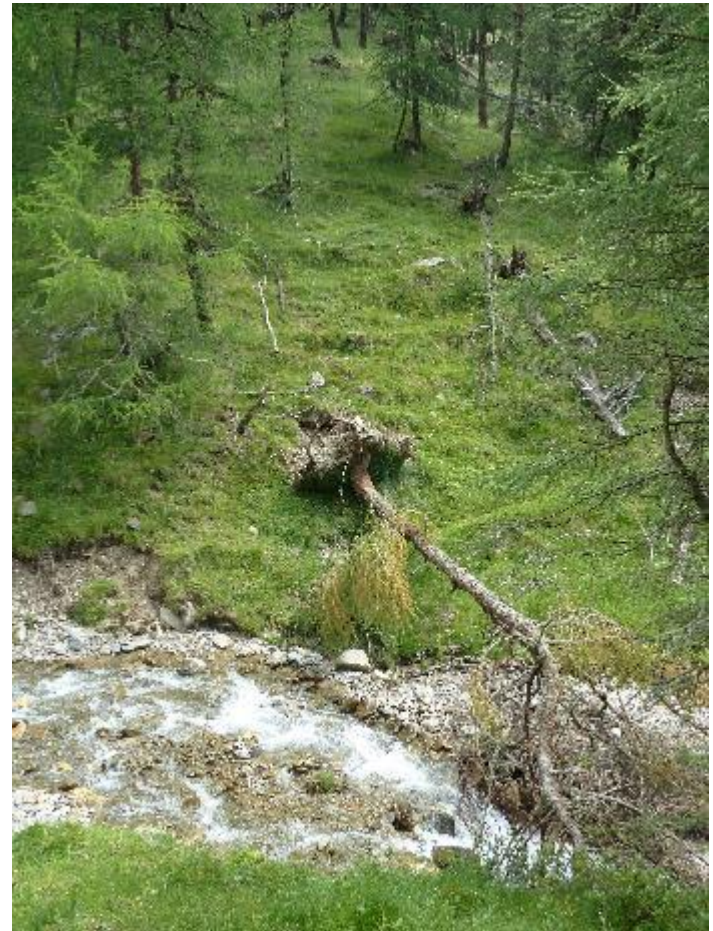
Interazione tra vegetazione e forme



A.M. Gurnell, W. Bertoldi, D. Corenblit (2012) Changing river channels: The roles of hydrological processes, plants and pioneer fluvial landforms in humid temperate, mixed load, gravel bed rivers, *Earth-Science Reviews*, 111(1–2), 129-141,

La vegetazione in alveo è presente come:

