

Docente
Prof. Aldino Bondesan

La rete idrografica

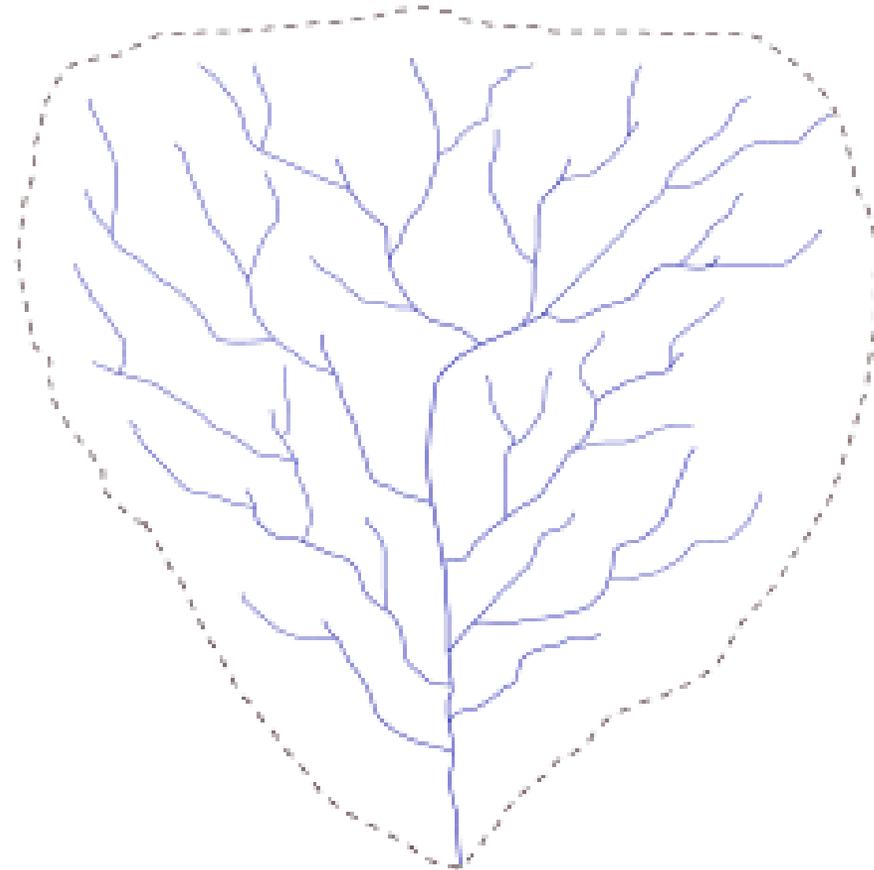
Geomorfologia fluviale



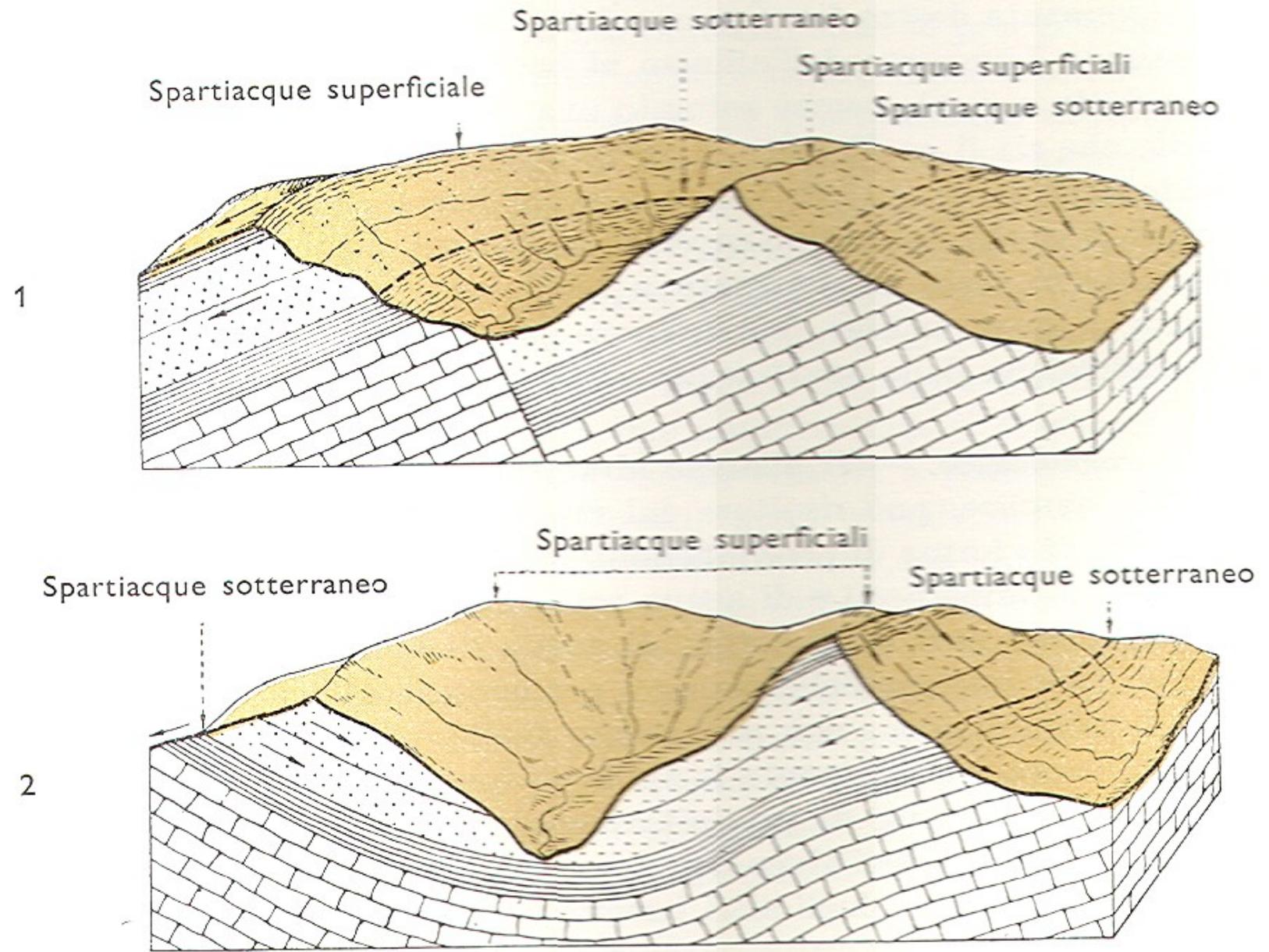
Cenni introduttivi

Rete idrografica: è un sistema, solitamente ramificato, di fiumi e relativi affluenti gerarchizzati compresi in un bacino idrografico o in una porzione di territorio

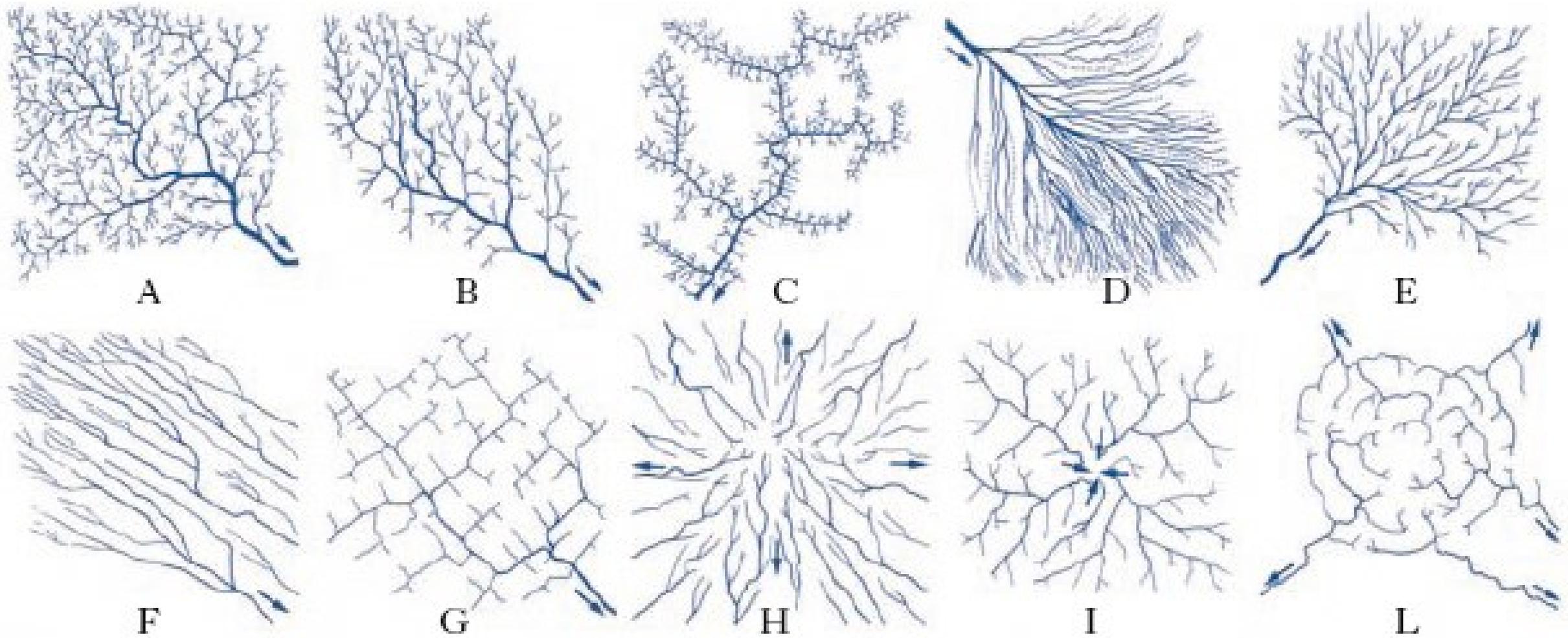
Linea spartiacque: è la linea che separa bacini idrografici adiacenti



Spartiacque geologico

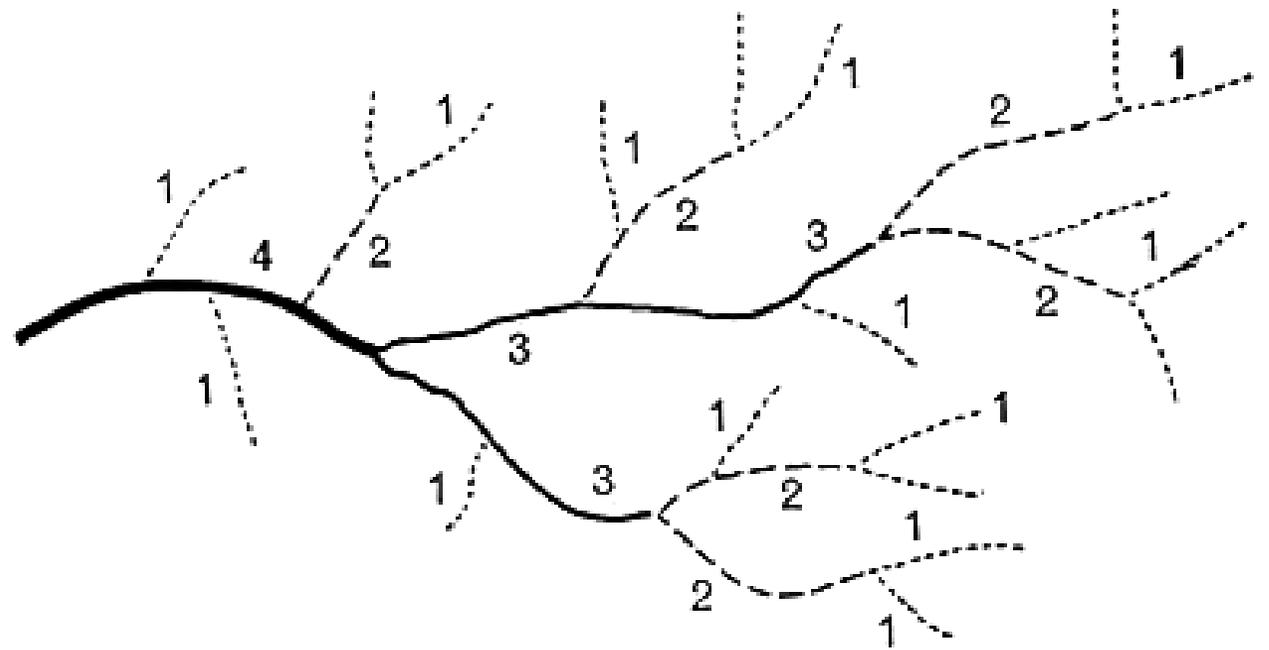


a) pattern dendritico; b) pattern subdendritico; c) pattern pinnato; d) pattern divergente; e) pattern convergente; f) pattern parallelo; g) pattern angolato; h) pattern centrifugo; i) pattern centripeto; l) pattern anulare.

