



WEBINAR ERSAF – 25 novembre 2022

Dinamica fluviale e manutenzione degli alvei

Gianfranco Becciu, Dipartimento DICA, Politecnico di Milano.

Introduzione

I corsi d'acqua naturali sono sistemi dinamici che evolvono nel tempo e nello spazio, per effetto di fattori **idrologici**, **geologici** e **biologici**.

Questa evoluzione è un processo naturale, che non richiederebbe interventi di «controllo» o di «gestione», se non in relazione a potenziali conseguenze su strutture, infrastrutture e attività antropiche.

Dinamica fluviale e rischi antropici

I rischi più rilevanti e frequenti derivanti dalla dinamica fluviale sono i fenomeni erosivi e franosi, l'allagamento di aree circostanti l'alveo e i danni a infrastrutture di attraversamento.

Questi rischi sono principalmente legati alle dinamiche dei sedimenti e della vegetazione ed è su questi due aspetti che si concentrano le strategie di manutenzione degli alvei fluviali.



SEDIMENTI IN ALVEO



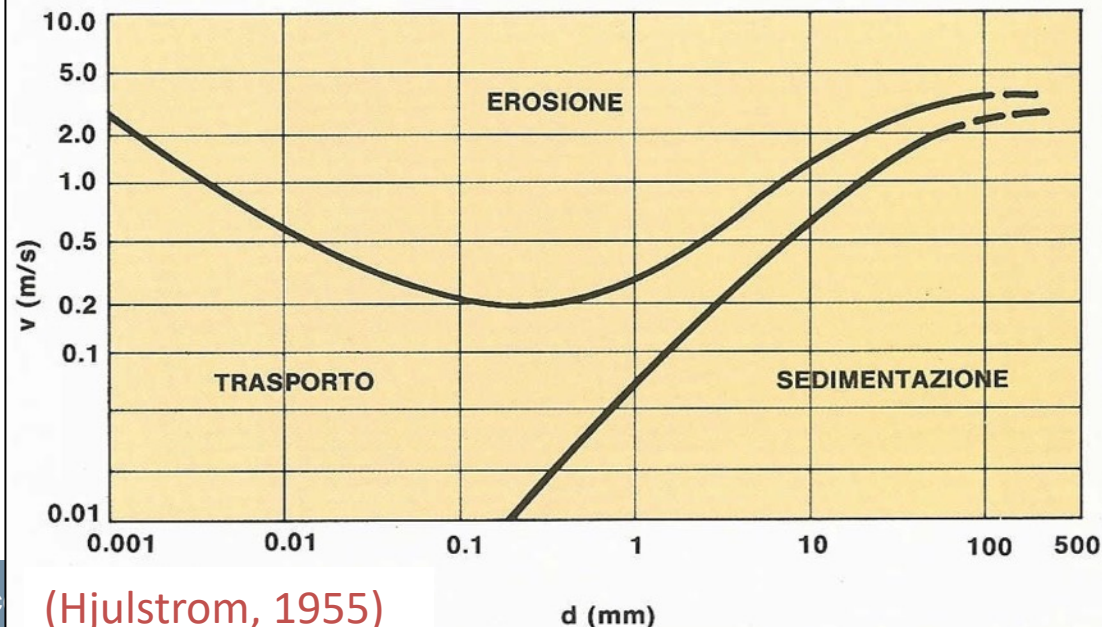
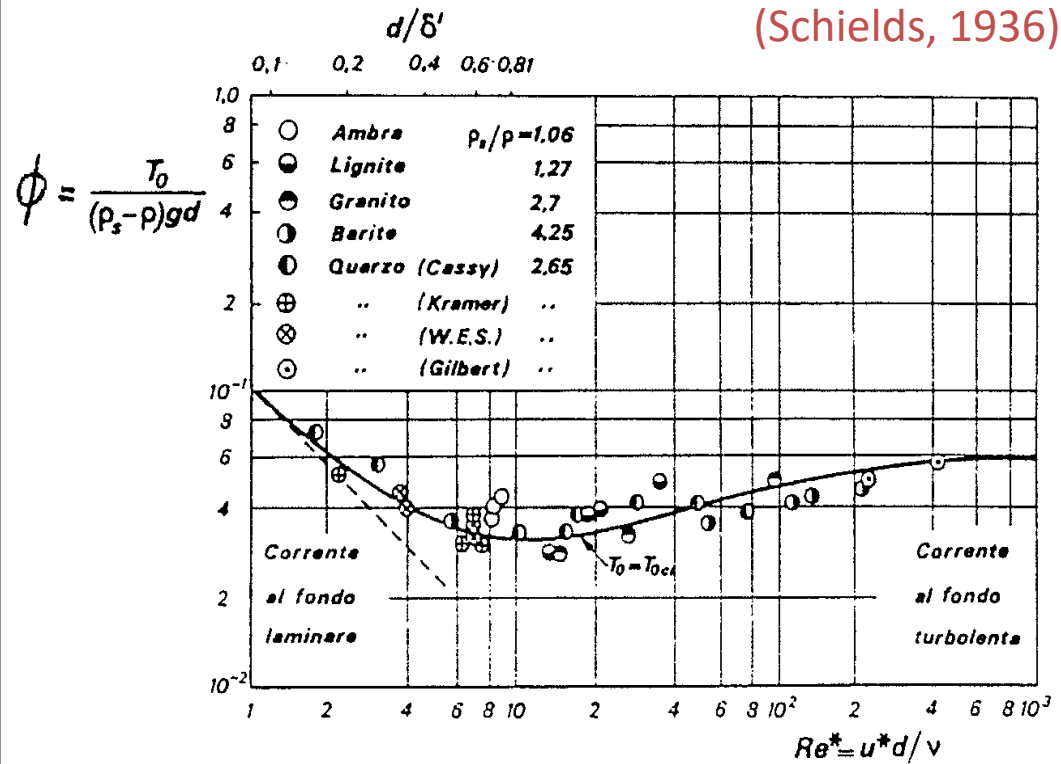
I sedimenti in alveo