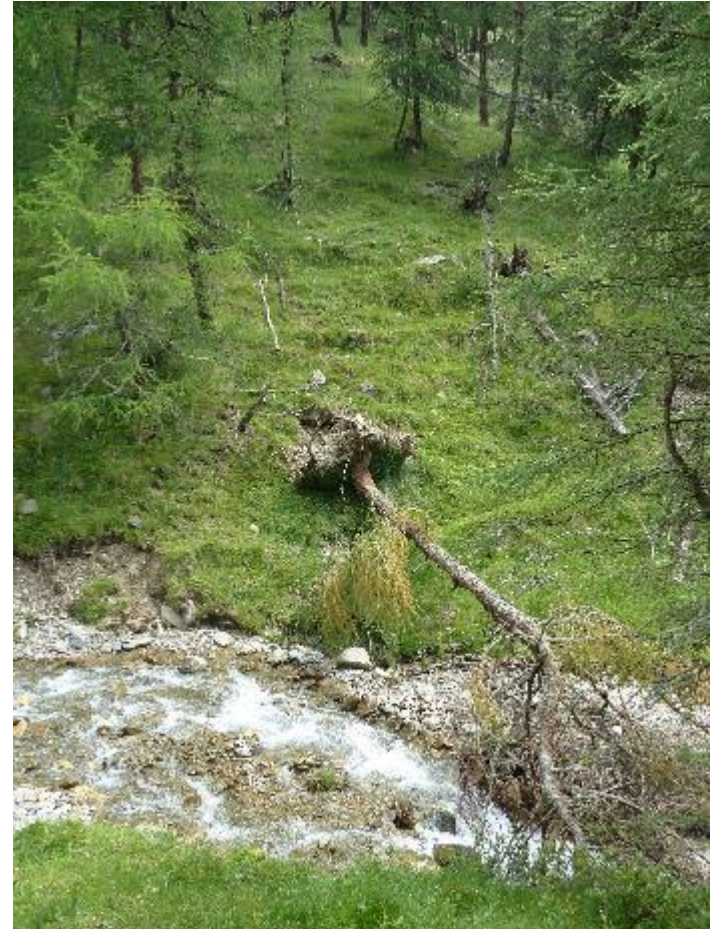
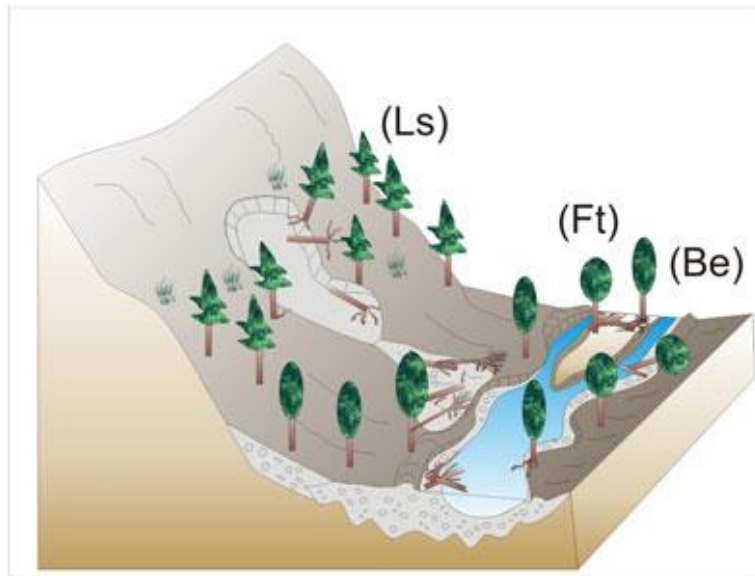
- Vegetazione viva, eterogenea, in evoluzione
- Vegetazione morta, residui di dimensione diversa (detriti legnosi)



Ls = frane [landslide]

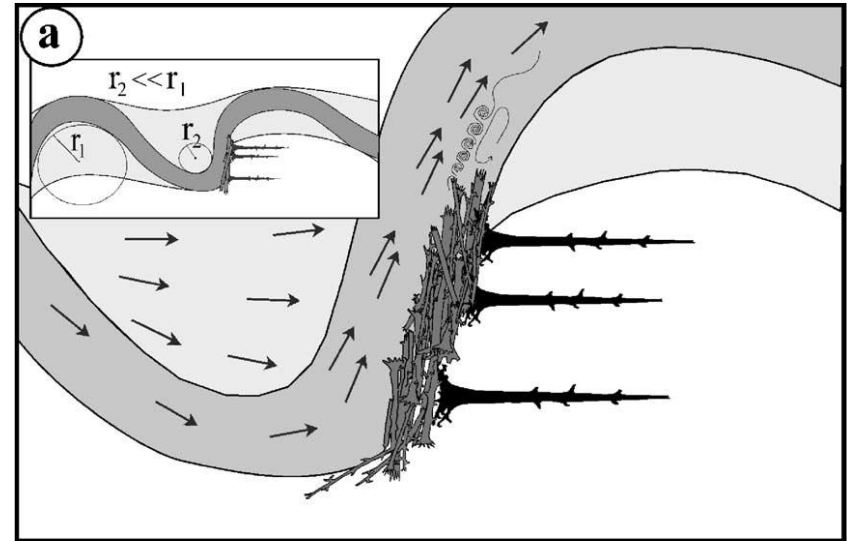
Ft = trasporto fluviale [fluvial transport]

Be = erosione delle sponde [bank erosion]



Ruiz-Villanueva, V., Díez-Herrero, A., Ballesteros, J.A., Bodoque, J.M., 2014. POTENTIAL LARGE WOODY DEBRIS RECRUITMENT DUE TO LANDSLIDES, BANK EROSION AND FLOODS IN MOUNTAIN BASINS: A QUANTITATIVE ESTIMATION APPROACH: RECRUITABLE LARGE WOODY DEBRIS IN MOUNTAIN BASINS. River Research and Applications 30, 81–97. <https://doi.org/10.1002/rra.2614>

Quello che potrebbe apparire un accumulo disordinato di ramaglie, in realtà segue una struttura organizzata



Abbe, T.B., Montgomery, D.R., 2003. Patterns and processes of wood debris accumulation in the Queets river basin, Washington. *Geomorphology* 51, 81–107.