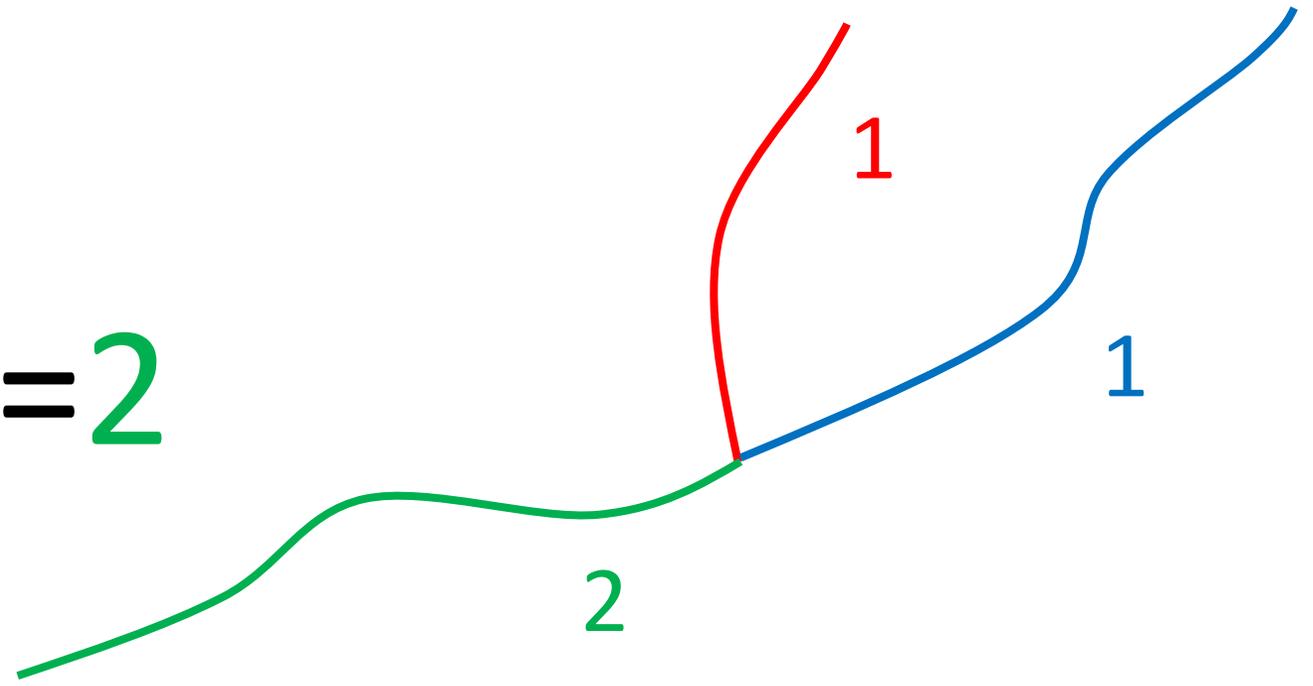


Regola di Strahler

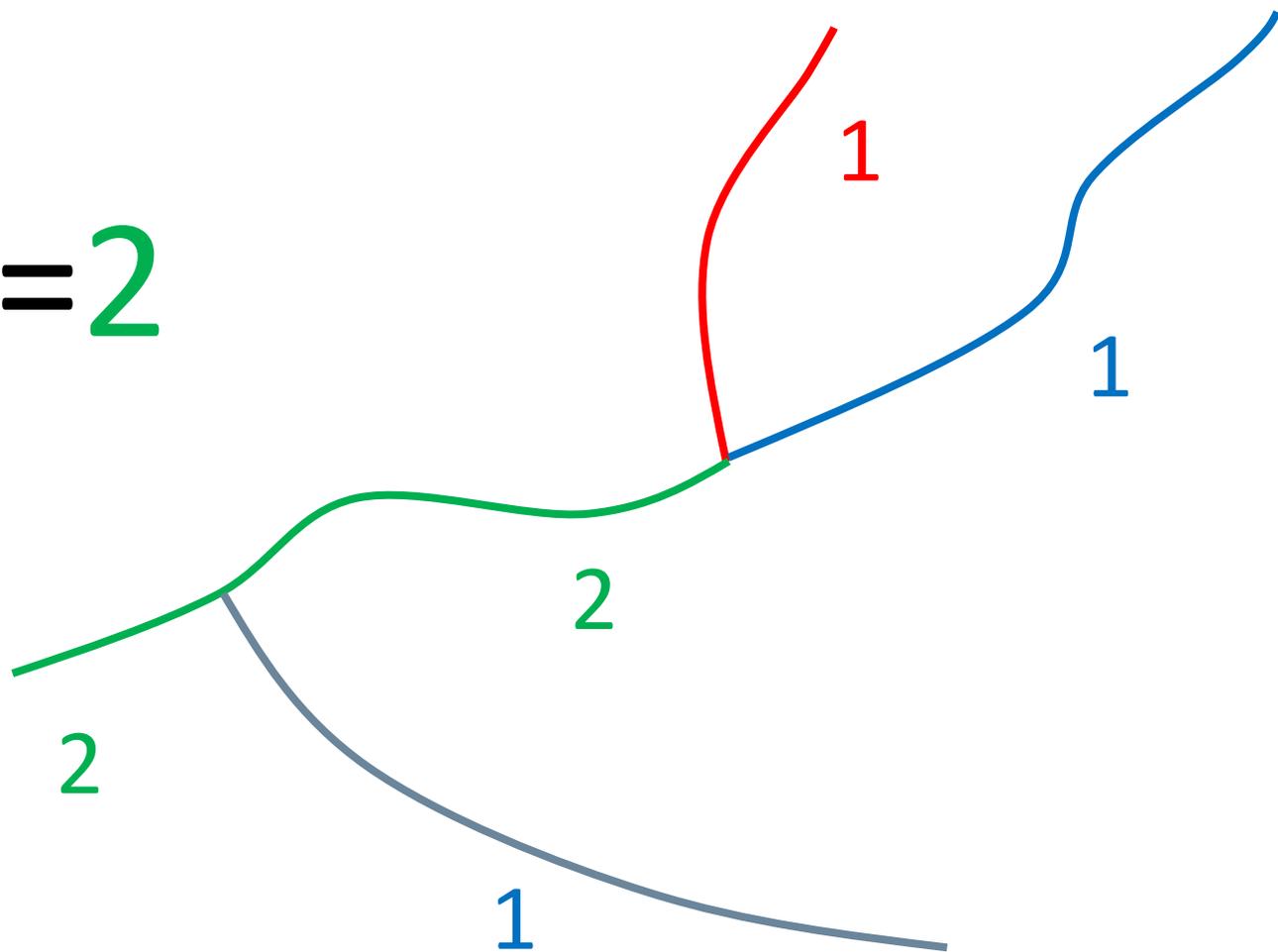
Se indichiamo con u il numero d'ordine dei segmenti idrografici e con N_u il numero di segmenti idrografici di ordine u in un determinato bacino fluviale, troveremo che N_u diminuisce regolarmente con l'aumentare del numero d'ordine u .