I sedimenti si accumulano in alveo per effetto di fenomeni locali di sedimentazione, sia lenti e prolungati nel tempo, governati dalle portate caratteristiche del corso d'acqua (medie), sia rapidi e di breve durata, associati alla fase di morbida degli eventi di piena.

L'entità del fenomeno dipende, oltre che dalla velocità della corrente, dalle caratteristiche geometriche, di densità e forma delle particelle solide trasportate dalla corrente.

$$\phi = \frac{\rho_a \cdot R \cdot i}{(\rho_s - \rho_a) \cdot d}$$

(Schields, 1936)

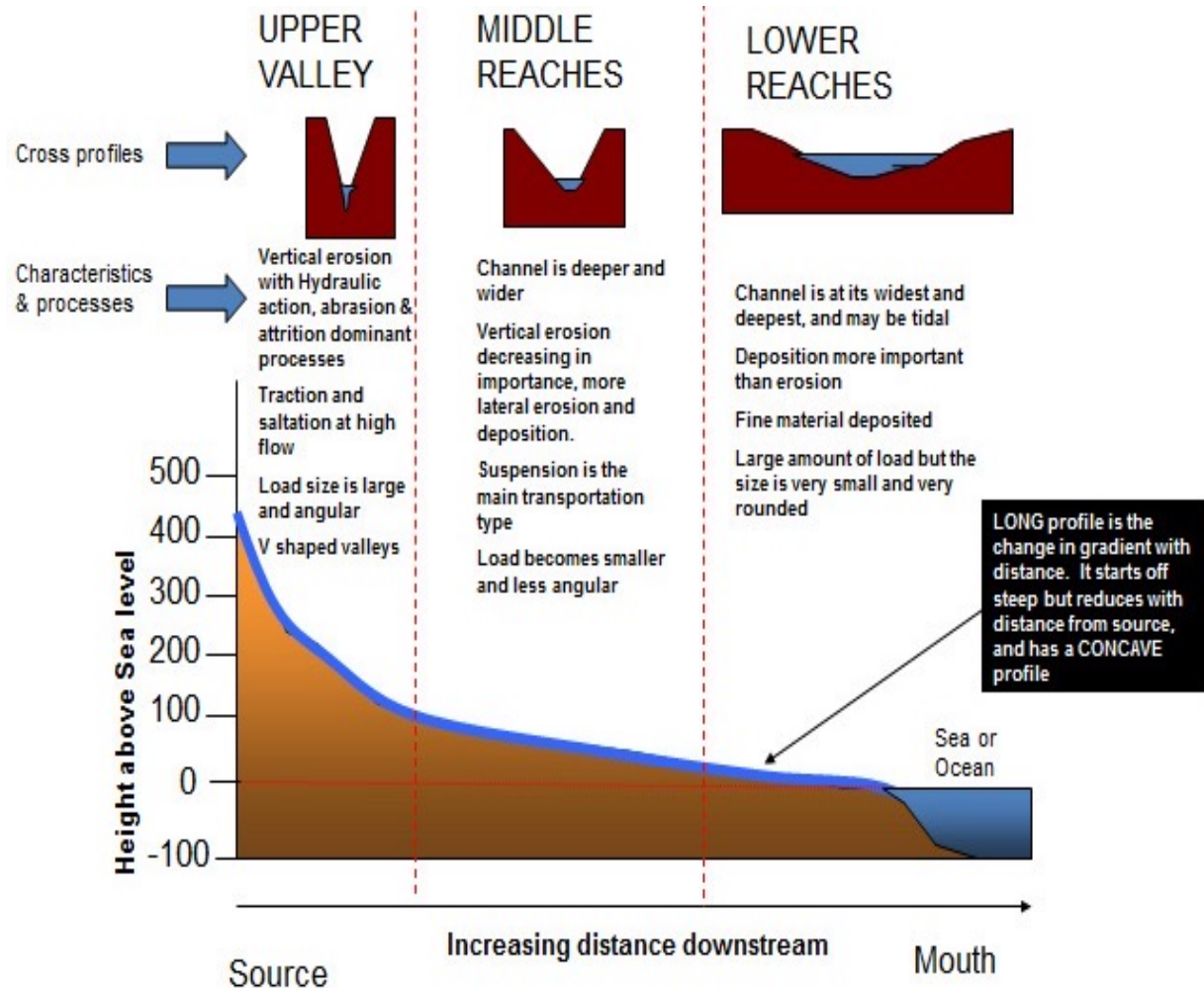


(Hjulstrom, 1955)