[https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00326-4](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00326-4)

Effetti negativi:

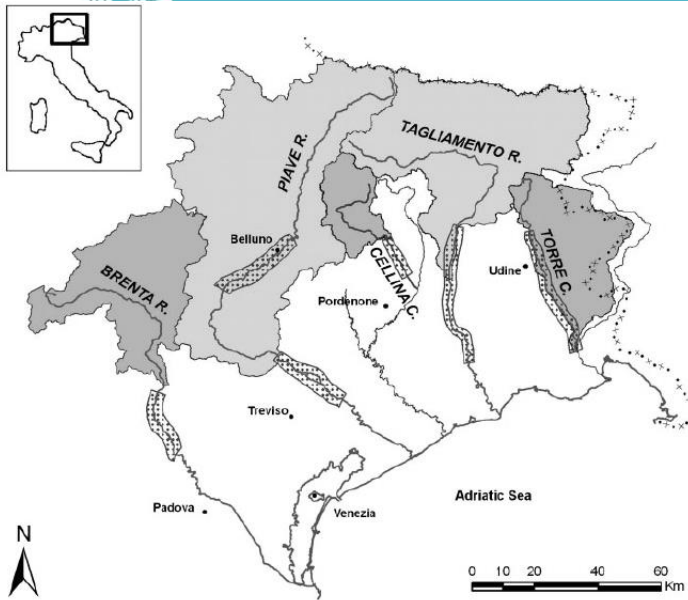
1. Occlusione di ponti
2. Riduzione della capacità idraulica della sezione
3. Effetto diga e colata detritica



Effetti positivi:

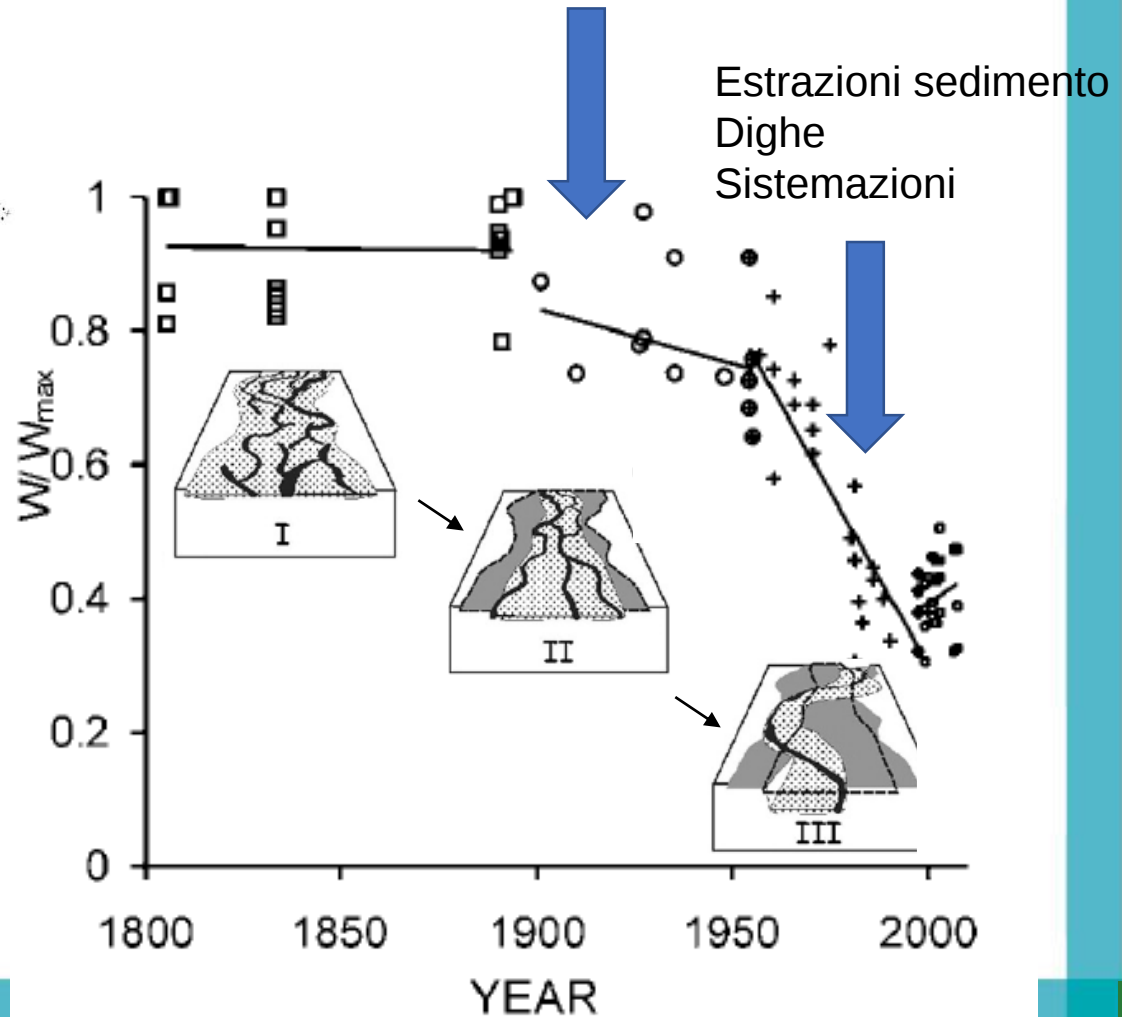
1. Riserva energetica per l'ecosistema fluviale
2. Contributo ai processi di autodepurazione dei processi fluviali
3. Stabilizzazione del sedimento / riduzione dell'erosione → migliore qualità dell'acqua, protezione del territorio
4. Elemento strutturale delle forme morfologiche → disponibilità di habitat
5. Effetto diga → ritenzione idrica e laminazione delle piene