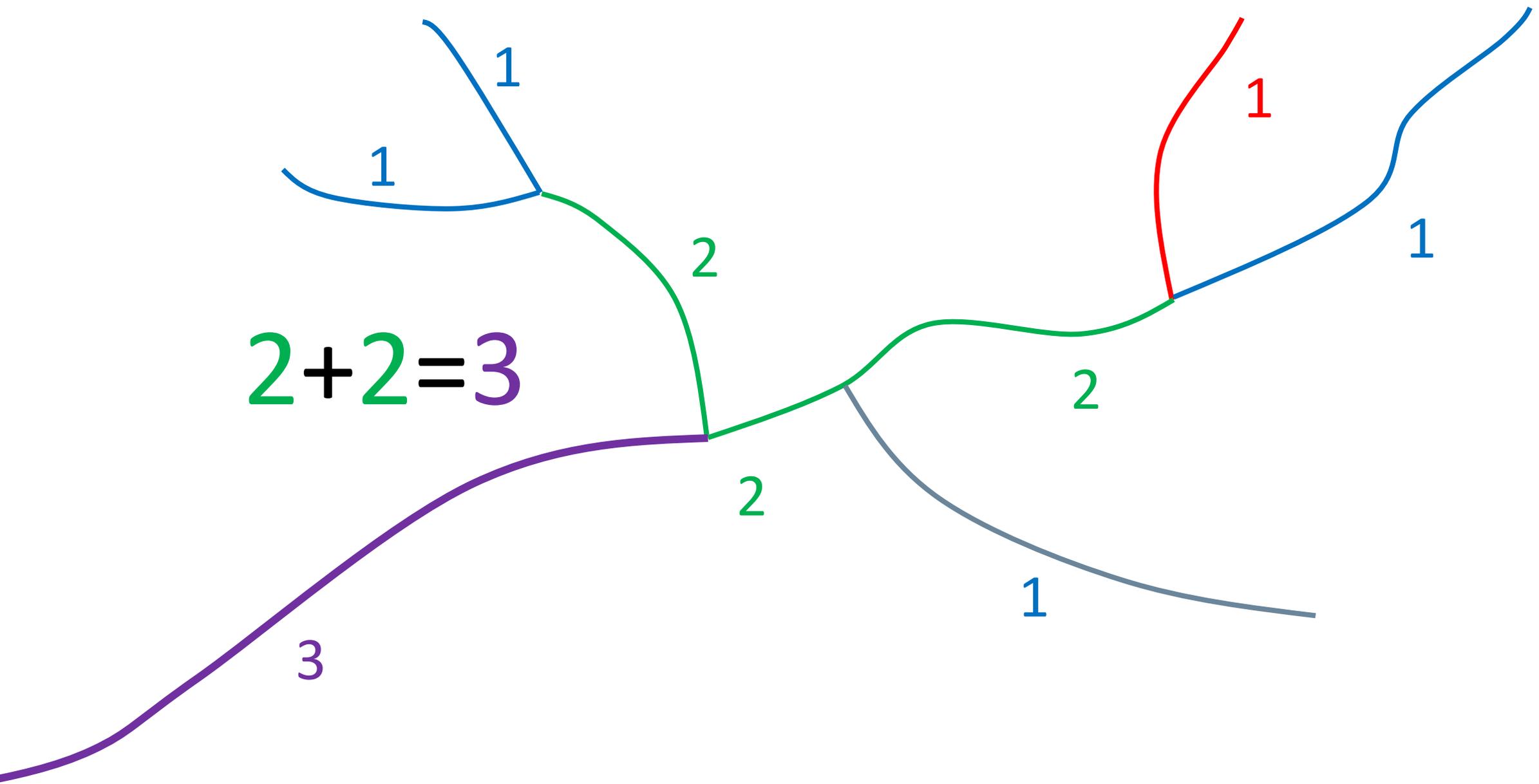


$$1 + 1 = 2$$



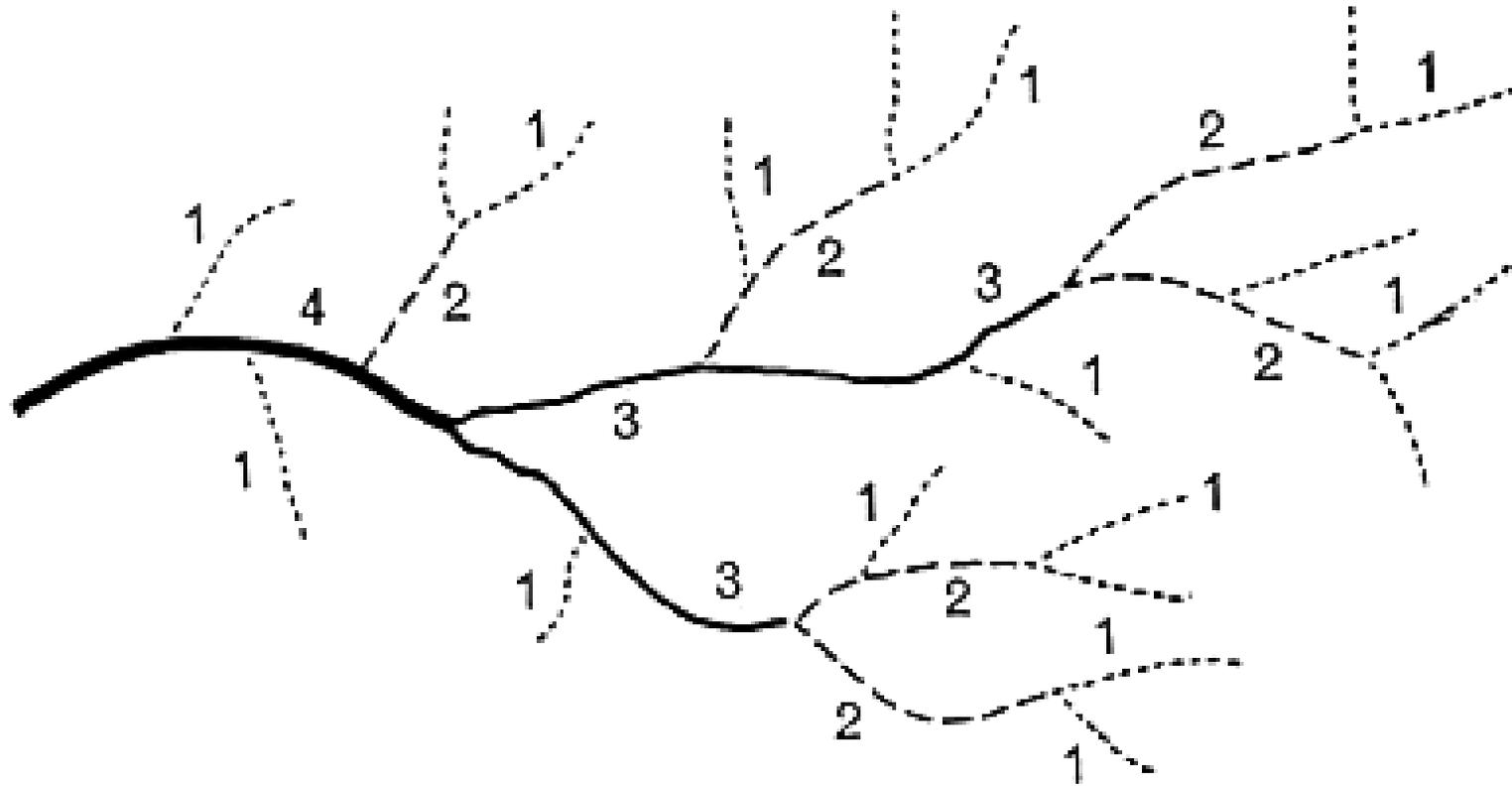
$$1 + 2 = 2$$

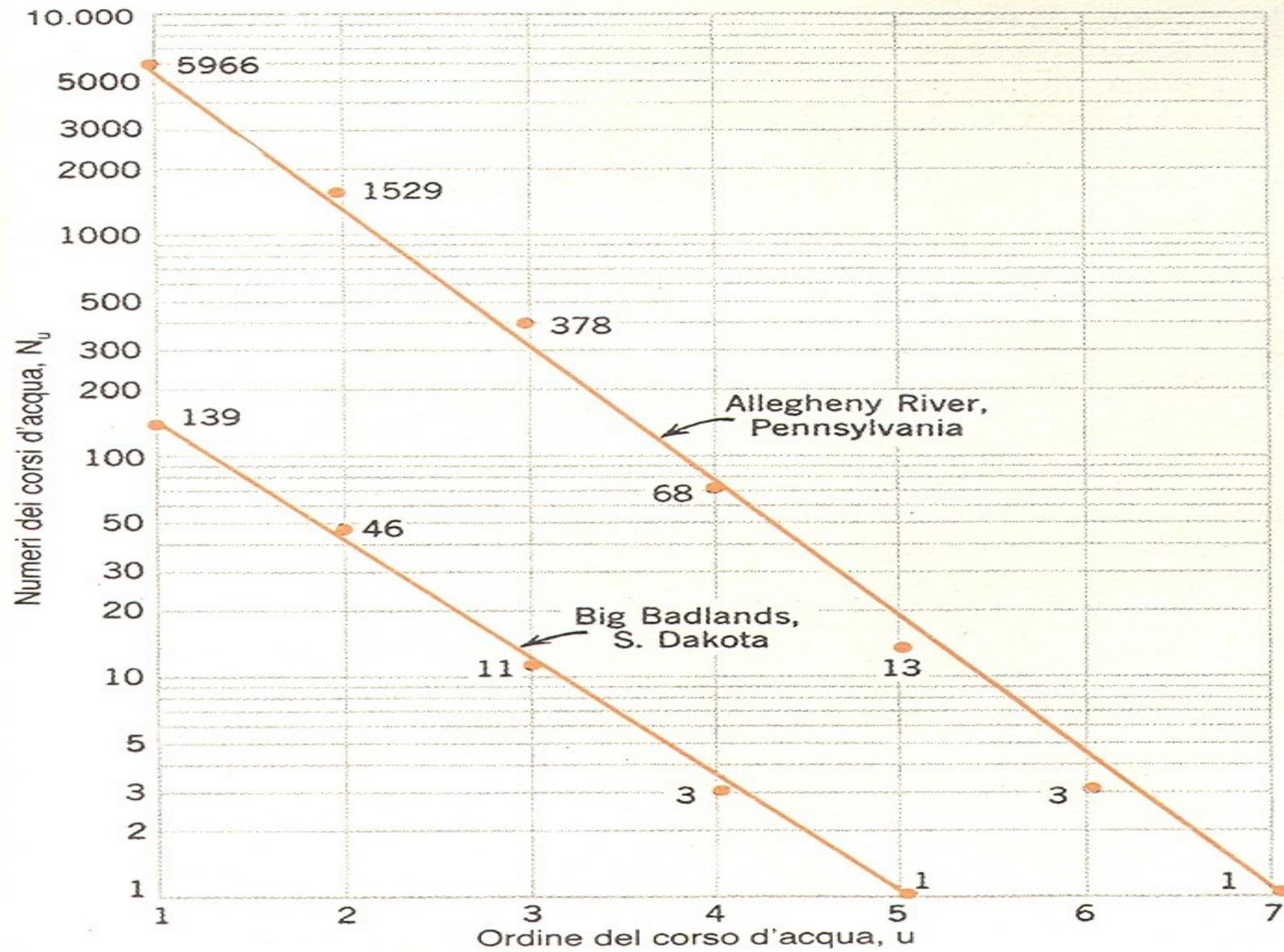




$$2 + 2 = 3$$

Ordine gerarchico di un corso d'acqua (classificazione di Strahler)





Deviazioni fluviali

Deviazioni per cause tettoniche

Deviazioni per cattura

Deviazioni in aree di sedimentazione fluviale

Deviazioni artificiali

Deviazioni fluviali

Cause tettoniche

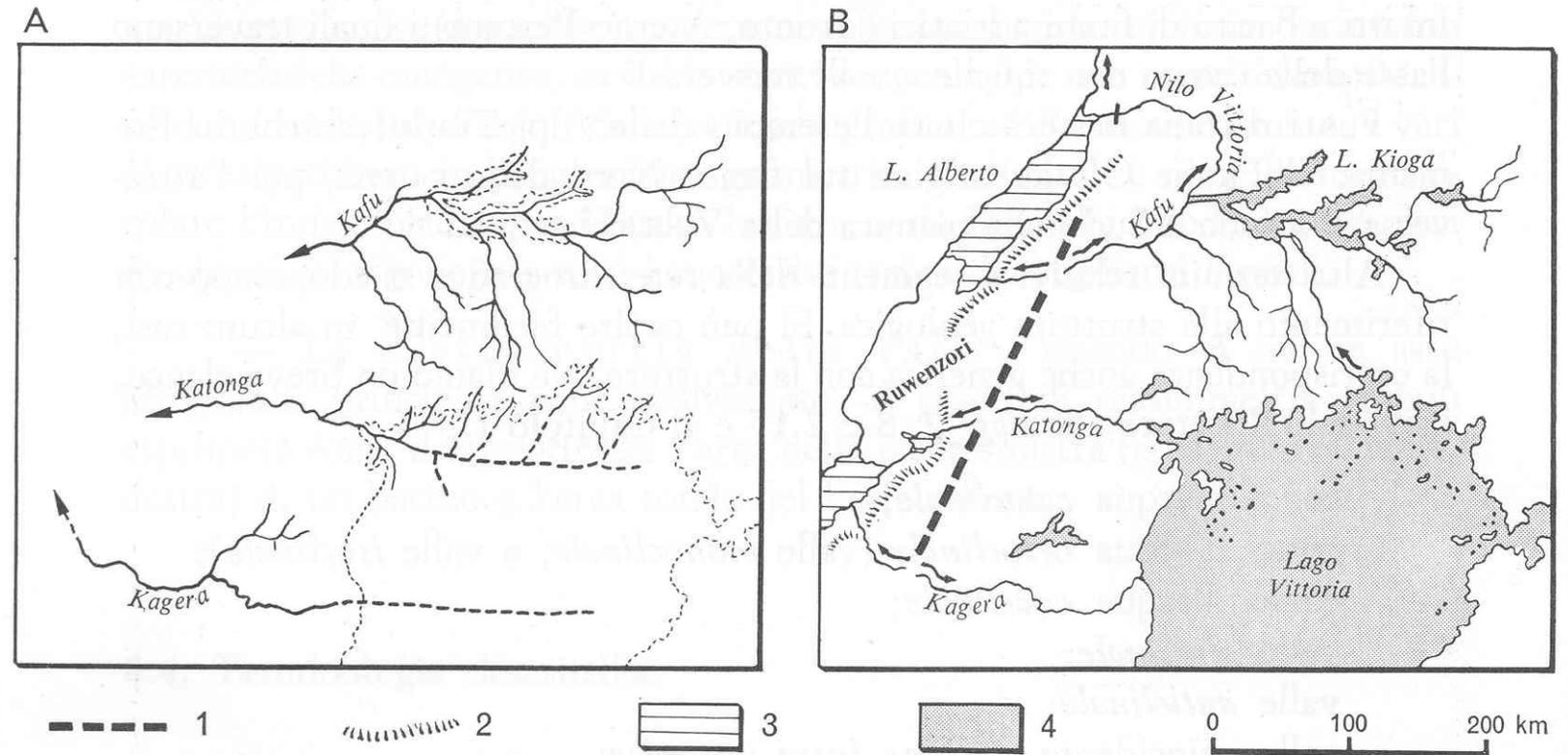


Fig. 8.8. Effetti dei movimenti tettonici sulla rete idrografica e sui laghi nell'Uganda (secondo J. C. DOORNKAMP, Univ. di Nottingham, 1966).

A. Probabile rete idrografica precedente ai movimenti tettonici; fiumi diretti verso il bacino del Congo (a puntini: coste degli attuali laghi Vittoria e Kioga); B. Rete idrografica attuale. — 1. Asse di massimo sollevamento ad Est della *Rift Valley* (fossa dei laghi); 2. Scarpata di faglia sul margine Est della *Rift Valley*; 3. Laghi nella *Rift Valley*; 4. Laghi formatisi per inversione della pendenza dei fiumi.

Cattura fluviale

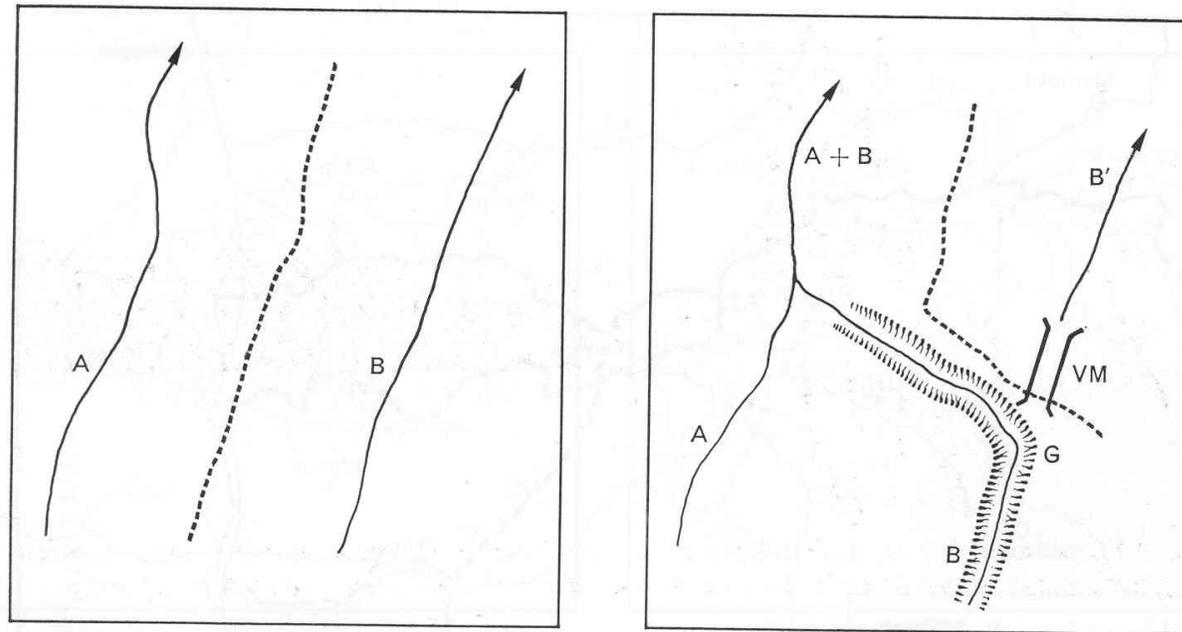
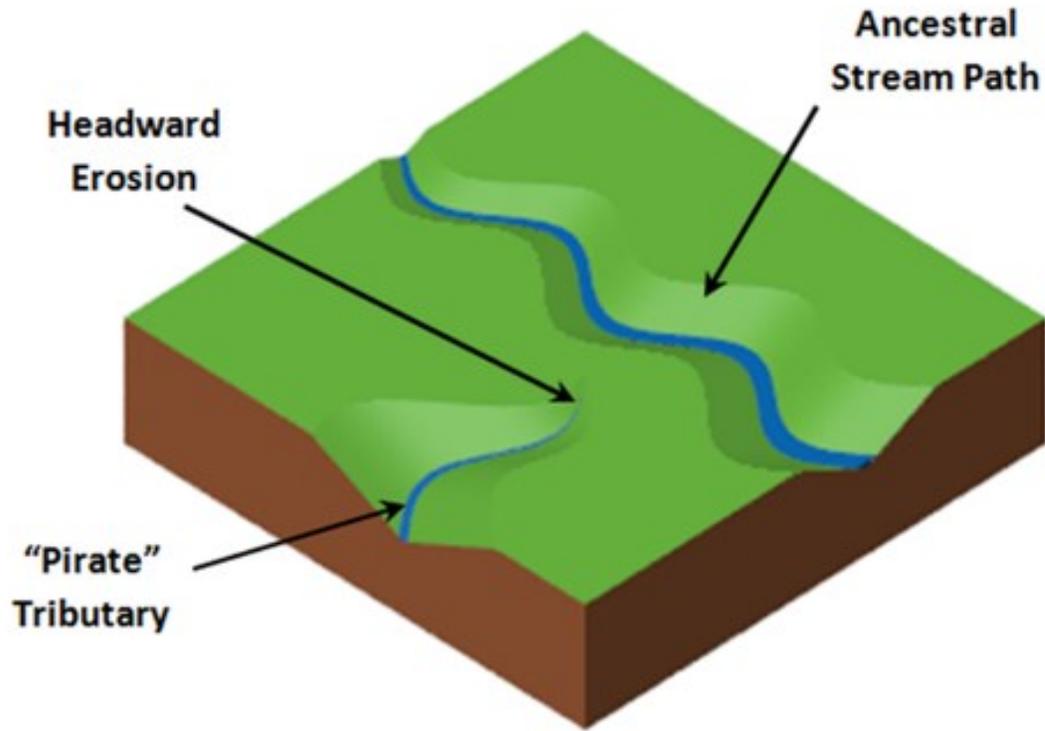


Fig. 8.10. Illustrazione schematica di una deviazione fluviale (linea punteggiata: *spartiacque*).

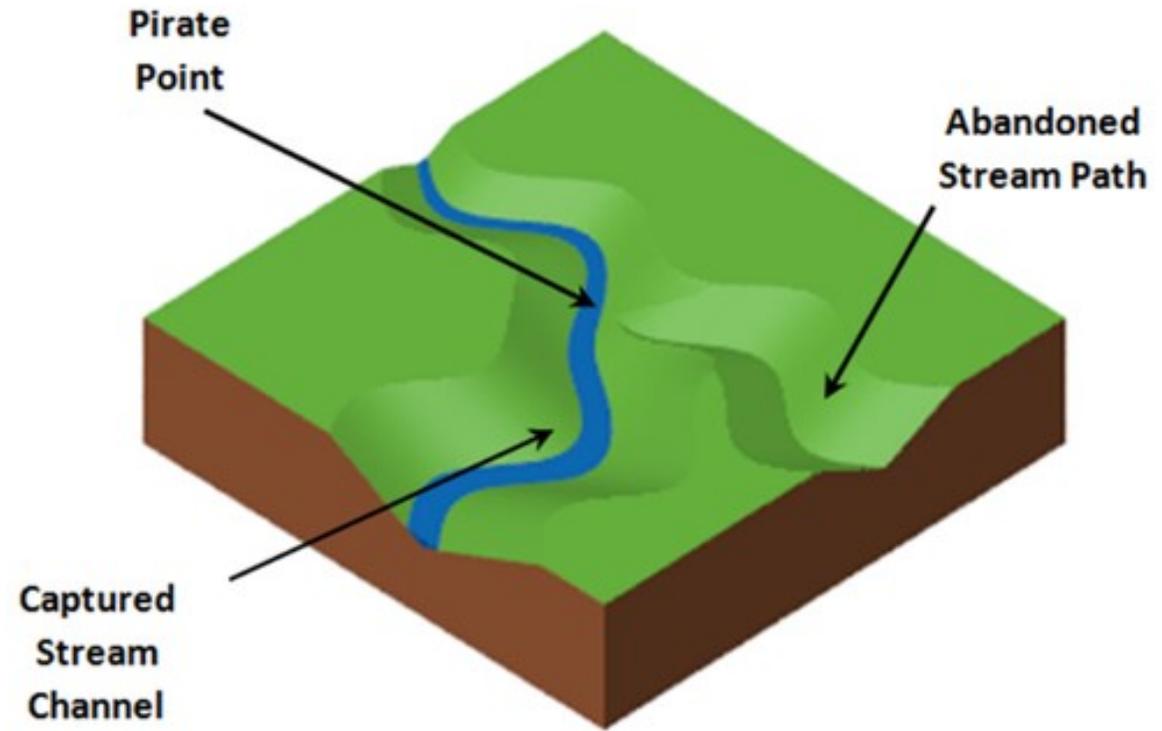
Le tre figure successive rappresentano casi diversi secondo questo schema.