I sedimenti in alveo

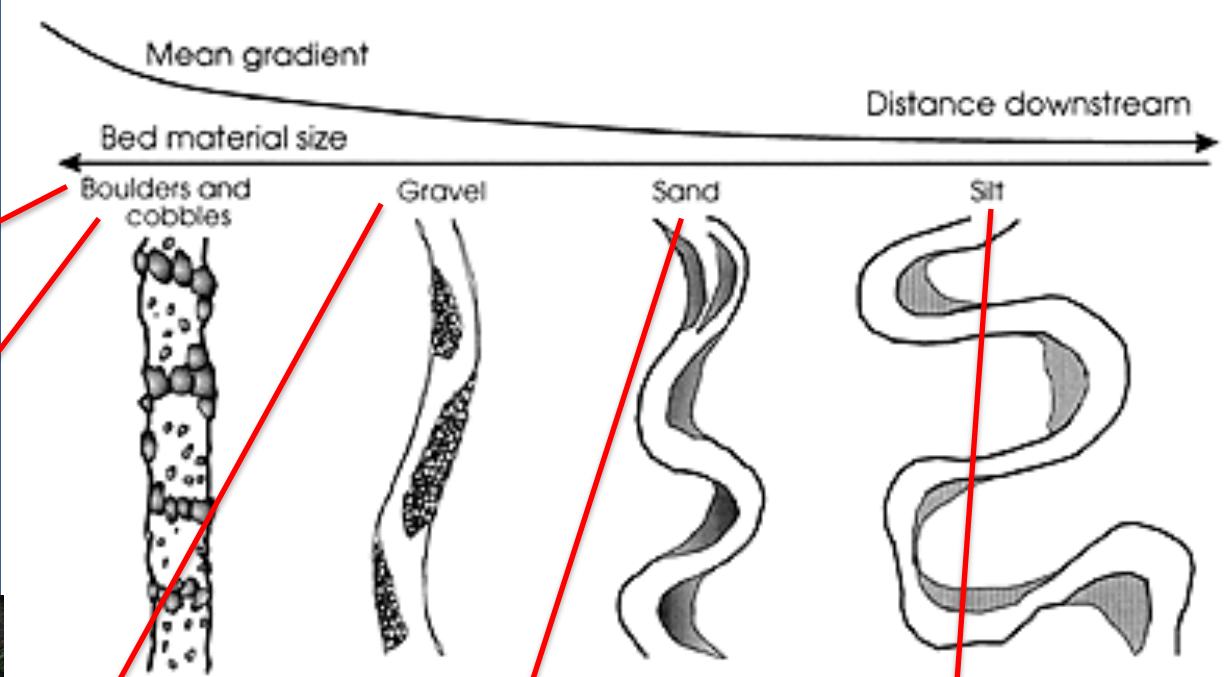
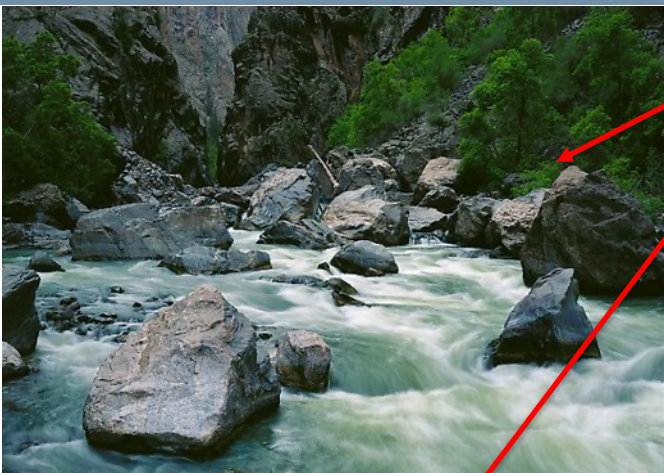
Le caratteristiche dei sedimenti presenti in alveo variano lungo il corso d'acqua, in relazione all'equilibrio dinamico tra energia per il movimento e le resistenze al moto, determinando i processi di evoluzione morfologica dell'alveo.

E' bene osservare che la parte più rilevante dei solidi trasportati durante gli eventi di piena e che poi sedimentano durante la fase di morbida deriva dall'erosione dei versanti nel bacino di monte e non degli accumuli in alveo.



Courtesy of Andrea De Bernardi, 2018

Tipo di sedimenti



SEDIMENT COMES IN ALL SIZES		
256 mm and up	BOULDERS	GRAVEL
64-256 mm	COBBLES	
2-64 mm	PEBBLES	
0.0625-2 mm	SAND	
0.002-0.0625 mm	SILT	
0.002 mm and smaller	CLAY	

Tratto superiore del fiume



Tratto intermedio del fiume



Tratto inferiore del fiume



Potenziali criticità legate all'accumulo di sedimenti in alveo

L'accumulo di sedimenti in alveo

- riduce l'altezza utile e l'area trasversale dell'alveo disponibile per il transito della corrente;
- riduce la pendenza dell'alveo e incrementa i livelli idrici a parità di portata;
- riduce l'efficienza idraulica di infrastrutture come ponti e tombinature, danneggiandole o occludendone le luci di deflusso;
- aumenta le resistenze al moto, sia per effetto della maggiore dimensione dei sedimenti lasciati in fase di morbida degli eventi di piena, sia per le forme di fondo conseguenti alle irregolarità spaziali nel processo di sedimentazione.