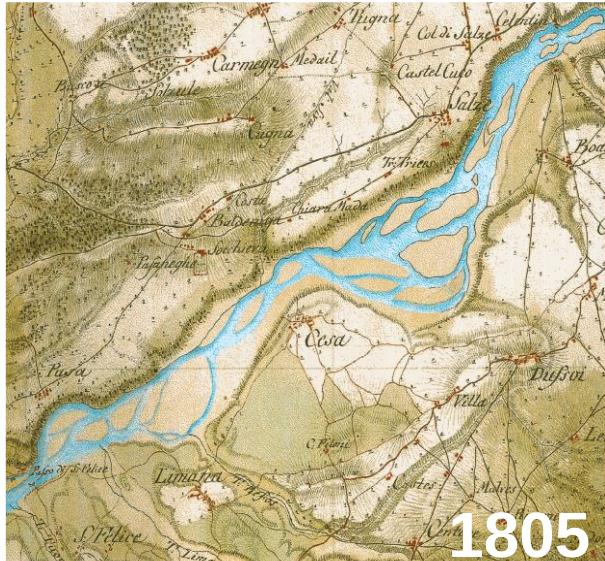
Variazioni fluviomorfologiche dei fiumi italiani



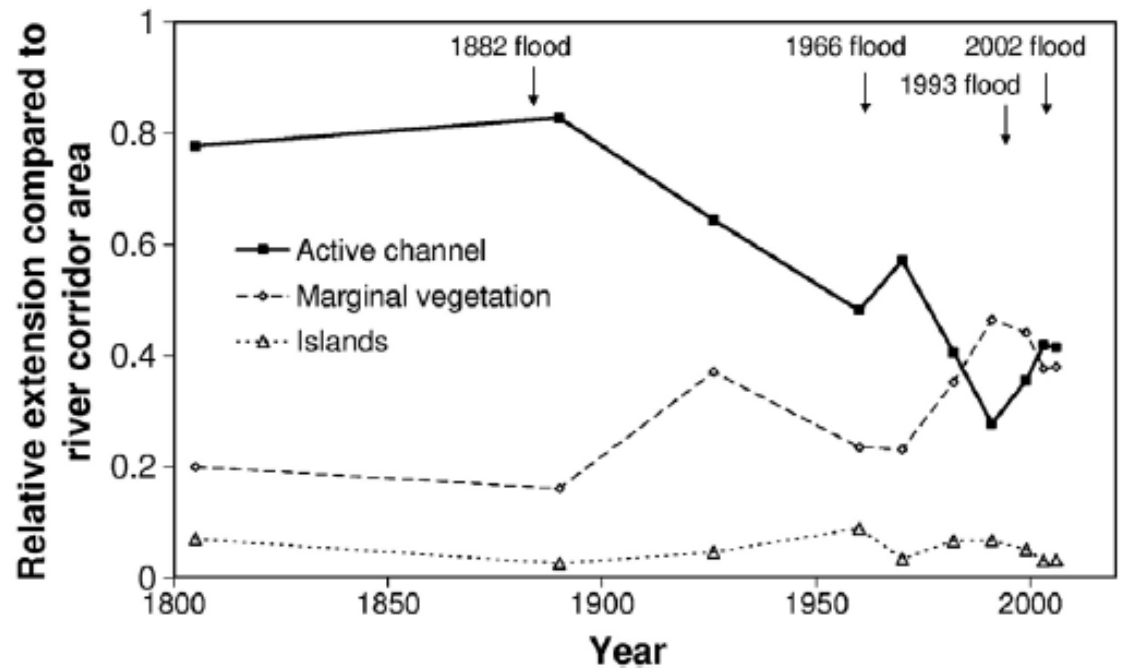
(Surian et al 2009)