A sinistra: prima della deviazione, il fiume B scorre ad un livello più alto del fiume A. A destra: dopo la deviazione, il fiume B confluisce nel fiume A, ed è in fase di incisione (erosione regressiva); G. luogo della deviazione (quando il nuovo corso presenta un angolo netto, si parla di gomito di cattura); VM. valle morta; B'. fiume decapitato.

Time 1



Time 2



Deviazione per tracimazione

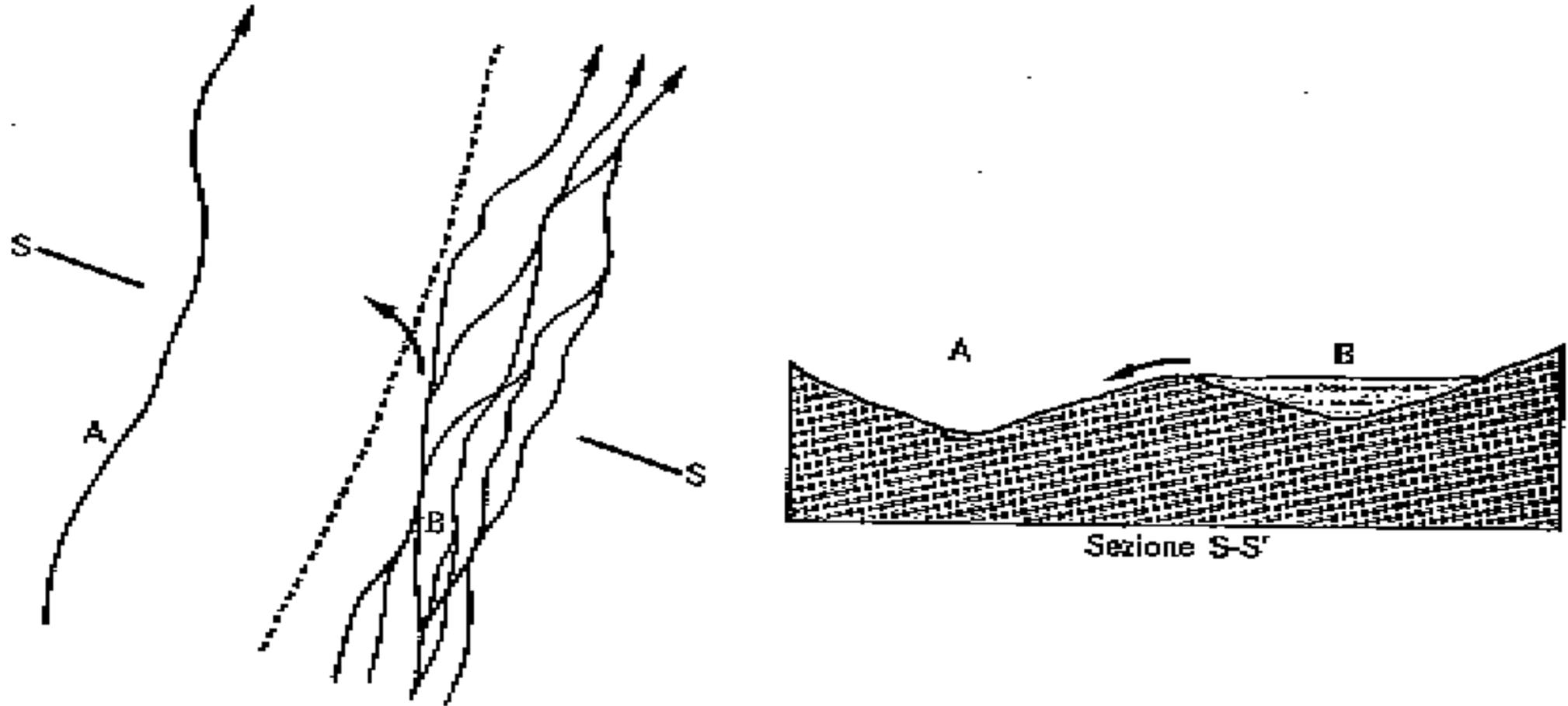


Fig. 8.11. Schema di una deviazione per *tracimazione*. Il fiume B è in fase di forte alluvionamento e tende ad innalzare il suo letto. Può traboccare oltre lo spartiacque.

Deviazione per erosione laterale

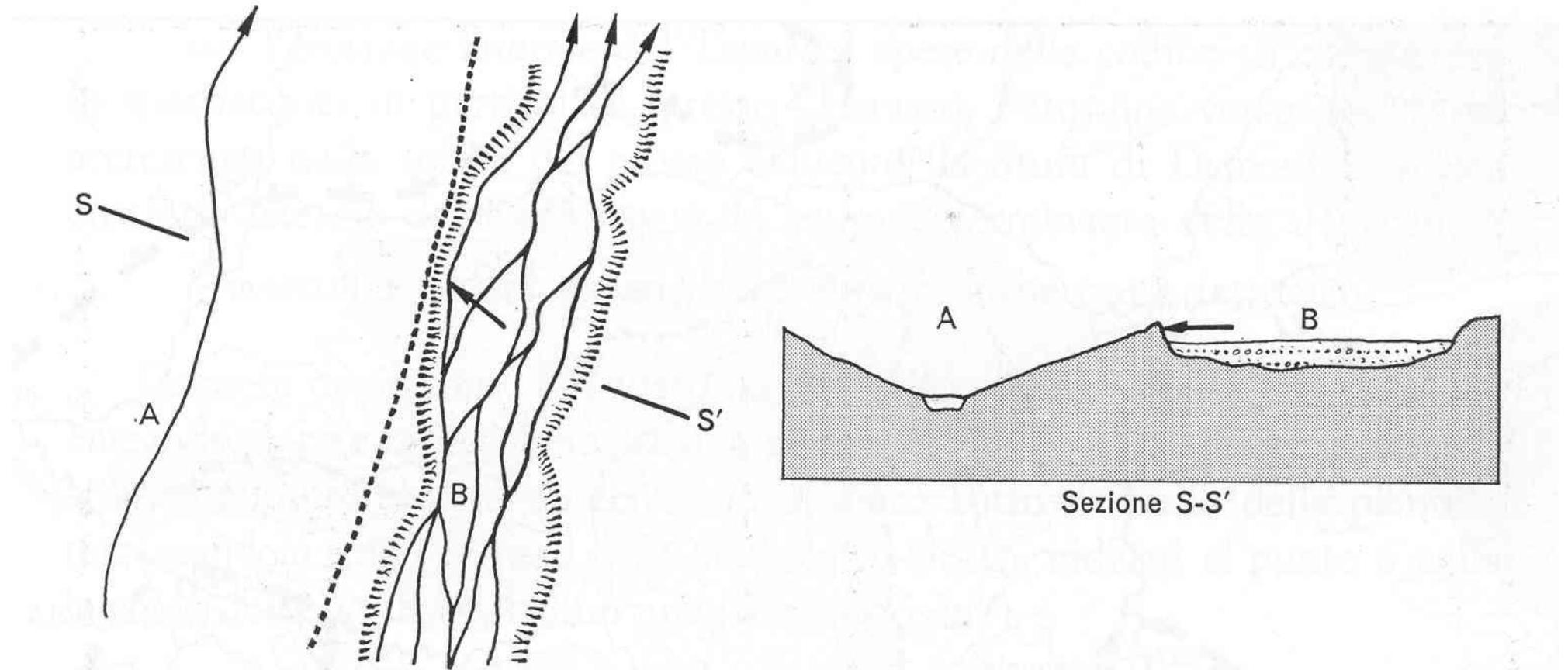


Fig. 8.12. Schema di una deviazione per erosione laterale del corso d'acqua posto a quota più alta. L'erosione laterale provoca una breccia nel rilievo che formava spartiacque.

Cattura in senso stretto (deviazione per cattura)

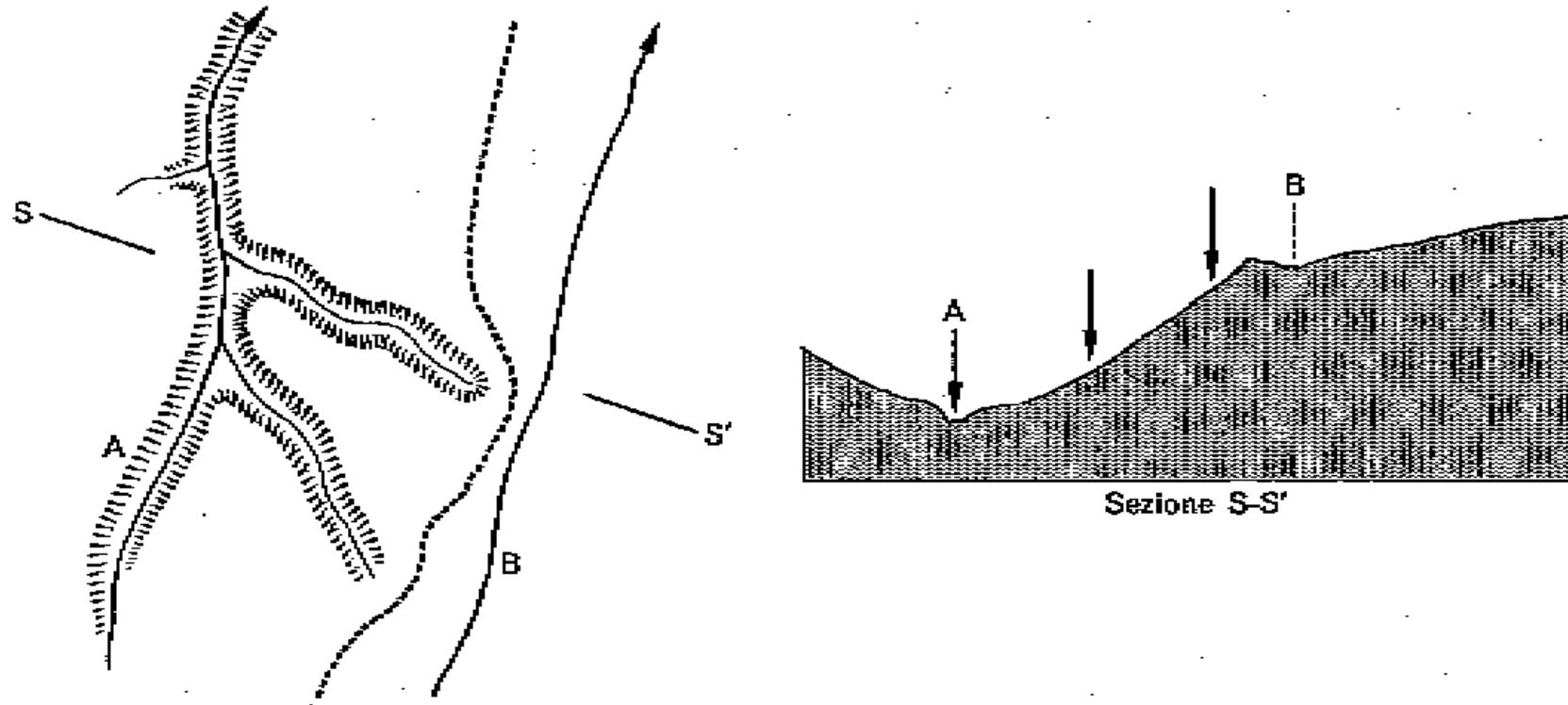
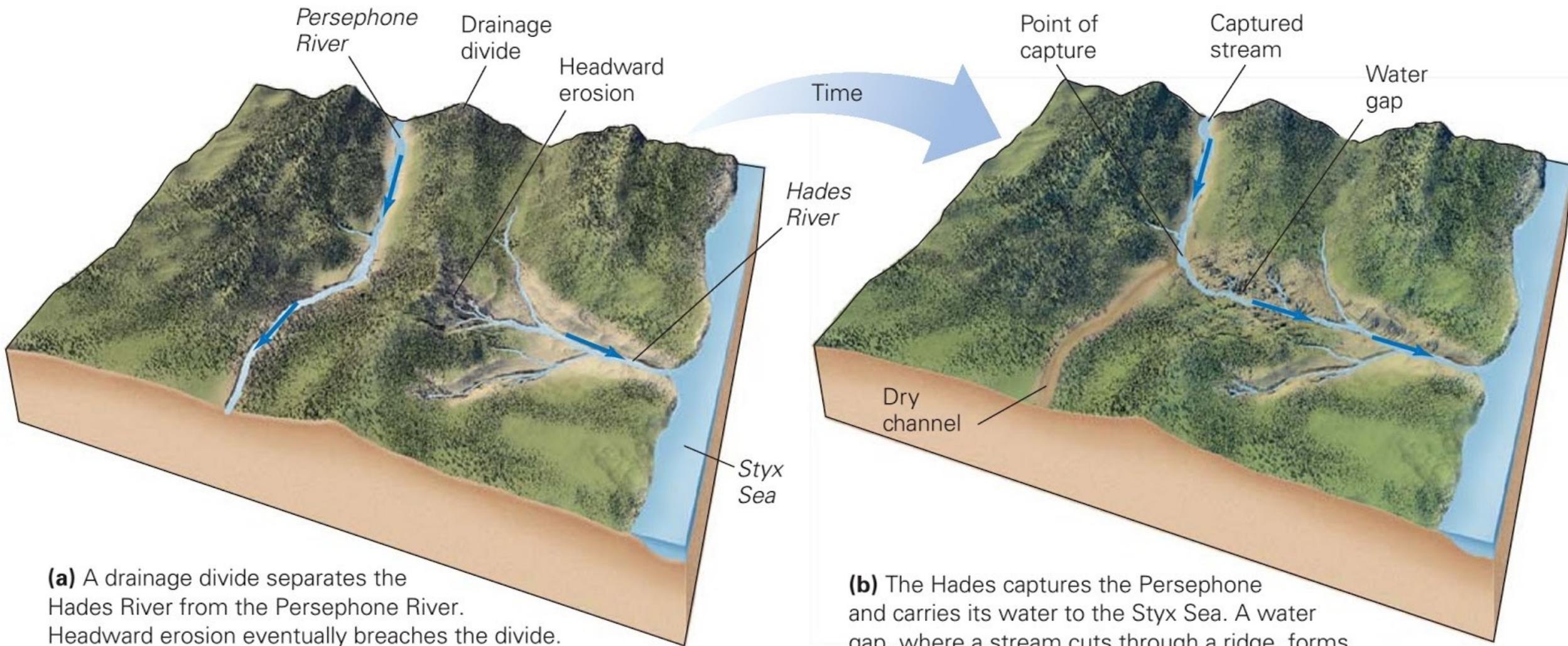


Fig. 8.13. Schema di una deviazione per cattura (*cattura fluviale* in senso stretto).