Fiume Ete Morto (Fermo)

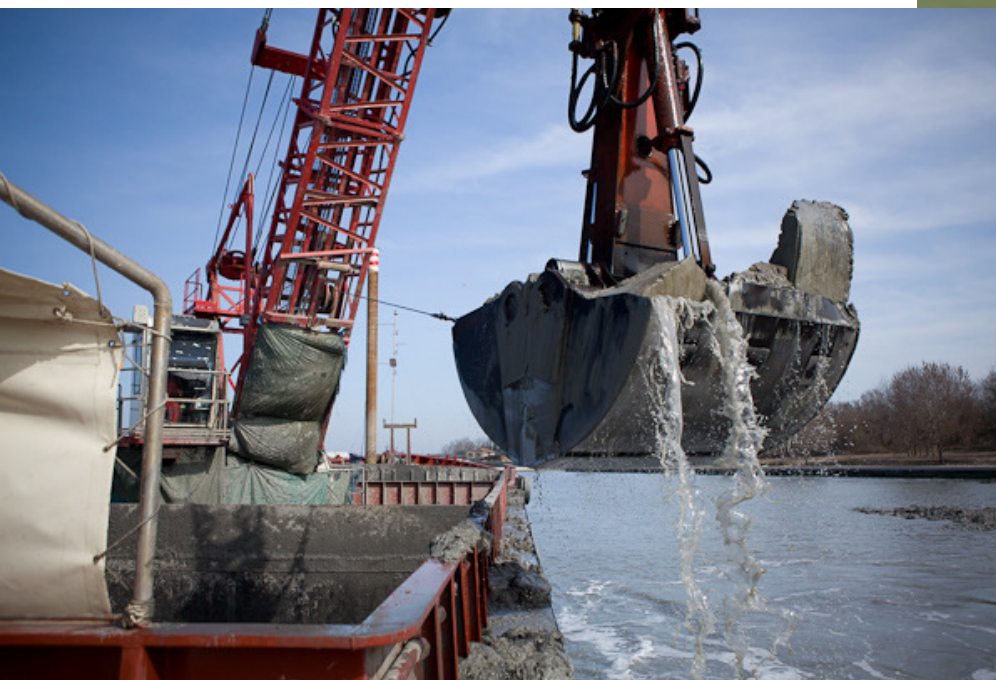


Torrente Pellice (Torino)

Rimozione dei sedimenti

La rimozione indiscriminata dei sedimenti nei punti di maggiore accumulo, spesso mediante dragaggio degli alvei, è una strategia spesso adottata per «ridurre il rischio di allagamento».

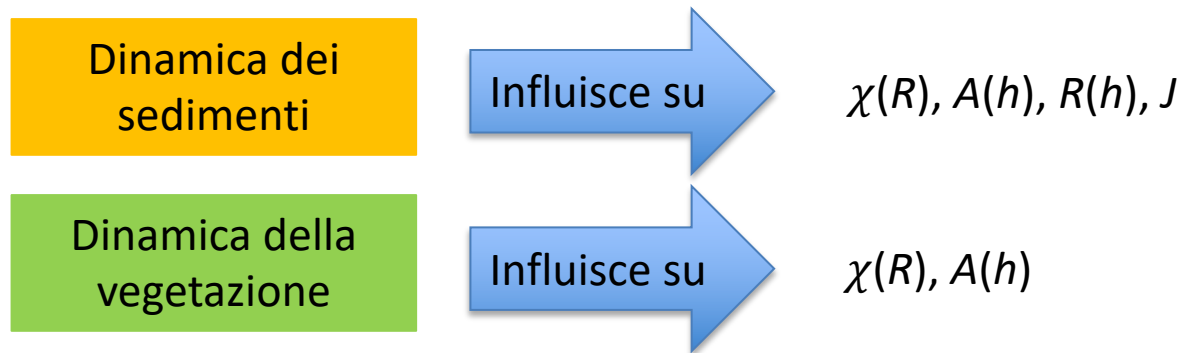
E' applicata specialmente nel corso intermedio e inferiore di fiumi e torrenti.



Equazione del moto (Principio di conservazione dell'energia)

$$Q = \chi(R) \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot J}$$

In condizioni di moto permanente, la portata della corrente può essere espressa in forma semplificata (moto monodimensionale) dall'equazione di Chezy.



Con

$\chi(R)$ = coefficiente di resistenza di Chezy

$A(h)$ = area trasversale della corrente (area bagnata)

$R(h)$ = raggio idraulico = $A(h)/P(h)$

$P(h)$ = contorno della corrente (perimetro bagnato)

h = profondità massima della corrente (altezza idrica)

J = resistenze al moto per unità di percorso della corrente (cadente piezometrica)

$J \simeq i$ = pendenza media dell'alveo (valida per moto uniforme o semi-permanente)