Pennelli
 Variazione climatica naturale
 Rimboschimenti e sistemazioni montane

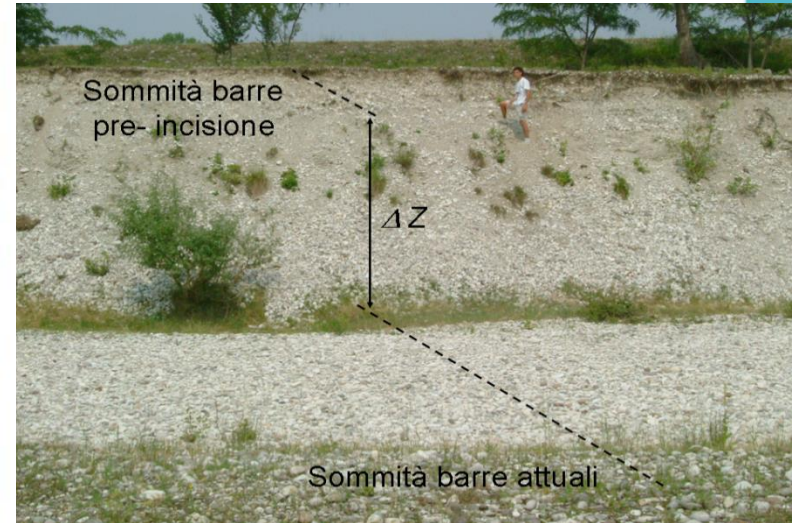




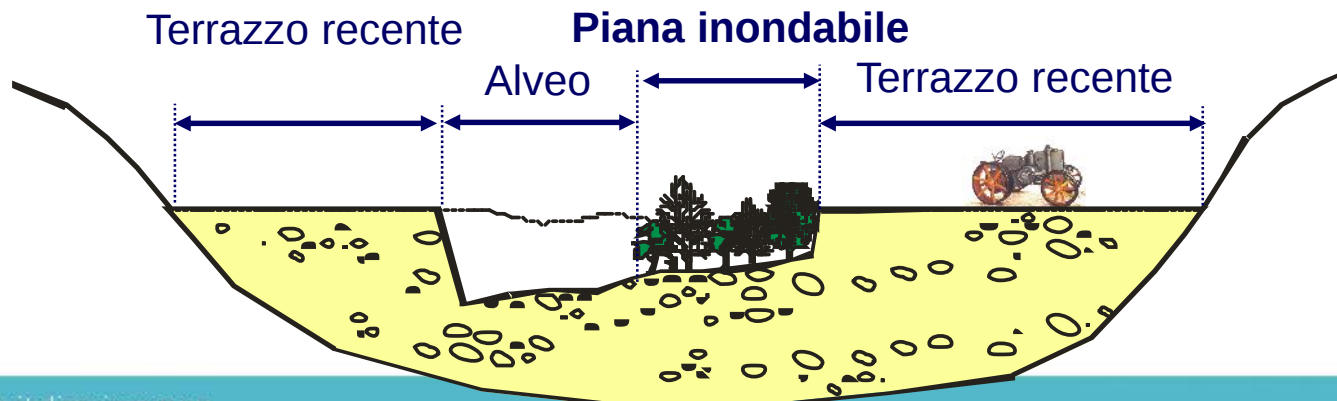
- Effetto delle piene con $TR > 15-30$ anni importante !!