Il fiume A con i suoi affluenti esercita una forte erosione, che provoca la retrocessione dello spartiacque: questo si abbassa e si sposta fino a raggiungere il fiume B.



(a) A drainage divide separates the Hades River from the Persephone River. Headward erosion eventually breaches the divide.

(b) The Hades captures the Persephone and carries its water to the Styx Sea. A water gap, where a stream cuts through a ridge, forms and the former Persephone channel becomes a dry canyon.

Sovrimposizione o epigenesi

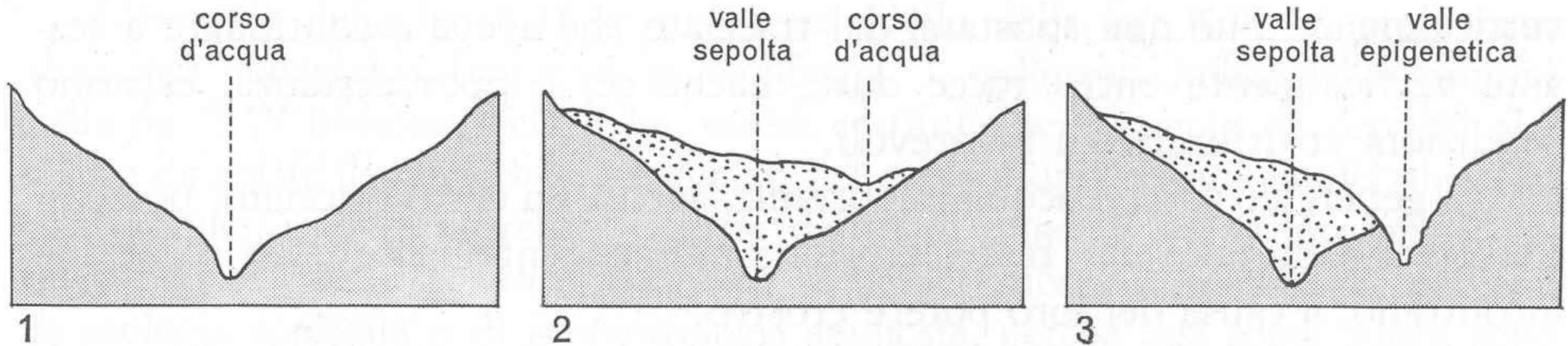
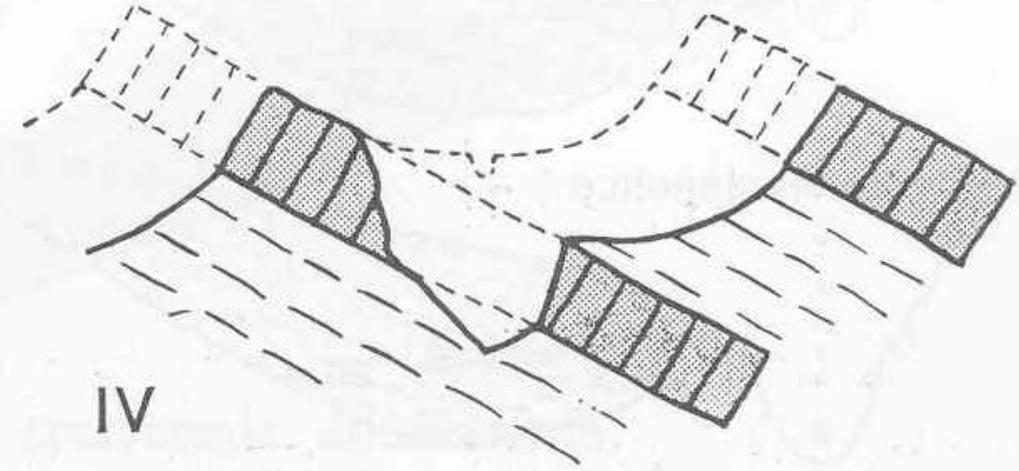
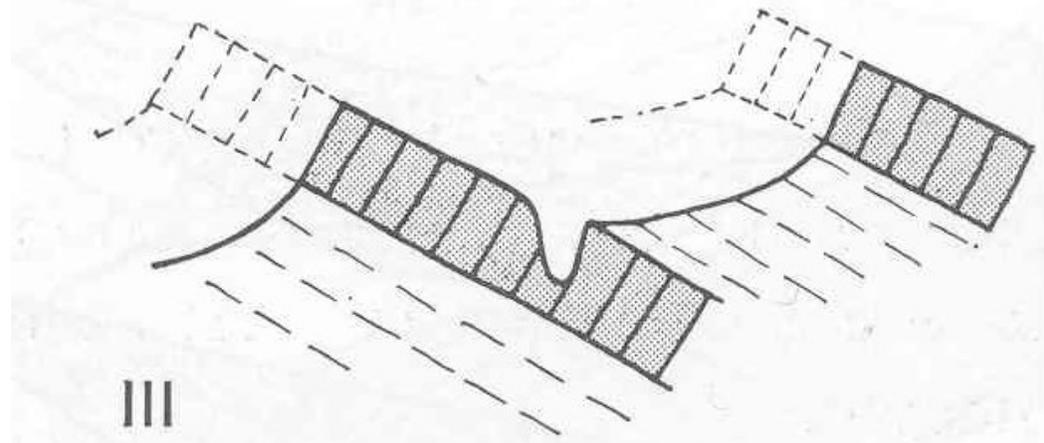
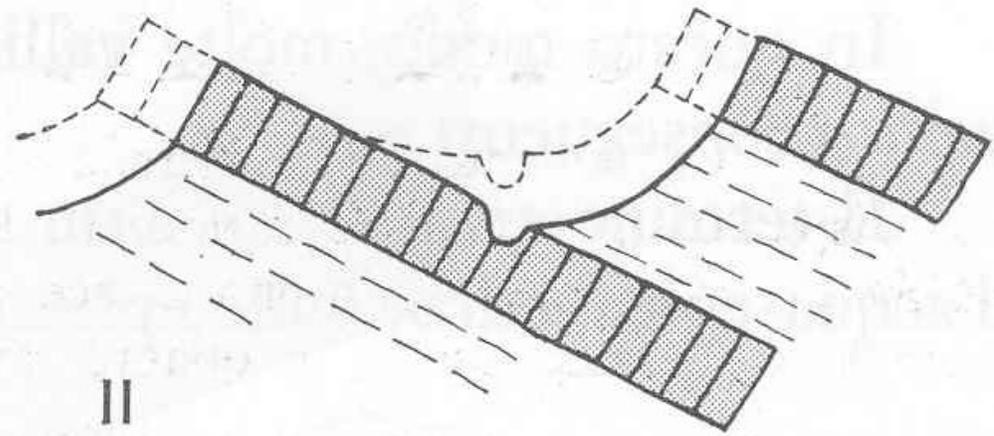
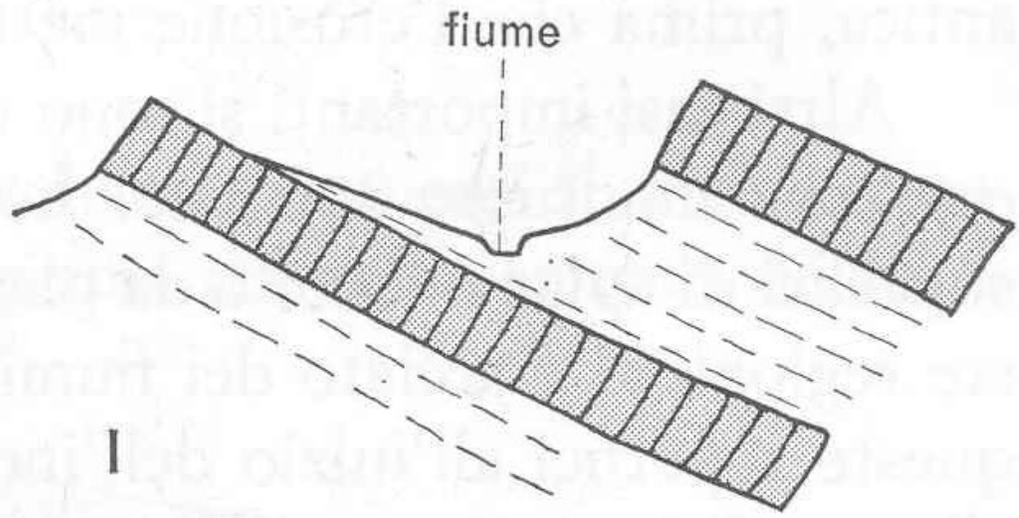
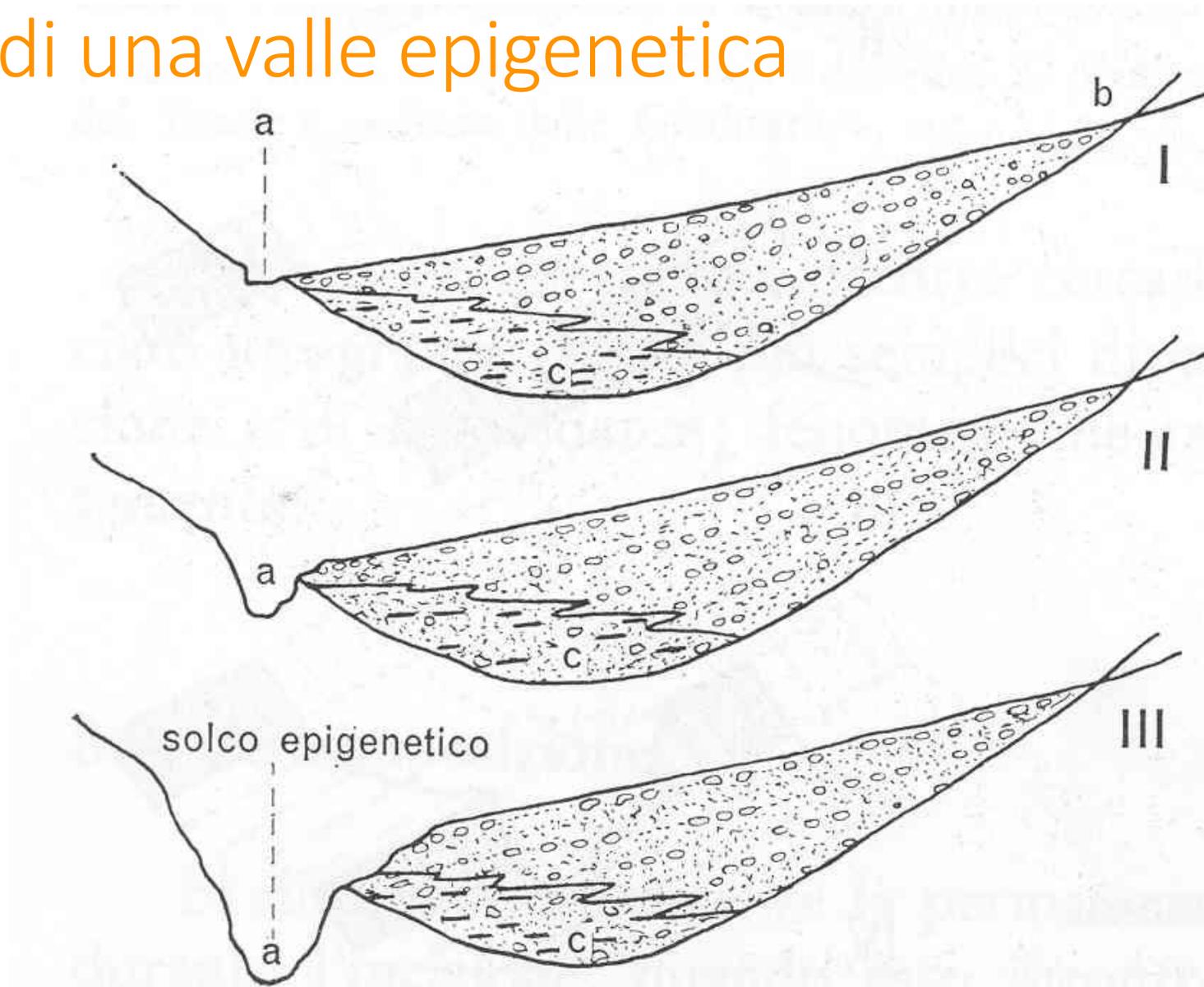


Fig. 8.18. Formazione di una *valle epigenetica* per sovrimposizione dopo una fase di seppellimento.