DRAGARE I FIUMI NON E' LA SOLUZIONE

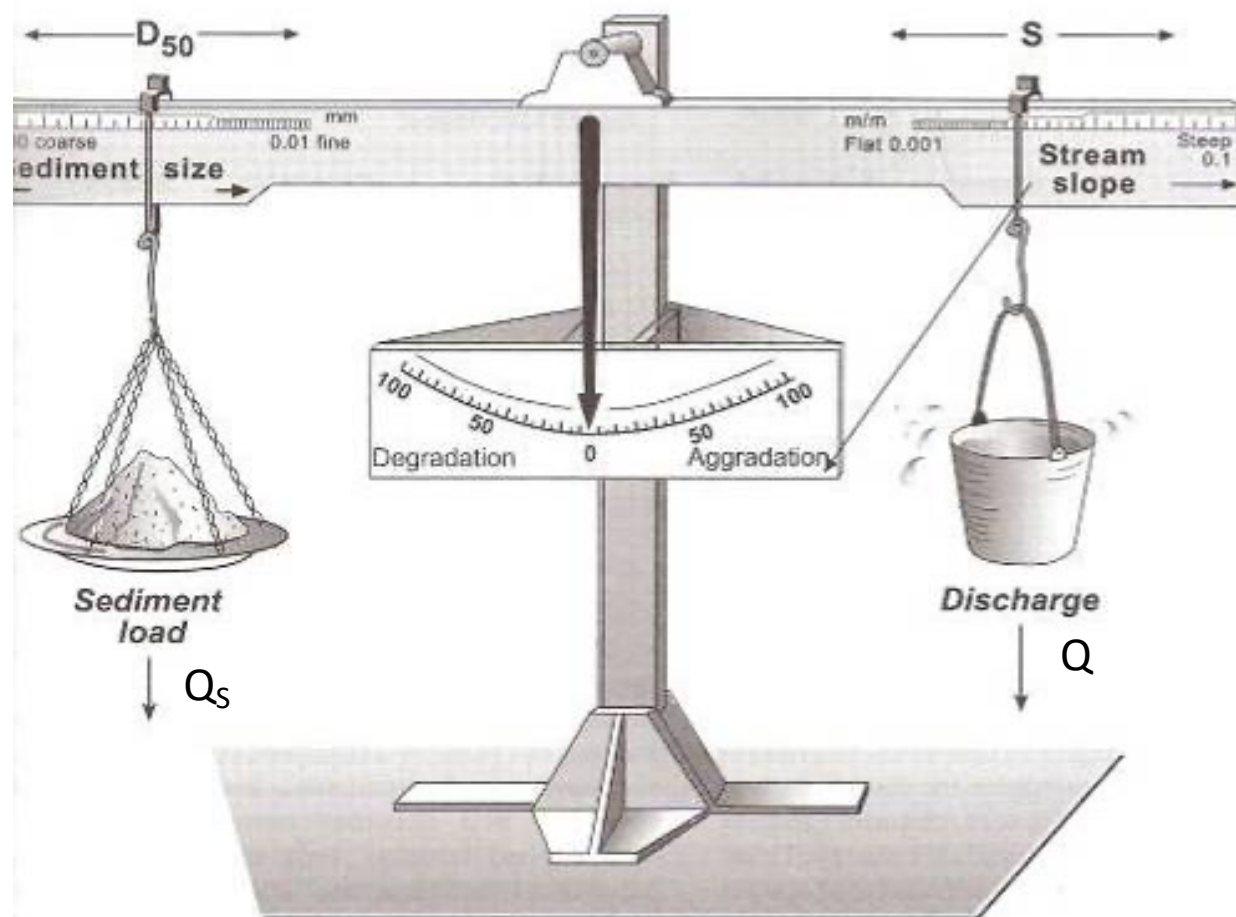


Equilibrio dinamico di un fiume

Bilancia di Lane

I fiumi evolvono alla ricerca di un equilibrio dinamico, che quando non ci sono significativi cambiamenti del suo tracciato planimetrico o del livello del fondo. Una relazione empirica che esprime questo equilibrio dinamico è la seguente:

$$\frac{Q_s \cdot D_{50}^{0.28}}{Q^{1.11} \cdot S^{1.44}} = 1$$



Carico dei sedimenti X Dimensione dei sedimenti VS Pendenza del fondo X Portata idrica

Rimozione dei sedimenti

La rimozione sistematica ed estesa dei sedimenti altera la dinamica naturale dei sedimenti. Le conseguenze sono:

- fenomeni erosivi, sia nel tratto interessato dalla rimozione che in quelli a valle;
- arretramento di sponde fluviali e di spiagge marine e lacuali a valle;
- eliminazione o riduzione di buche e aree di ristagno utilizzate come riparo e protezione dalle comunità ittiche e di macro-organismi;
- riduzione di salti e ondulazioni che consentono l'ossigenazione delle acque;
- riduzione del substrato organico presente sul fondo, fonte principale di alimentazione degli organismi triturator.



Ecosistema fluviale

L'ecosistema fluviale è un insieme di comunità viventi che hanno bisogno di una morfologia diversificata.

Una vegetazione arborea densa sulle sponde fornisce cibo e ombra per gli organismi trituratorie e per la fauna terrestre

Le pozze sono un rifugio per invertebrati e pesci durante i deflussi di magra

Un corridoio fluviale ampio costituisce una importante fascia di terra non alterata che supporta molti organismi differenti, connettendo habitat per le necessità di rifugio, alimentazione, migrazione



Le radici sotto l'acqua forniscono un rifugio per i pesci e stabilizzano le sponde e i sedimenti.

Le increspature della corrente sono la dimora di diversi invertebrati, che forniscono il cibo ai pesci

Le barre di ciottoli sono importanti per gli invertebrati

Strategie sostenibili per il controllo dei sedimenti

- Identificare precocemente le tendenze evolutive dell'alveo, monitorandone le caratteristiche geometriche.
- Controllo dell'apporto di sedimenti dai versanti del bacino a monte, intervenendo per la riduzione dell'erosione diffusa (riforestazione, terrazzamenti, ecc.).
- Rimozione selettiva di massi di maggiore dimensione movimentati durante gli eventi di piena.
- Rimozione localizzata dei sedimenti che si accumulano a monte di restrizioni d'alveo e all'interno delle luci di ponti e attraversamenti.