(Comiti et al 2011)



(Surian 2006)



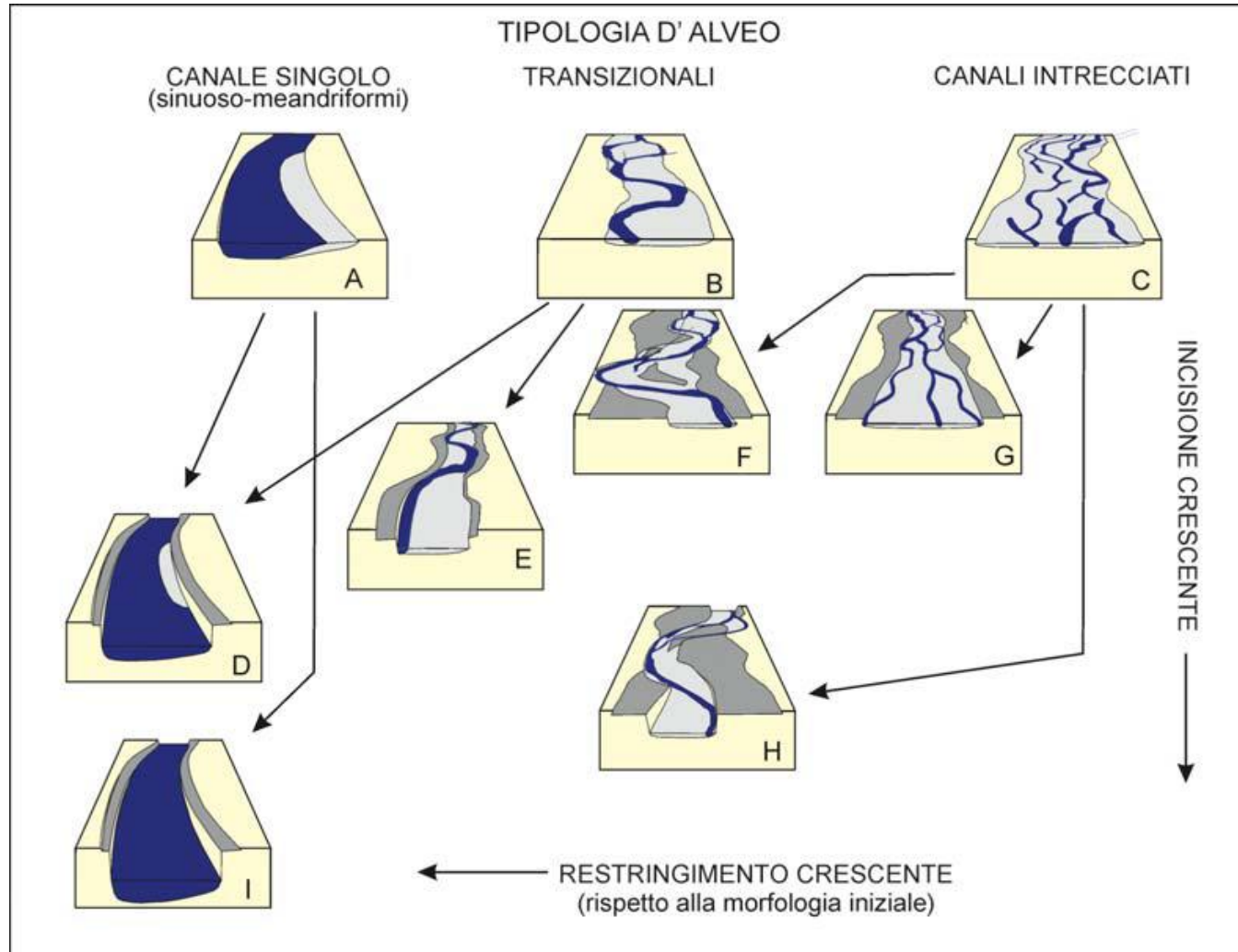


Incisione degli alvei

Effetti su:

- Ecosistema (acquatico e ripario)
- Infrastrutture
- Livello falda freatica (pozzi)





Per approfondimenti:



AA.VV., 2008. La riqualificazione dei canali agricoli Linee guida per la Lombardia, Quaderni della ricerca. Regione Lombardia.
https://sites.unimi.it/smartgreen/documenti/manualeLIRICA_web6MB.pdf



AA.VV. (2012) Linee guida - per la gestione della vegetazione di sponda dei corsi d'acqua secondo criteri di sostenibilità ecologica ed economica. Regione Toscana
<https://aisfdotit.files.wordpress.com/2014/04/gestione-della-vegetazione-web.pdf>



AA.VV., 1998. Stream corridor restoration
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044574.pdf



AA.VV. (2008) Indirizzi per la gestione dei boschi ripari e montani. Quaderni di tutela del territorio n. 2 Regione Piemonte.