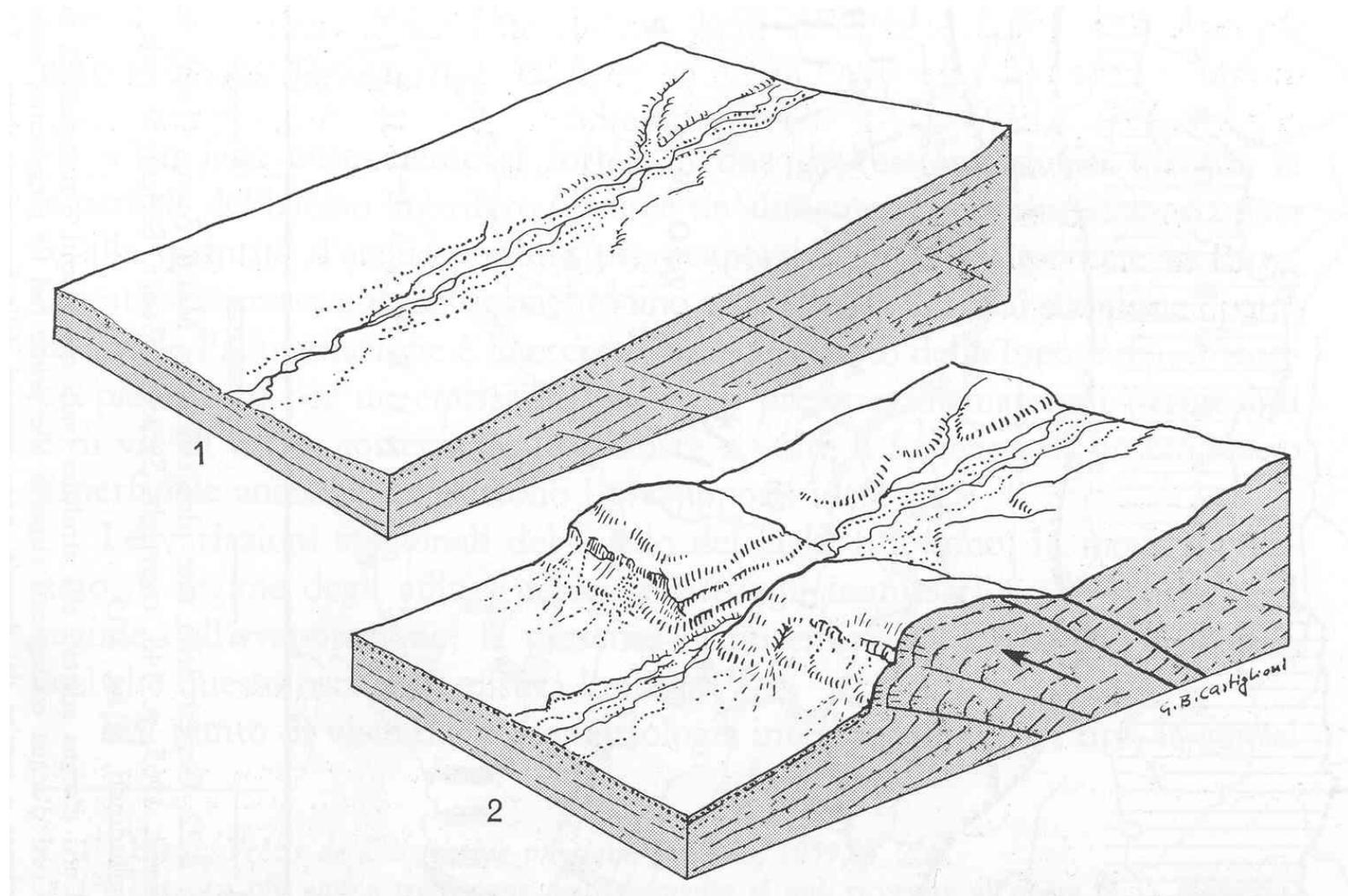
In grigio: rocce del substrato. *A puntini*: sedimenti. Questo schema può applicarsi a molte valli alpine, col fondo coperto da depositi glaciali e fluvio-glaciali; ma in modo analogo si applica a tante altre situazioni.



Formazione di una valle epigenetica



Antecedenza





Il trasporto solido fluviale

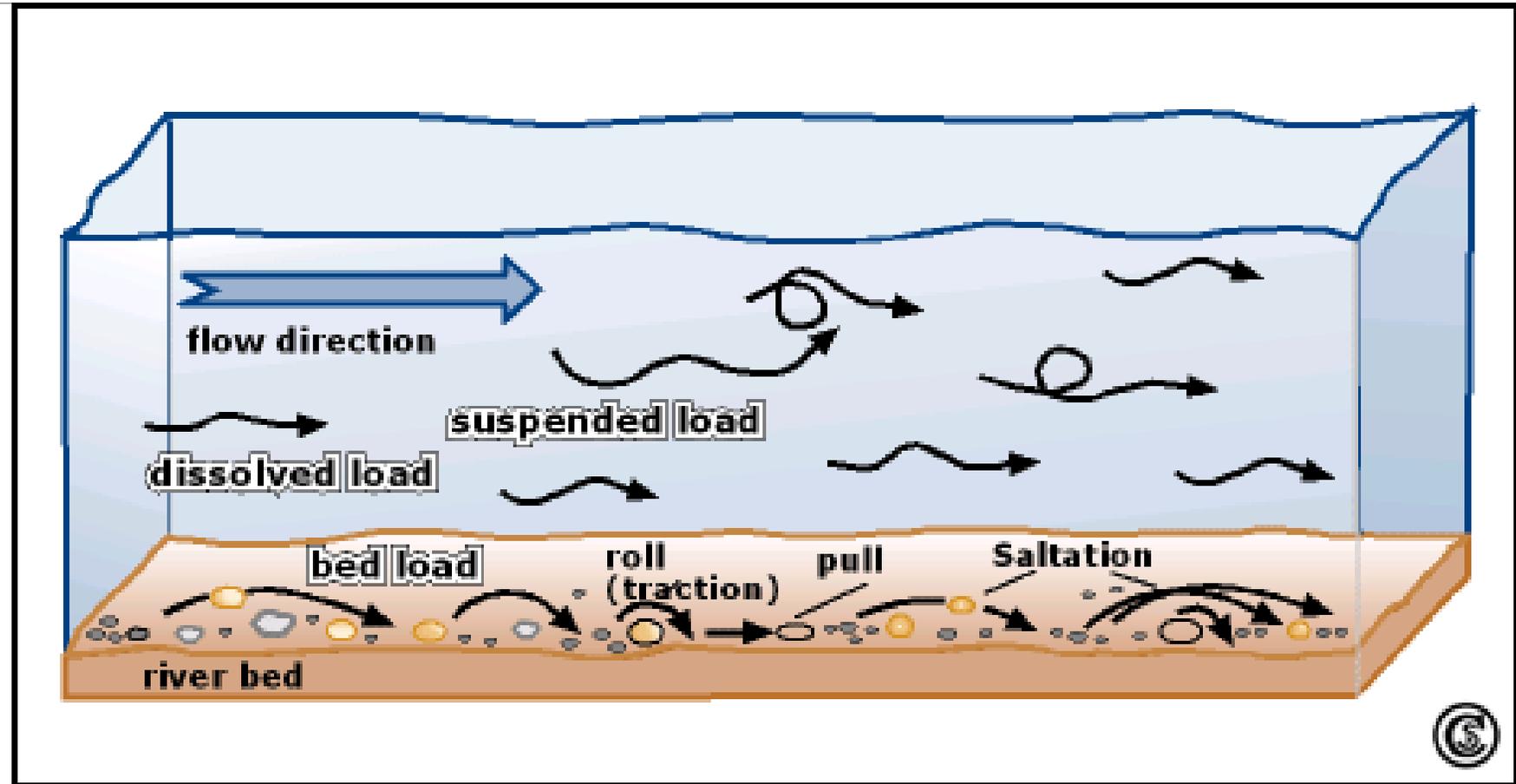
Modalità di trasporto

Trasporto in
sospensione

Trasporto sul fondo
(rotolamento,
slittamento, saltazione)

Trasporto in soluzione

Trasporto per
fluitazione



Portate

Portata solida

Quantità di materiale trasportato che passa per una sezione del fiume nell'unità di tempo

Portata torbida

Quantità di materiale trasportato in sospensione che passa per una sezione del fiume nell'unità di tempo



Il trasporto dipende da:

Granuli

Peso specifico

Forma

Dimensioni

Acqua

Velocità

Quantità

Forma del letto

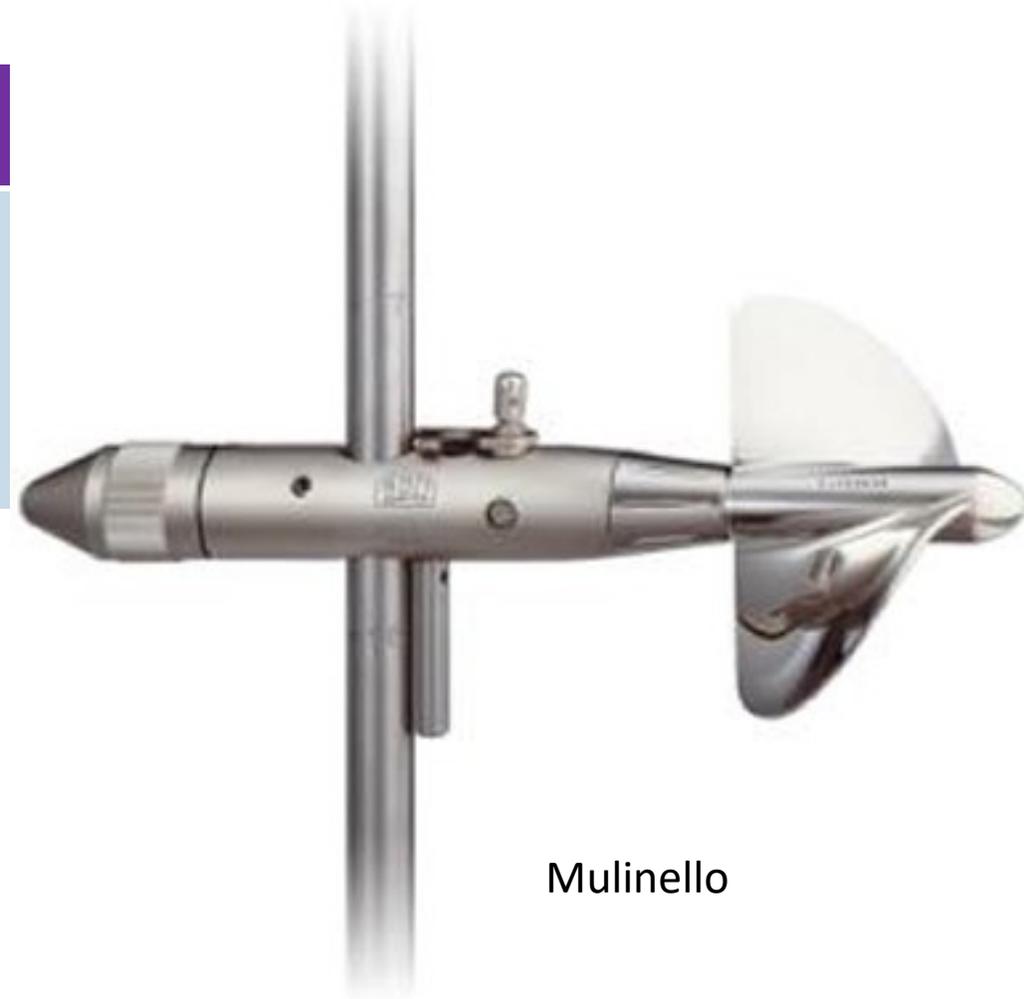
Misure del trasporto

Trasporto o portata solida

90% trasporto in sospensione

5-10% sul fondo

[Fino a 70% nei corsi di montagna]



Mulinello

Morfologia fluviale

Letti o alvei fluviali: si manifestano le azioni morfologiche dei corsi d'acqua

Erosione, trasporto e sedimentazione

Modellamento dell'alveo: avviene durante le piene

Rimodellamento delle forme principali durante le magre

Erosione fluviale

L'incisione verticale approfondisce l'alveo

L'erosione laterale scalza le sponde e le fa arretrare

EROSIONE: prelievo e trasporto dalle sponde e dal fondo di detriti

CAVITAZIONE: erosione dell'alveo per effetto di brusche variazioni di pressione che provocano bolle di vapore

ABRASIONE: erosione meccanica da parte dei detriti trasportati dalla corrente

EVORSIONE: impatti di materiali ciottolosi in presenza di moti vorticosi della corrente

DEGRADAZIONE: alterazione delle rocce affioranti in alveo per effetto dei processi meteorici in presenza d'acqua

Sedimentazione fluviale

Si ha sedimentazione quando cala la corrente per:

- diminuzione della pendenza del letto fluviale
- allargamento della sezione trasversale

Cambiando la portata secondo il regime idrologico annuale si può avere nello stesso tratto d'alveo alternanza di erosione o deposizione per effetto della variazione della corrente

Livello di base

Livello di base: quota inferiore a cui può spingersi l'erosione fluviale.