VEGETAZIONE IN ALVEO



Potenziali criticità legate alla presenza di vegetazione in alveo

La presenza di vegetazione

- riduce l'area trasversale dell'alveo disponibile per il transito della corrente
- incrementa le resistenze al moto e quindi i livelli idrici a parità di portata
- incrementa la turbolenza locale, specialmente i tronchi rigidi sulle sponde, e quindi le erosioni localizzate
- provoca il movimento di detriti vegetali che tendono ad accumularsi in corrispondenza di infrastrutture come i ponti, danneggiandole o occludendone le luci di deflusso
- favorisce la sedimentazione, con la riduzione dell'altezza utile e della pendenza dell'alveo, incrementando i livelli idrici



Riduzione della sezione ad opera della vegetazione

Perché la vegetazione possa impedire il flusso dell'acqua e quindi incrementare sensibilmente i livelli idrici è necessario che essa occupi almeno il 10% dell'area della sezione trasversale dell'alveo.

Questa condizione si verifica solo per corsi d'acqua che sono soggetti a lunghi periodi di asciutta o che abbiano alvei di ampiezza contenuta.



Accumulo in corrispondenza degli attraversamenti

Durante gli eventi di piena la spinta idrodinamica della corrente è spesso tale da estirpare arbusti e alberi, anche per effetto dell'erosione del terreno attorno alle radici.

Ciò può avvenire anche per la vegetazione arbustiva e arborea già sviluppata presente nella parte più esterna delle fasce golenali e nella parte inferiore delle sponde.

Tuttavia, è bene osservare che la maggior parte dei residui vegetali trasportati dalla corrente durante le piene e che si accumula nelle sezioni ristrette, come i ponti e gli attraversamenti, provengono dai versanti del bacino e non dall'alveo.



Pulizia dell'alveo



Fig. 2.11 Tipiche “pulizie d'alveo”. Sopra: sul Torrente Uso (Rimini) la vegetazione riparia (foto a sinistra) viene eliminata con ruspe fino a lasciare la sponda completamente “pulita” (foto a destra). Sotto: effetti (devastanti) di una “pulizia d'alveo” e rimodellamento della sezione nell’Ombrone pistoiese (Foto in alto: G. Conte; in basso: B. Boz).

[da S. Andreotti, G. Zampetti (a cura di), *Le buone pratiche per gestire il territorio e ridurre il rischio idrogeologico*, Legambiente, 2007]

Rimozione della vegetazione

La rimozione della vegetazione, sia morta che viva, comporta:

- L'aumento del rischio di erosione per il venir meno dell'effetto stabilizzante delle radici.
- La riduzione della turbolenza e in generale delle resistenze al moto, con l'aumento delle velocità medie e di conseguenza dell'effetto naturale di laminazione in alveo delle portate di piena
- La riduzione del substrato organico presente sul fondo, fonte principale di alimentazione degli organismi triturator.

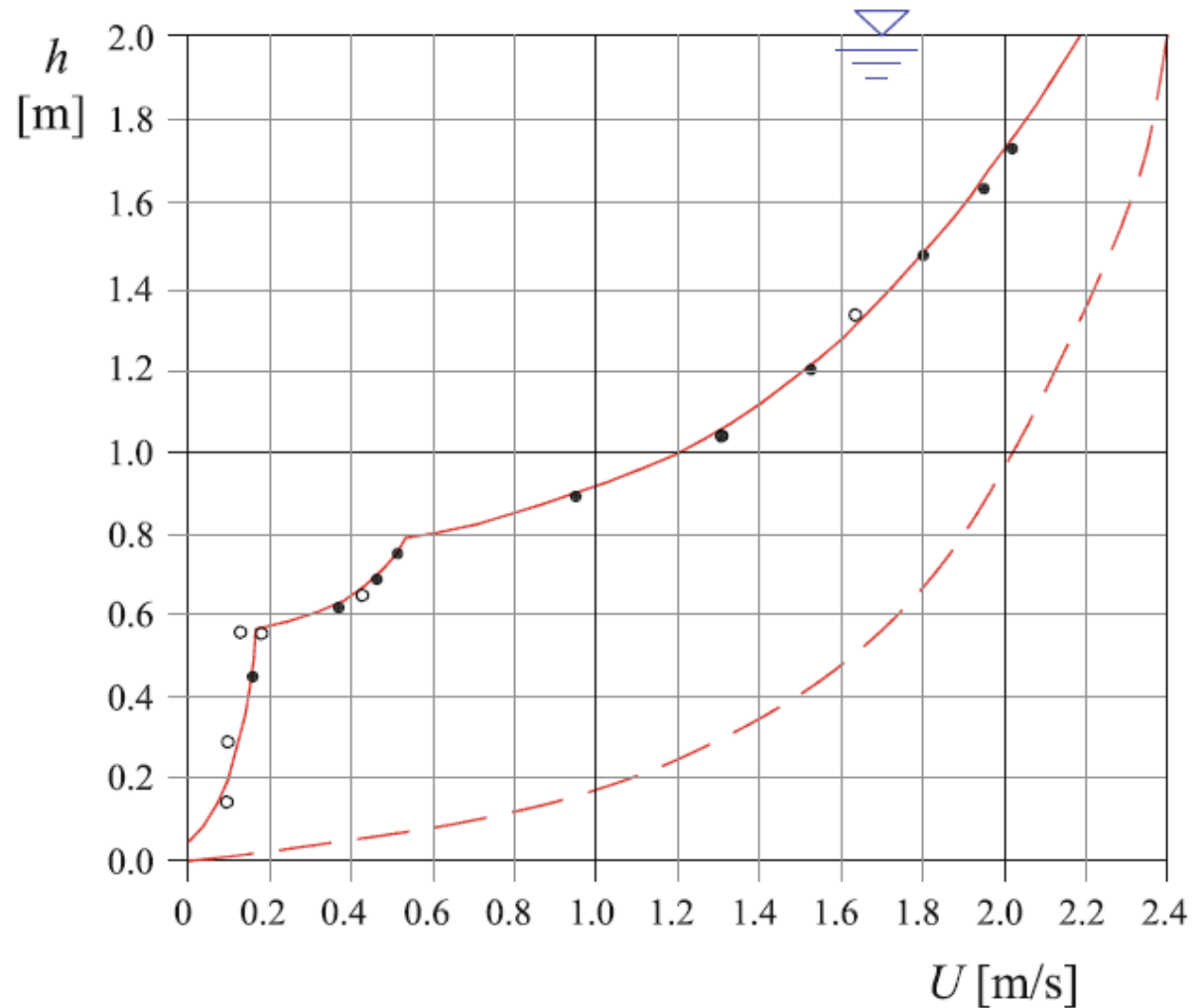


Effetto della vegetazione in alveo

Effetto della vegetazione (erba gramigna) sulla velocità media in un canale di bonifica.

[da Przedwojski B., Blazejewski R., Pilarczyk K. W., River training Techniques: Fundamentals, Design and Applications, A.A. Balkema, 1995]

La linea rossa continua e i pallini si riferiscono al caso con vegetazione, quella tratteggiata al caso senza vegetazione ($K_s = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$).

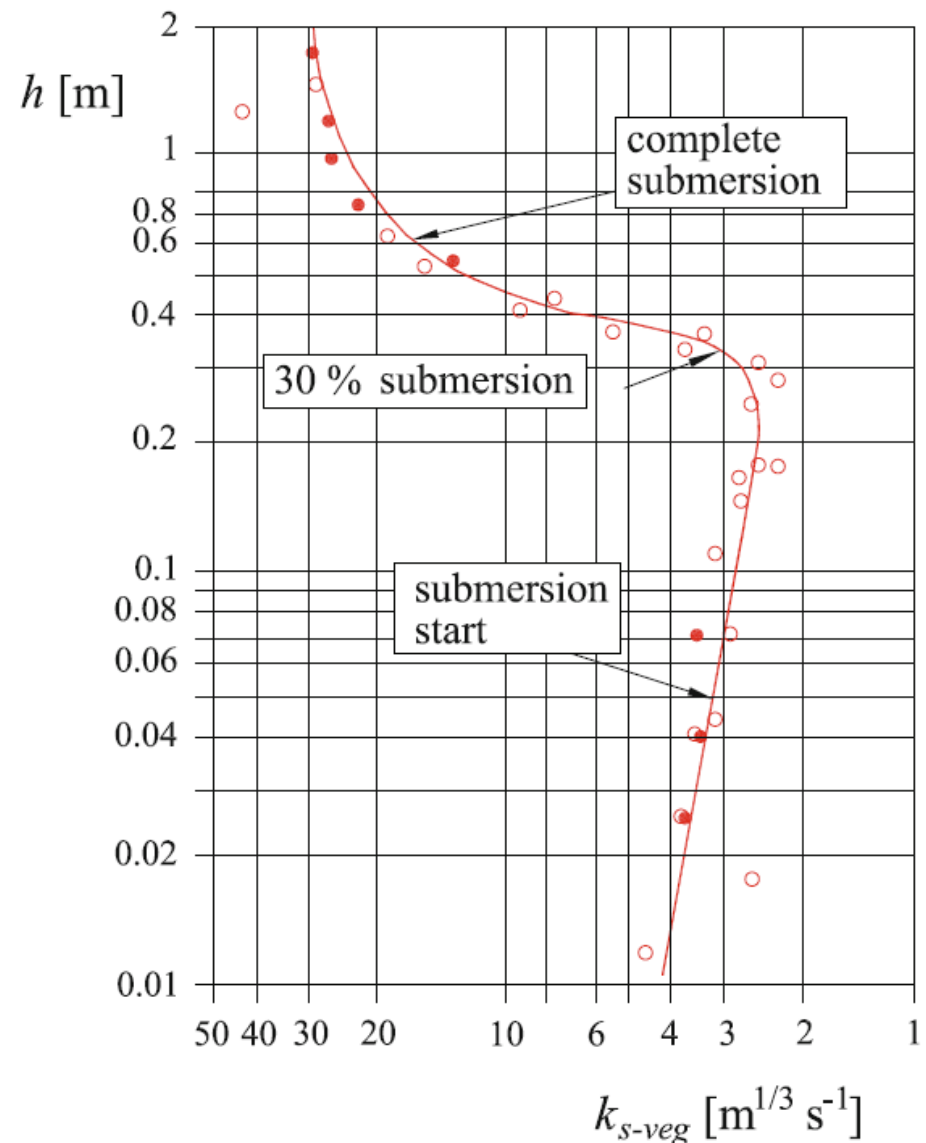


Effetto della vegetazione in alveo

Effetto del grado di sommergenza della vegetazione erbacea (gramigna di altezza media $h_v = 0.2$ m) sul coefficiente di scabrezza di Strickler K_s in un canale di bonifica (h = altezza della corrente rispetto al fondo).