Di solito è il livello del mare, ma può essere anche

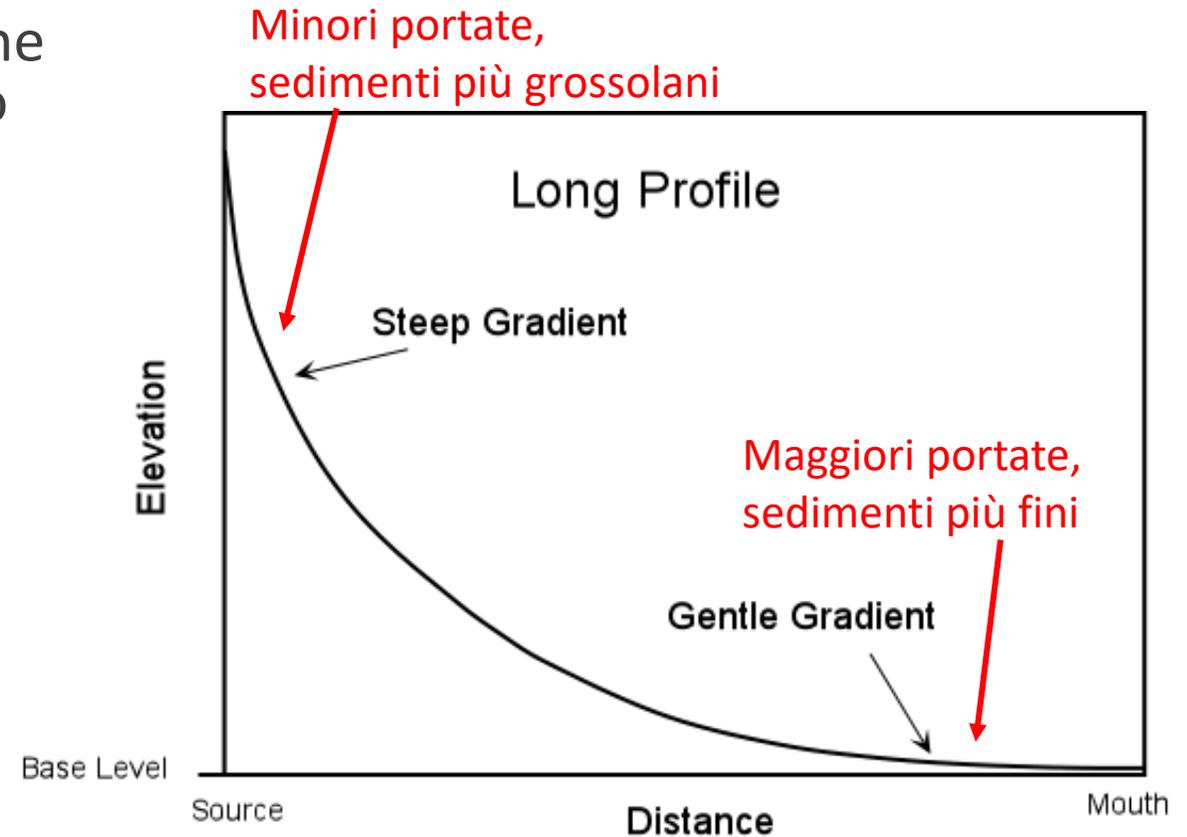
- un lago di cui il fiume è immissario,
- una confluenza fluviale o
- l'affioramento di una soglia rocciosa lungo l'alveo

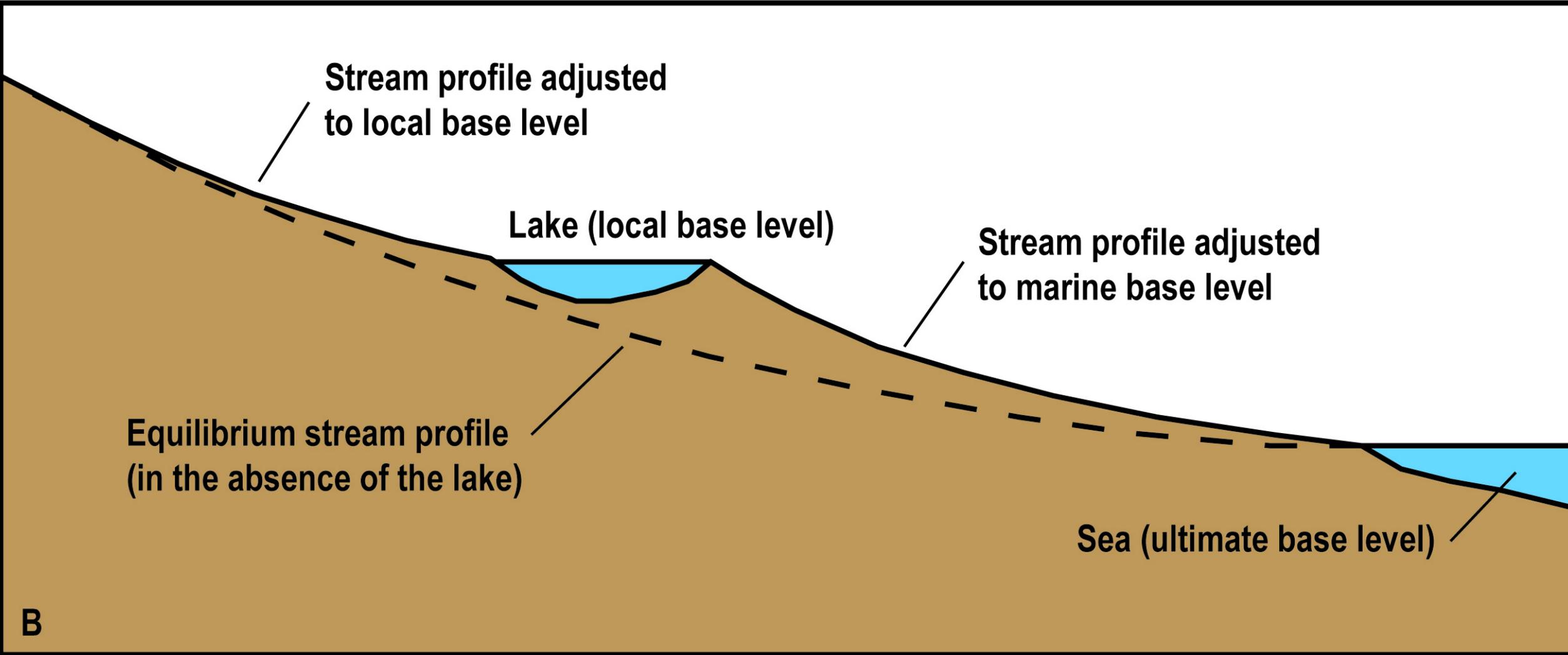
Profilo d'equilibrio

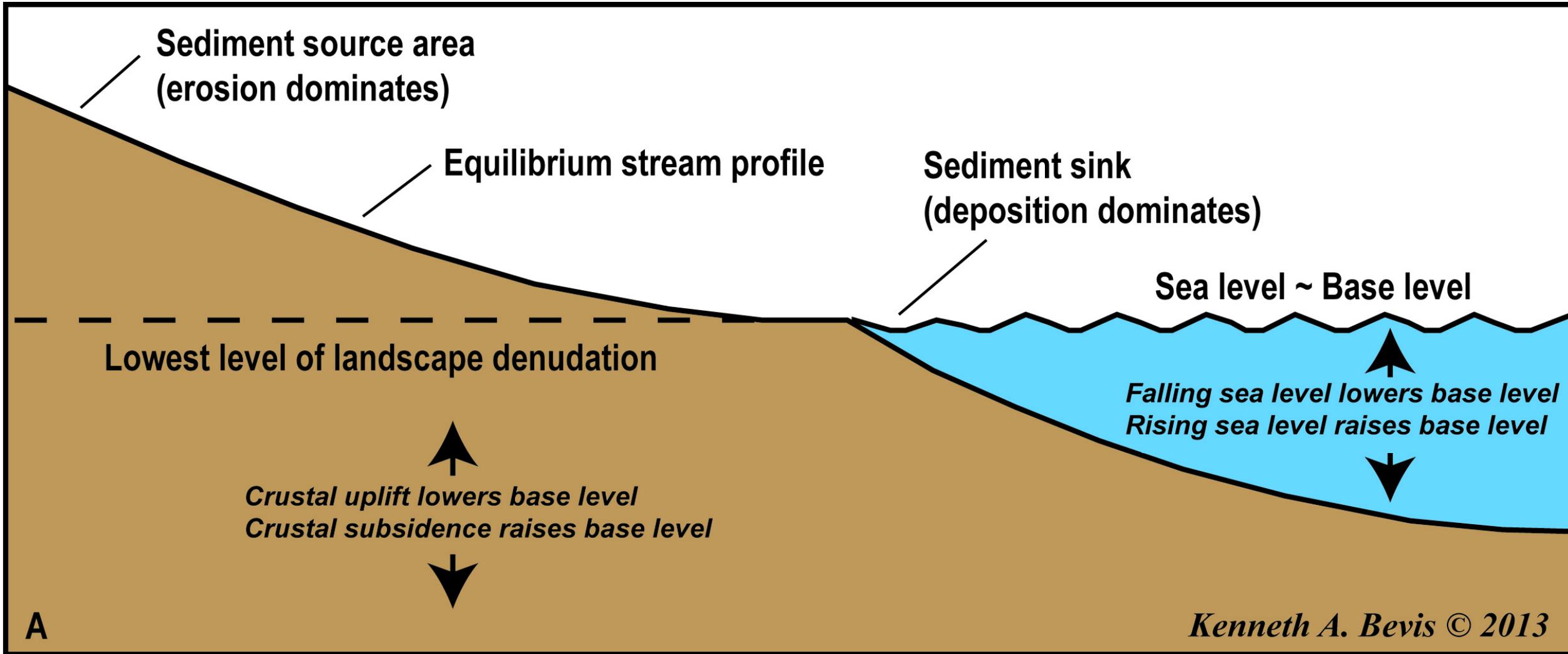
Se cambia il livello di base si ha erosione regressiva: erosione che procede verso monte e porta all'eliminazione di dislivelli e gradini lungo l'alveo. Si propaga anche agli affluenti.

Nel tempo si raggiunge una forma parabolica che si raccorda dolcemente col livello di base fino a raggiungere il **profilo d'equilibrio**.

Non vi sono processi di erosione o di deposizione ma solo trasporto dei sedimenti provenienti dai versanti









Gli alvei fluviali

Alvei in rocce coerenti:
influenzati dalla litologia,
struttura, tettonica.

Alvei in materiali poco coerenti
(a fondo mobile): fiume in
equilibrio, ma in evoluzione.

Evoluzione dell'alveo a breve e
a lungo termine.



Definizione di tracciato fluviale

Il tracciato fluviale può essere definito come la forma, vista in pianta, assunta da un corso d'acqua.

Il corso di un fiume può essere caratterizzato da differenti tracciati, al variare di caratteristiche come la portata liquida e solida, la morfologia del fondovalle, la pendenza dell'alveo, ecc.

Alvei confinati e non confinati

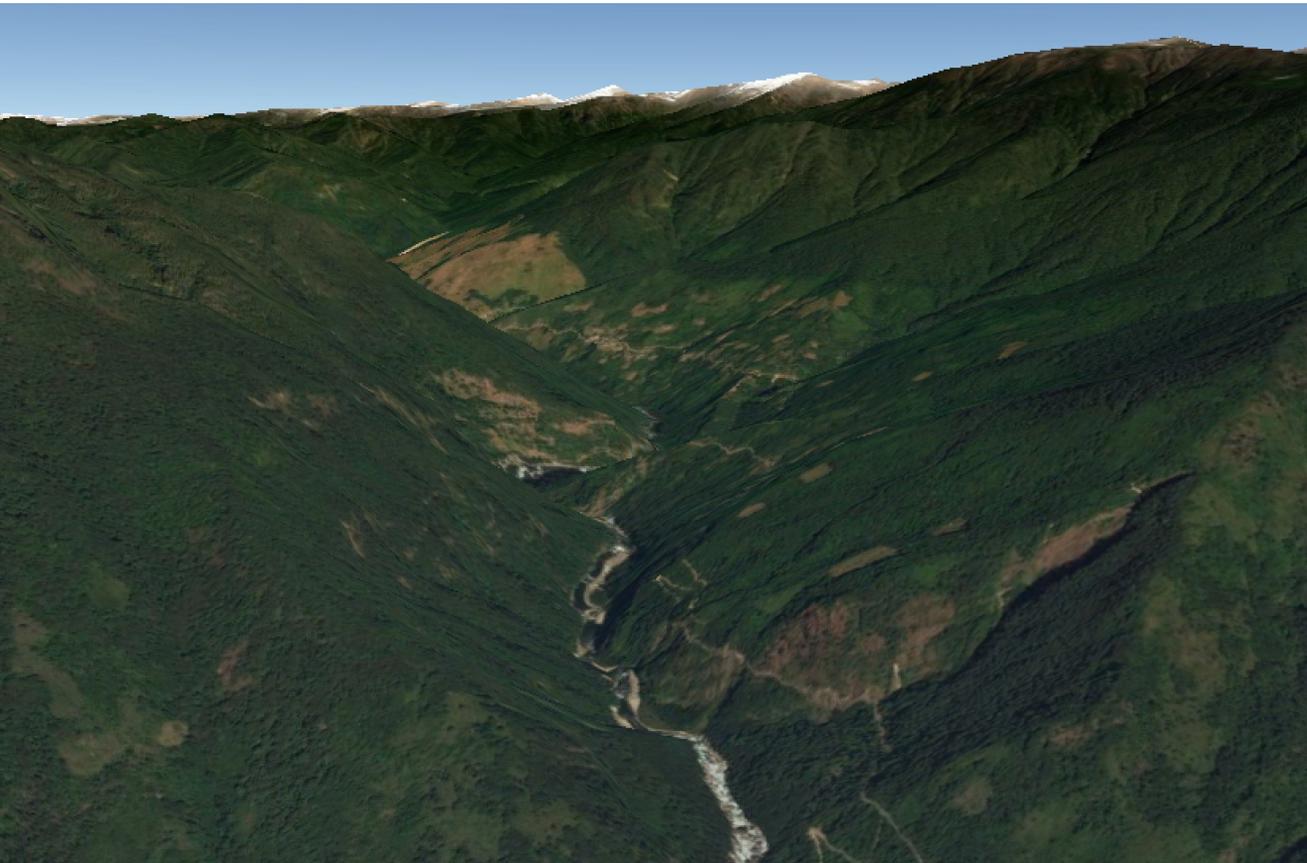
Alvei confinati (torrenti montani):

- la morfologia è condizionata dai versanti (e dai conoidi)
- possono essere incisi nel substrato roccioso (alvei a fondo fisso)
- input di materiale in alveo dai versanti

Alvei non confinati (corsi d'acqua alluvionali):

- non c'è un condizionamento laterale (larghi fondovalle o pianura alluvionale)
- alvei incisi in sedimenti alluvionali (alvei a fondo mobile)
- rari apporti di materiale dai versanti

Alvei confinati



Alvei non confinati



Docente
Prof. Aldino Bondesan

Principali tracciati fluviali

Geomorfologia fluviale



Principali tracciati fluviali (morfologie d'alveo)

1. Alvei rettilinei o a bassa sinuosità
2. Alvei meandriformi
3. Alvei a canali intrecciati (“braided”)
4. Alvei anastomizzati

Le prime tre tipologie furono definite nel classico lavoro di Leopold and Wolman (1957), mentre la quarta fu definita in seguito (anni '70)

Definizione di sinuosità

La maggior parte dei corsi d'acqua ha un corso più o meno sinuoso (sinuosità = **distanza lungo l'alveo** / **distanza più breve tra due punti**)