[da Prezedwojski B., Blazejewski R., Pilarczyk K. W., River training Techniques: Fundamentals, Design and Applications, A.A. Balkema, 1995]

Il valore di tale coefficiente senza vegetazione è $K_s = 33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.



Vegetazione flessibile completamente immersa

In questo caso si può fare riferimento alla formula di Darcy- Weisbach:

$$Q = \sqrt{\frac{8 \cdot g}{f}} \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot J} = 8.857 \cdot \sqrt{\frac{1}{f}} \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot J}$$

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = a_v \cdot \ln\left(\frac{h}{\varepsilon_v}\right) + b_v \quad \varepsilon_v = 0.14 \cdot \left(\frac{M_v}{\tau_o}\right)^{1/4} \cdot h_v^{-0.59}$$

con :

A = area bagnata [m²]

R = raggio idraulico [m]

J = pendenza media del pelo libero $\simeq i$ = pendenza media dell'alveo [-]

h = altezza idrica [m],

h_v = altezza della vegetazione [m]

ε_v = scabrezza equivalente della vegetazione [m]

τ_v = sforzo tangenziale al fondo = $\gamma \cdot R \cdot i$ [kg/m/s²]

M_v = parametro [N/m²]

[da Kouwen N., Unny T.E., Flow retardance in vegetated channels, J. of Irrig. And Drain. Div., ASCE, IR2, 329-342, 1968;
Kouwen N., Field estimation of the biomechanical properties of grass, J. Of Hydr. Research, 26, 5, 559-568, 1988]

Vegetazione flessibile completamente immersa

Tipo di vegetazione	a_v	b_v	Autore
Eretta	1.85	0.15	Armanini, 2005
Prona	0.6 ÷ 0.8	7.6 ÷ 9.9	Armanini, 2005
Piante acquatiche (alisma plantago)	4.28	1.24	Plate & Quraishi, 1965
Erbe flottanti (glyceria fluitans), lattuga arricciata (potamogeton crispus)	2.09 ÷ 2.55	0.7 ÷ 1.45	Plate & Quraishi, 1965

$$M_v = \begin{cases} 319 \cdot h_v^{3.3} & \text{Vegetazione verde} \\ 233 \cdot h_v^{3.125} & \text{Vegetazione verde, morta o dormiente (condizione media)} \\ 25.4 \cdot h_v^{2.26} & \text{Vegetazione morta o dormiente} \end{cases}$$

Volendo usare il coefficiente di scabrezza di Strickler, si ricorda la relazione

$$\sqrt{\frac{1}{f}} = k_s \cdot \frac{R^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{8 \cdot g}} = 0.113 \cdot k_s \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

Vegetazione rigida parzialmente sommersa

In questo caso la resistenza al moto aggiuntiva è data dalla somma della resistenza delle singole piante. Il coefficiente di scabrezza di Strickler, corretto per nel caso di vegetazione rigida parzialmente sommersa, è dato dalla

$$k_{s_v} = \frac{k_{s_o}}{\sqrt{1 + \frac{1}{2g} \cdot C_R \cdot \frac{h \cdot d_p}{a_x \cdot a_y} \cdot k_{s_o}^2 \cdot R^{1/3}}}$$

[da Petryk S., Bosmajian III G., Analysis of flow trough vegetation, J. Of Hydr.. Div., ASCE, 101 HY7,1975]

Con

k_{s_o} = coefficiente di scabrezza di Strickler senza vegetazione

C_R = coefficnte di scabrezza = 1.0 ÷ 1.5

a_x = distanza media tra le piante nella direzione della corrente

a_y = distanza media tra le piante nella direzione perpendicolare alla corrente

d_p = diametro medio delle piante [m]

Vegetazione rigida parzialmente sommersa

Tipo di vegetazione	Grado di sviluppo	d_p	a_x	a_y
VEGETAZIONE DISTRIBUITA				
• cannetto		0.003 ÷ 0.01	0.01 ÷ 0.03	0.01 ÷ 0.03
• arbusti	1 anno	0.03	0.25 ÷ 0.35	0.25 ÷ 0.35
• salici	> 1 anno	0.03 ÷ 0.06	0.15 ÷ 0.25	0.15 ÷ 0.25
• Betulle	5 anni	0.04 ÷ 0.10	1.0 ÷ 5.0	1.0 ÷ 5.0
	> 5 anni	0.15 ÷ 0.50	3.0 ÷ 10.0	3.0 ÷ 10.0
	Solo tronchi	0.5 ÷ 1.0	10.0 ÷ 20.0	5.0 ÷ 15.0
PIANTE ISOLATE				
• cespugli	1 anno	3.5	3.5 ÷ 10.0	3.0 ÷ 10.0
• gruppi di alberi	1 anno	1.0	10.0	10.0

[da Armanini A., Principi di Idraulica fluviale, BIOS, 2005]

Strategie sostenibili per il controllo della vegetazione

- Mantenimento della vegetazione sulle sponde, inclusi ceppi e tronchi abbattuti stabili.
- Rimozione di piante e arbusti nell'alveo inciso.
- Rimozione di piante e arbusti nelle espansioni golenali, fino alla riduzione dell'area occupata dalla vegetazione inferiore al 10% dell'area totale della sezione trasversale.
- Rimozione di piante morte e residui legnosi di dimensioni medio-grandi dall'intera sezione d'alveo.





Grazie per l'attenzione

gianfranco.becciu@polimi.it