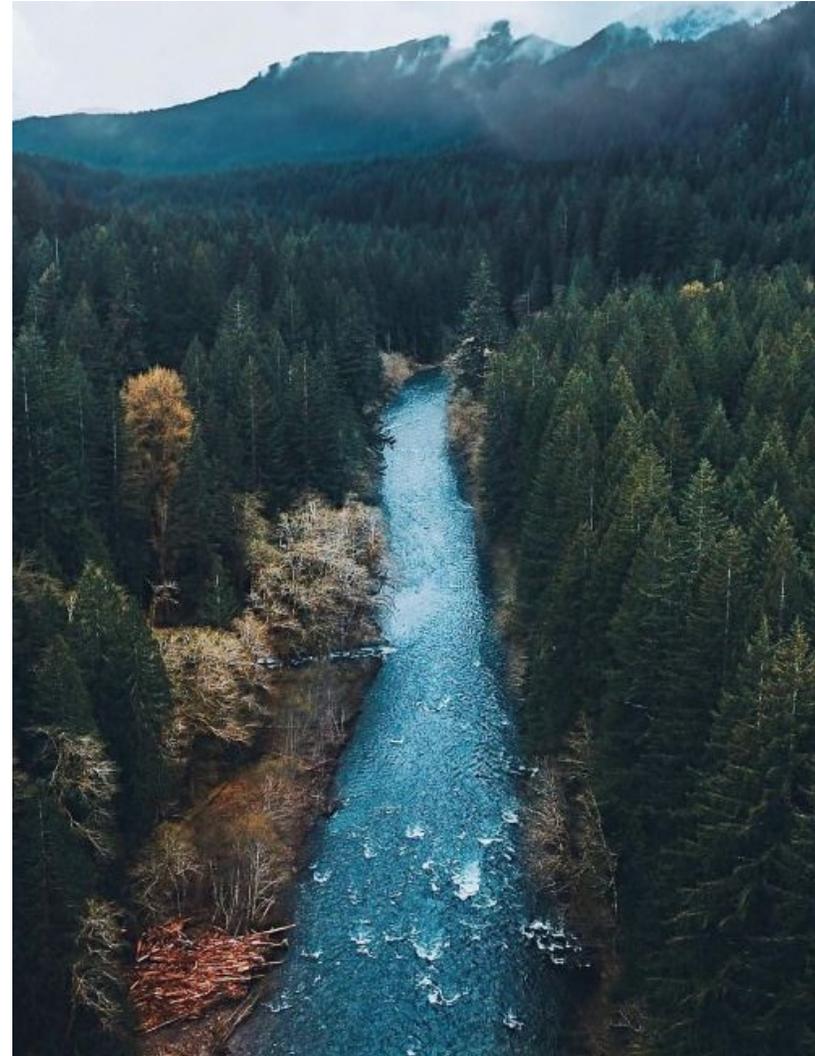
- a) rettilinei: sinuosità < 1.1
- b) sinuosi: $1.1 < \text{sinuosità} > 1.5$
- c) meandriiformi: sinuosità > 1.5



Alvei rettilinei o a bassa sinuosità

Gli alvei rettilinei sono abbastanza rari in natura. Sono due i casi principali:

- a) alvei ghiaiosi con sequenze di “pools-riffles”;
- b) alvei molto stabili costituiti da sedimenti fini



Tracciato
rettilineo-sinuoso
di un torrente
montano



Alvei meandriformi



Fiume a meandri



Meandri



Meandri

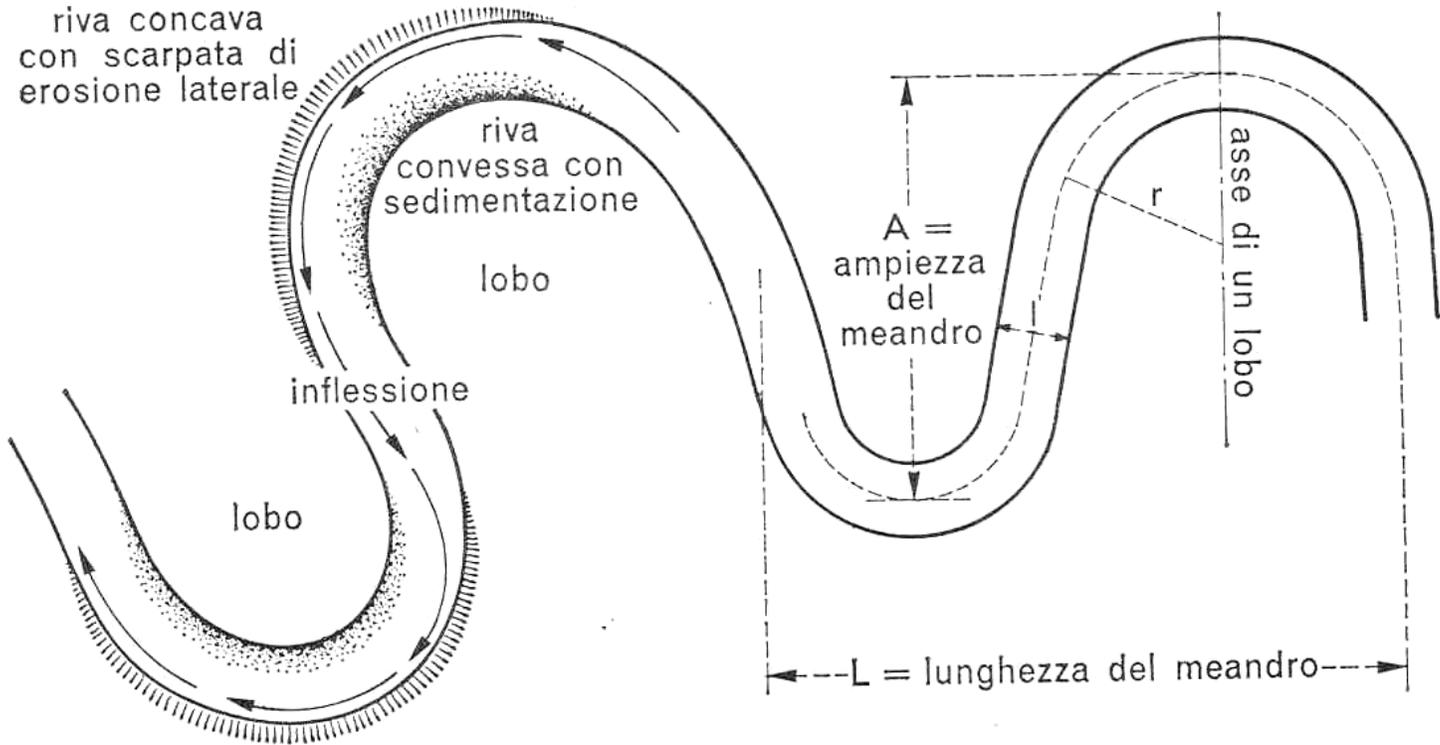
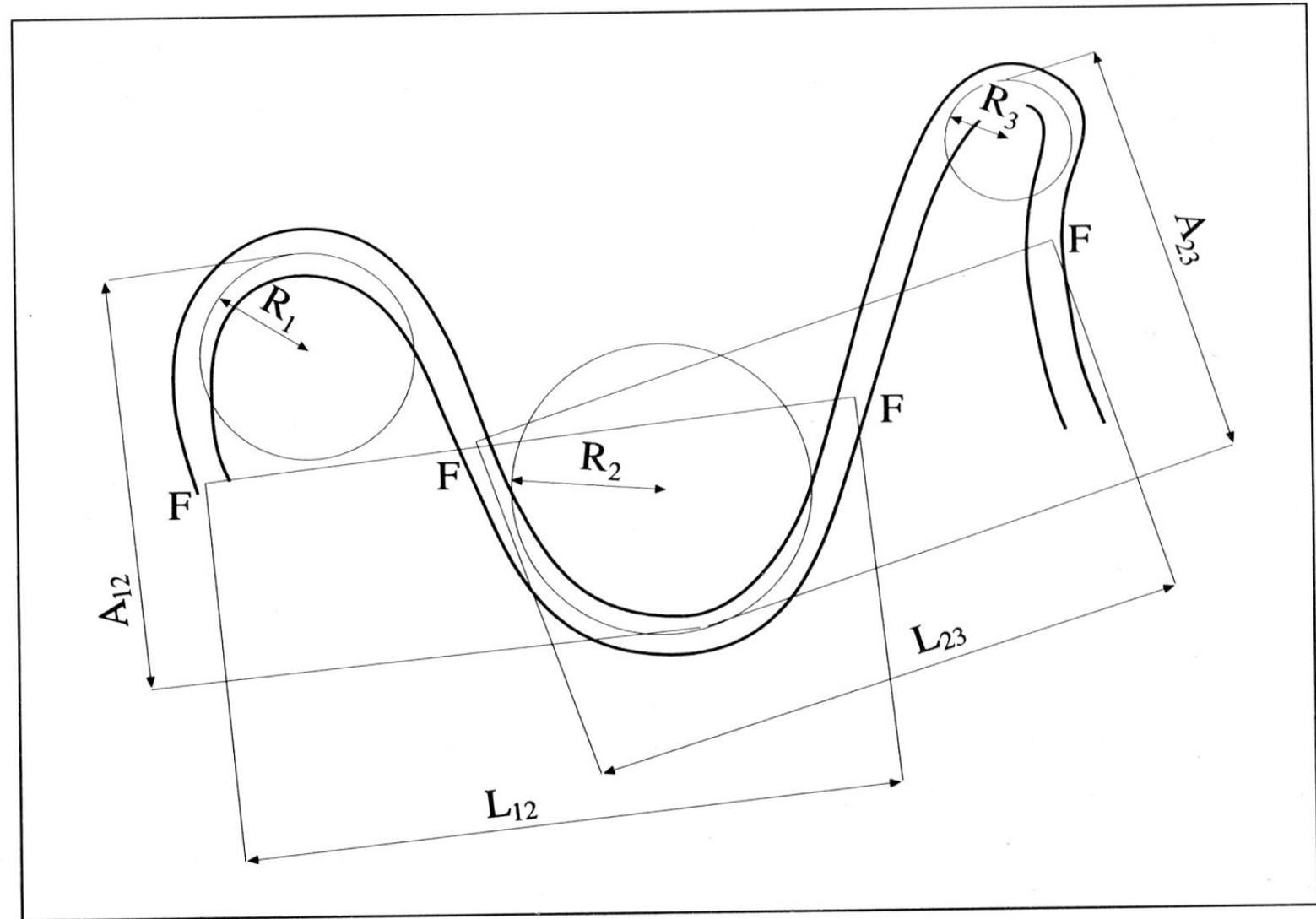
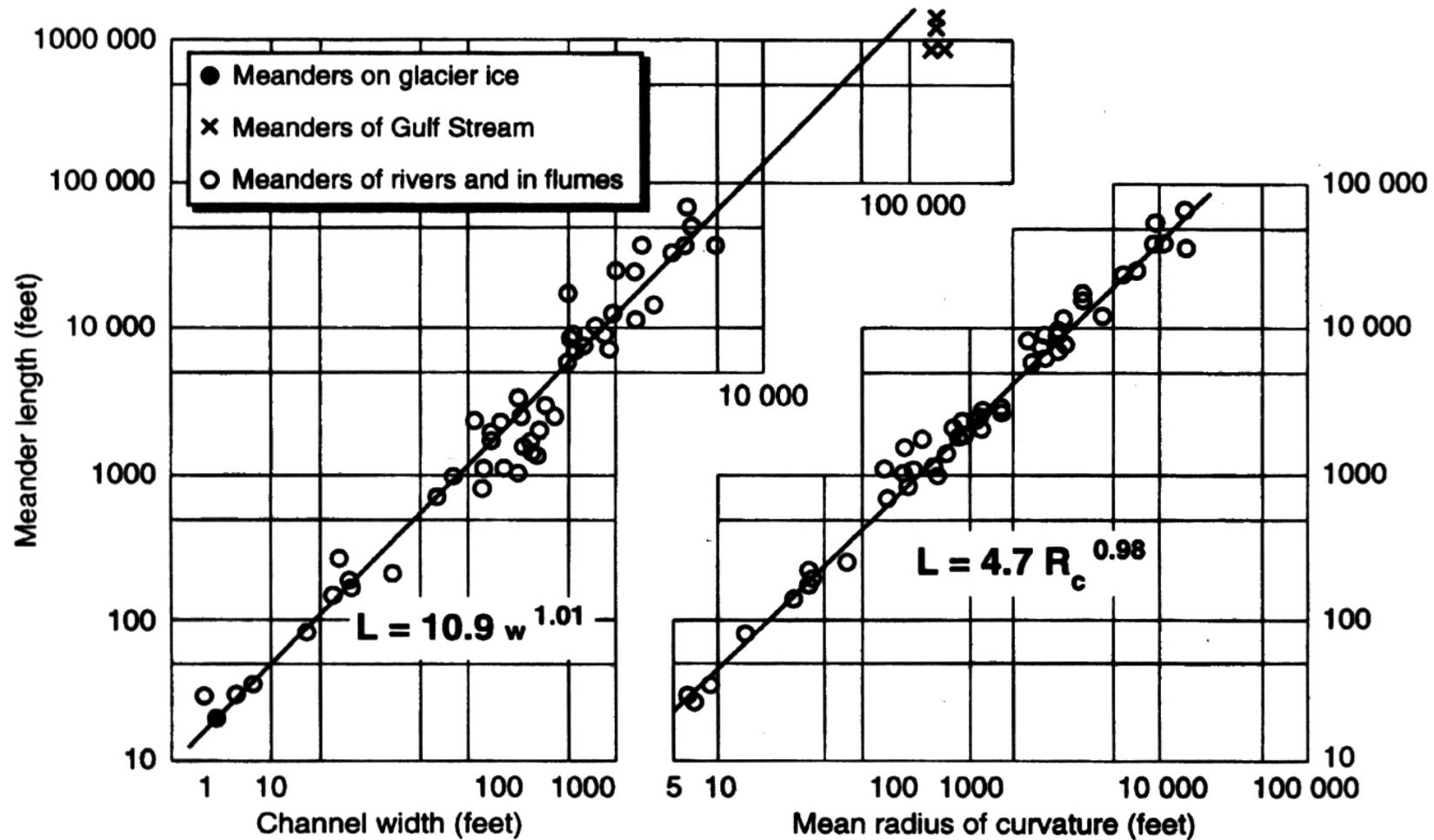


Fig. 6.19. Terminologia ed elementi geometrici dei meandri fluviali.
 r = raggio di curvatura; l = larghezza dell'alveo.

Parametri geometrici di un meandro

L: lunghezza (o lunghezza d'onda) del meandro
A: ampiezza del meandro
R: raggio di curvatura





Relazioni tra (1) larghezza alveo - lunghezza meandro e (2) lunghezza meandro - raggio di curvatura (da Leopold & Wolman, 1957)

Processi e forme in un alveo meandriforme

- Formazione delle barre di meandro (“point bar”)
- Migrazione dei meandri
- Taglio e abbandono dei meandri

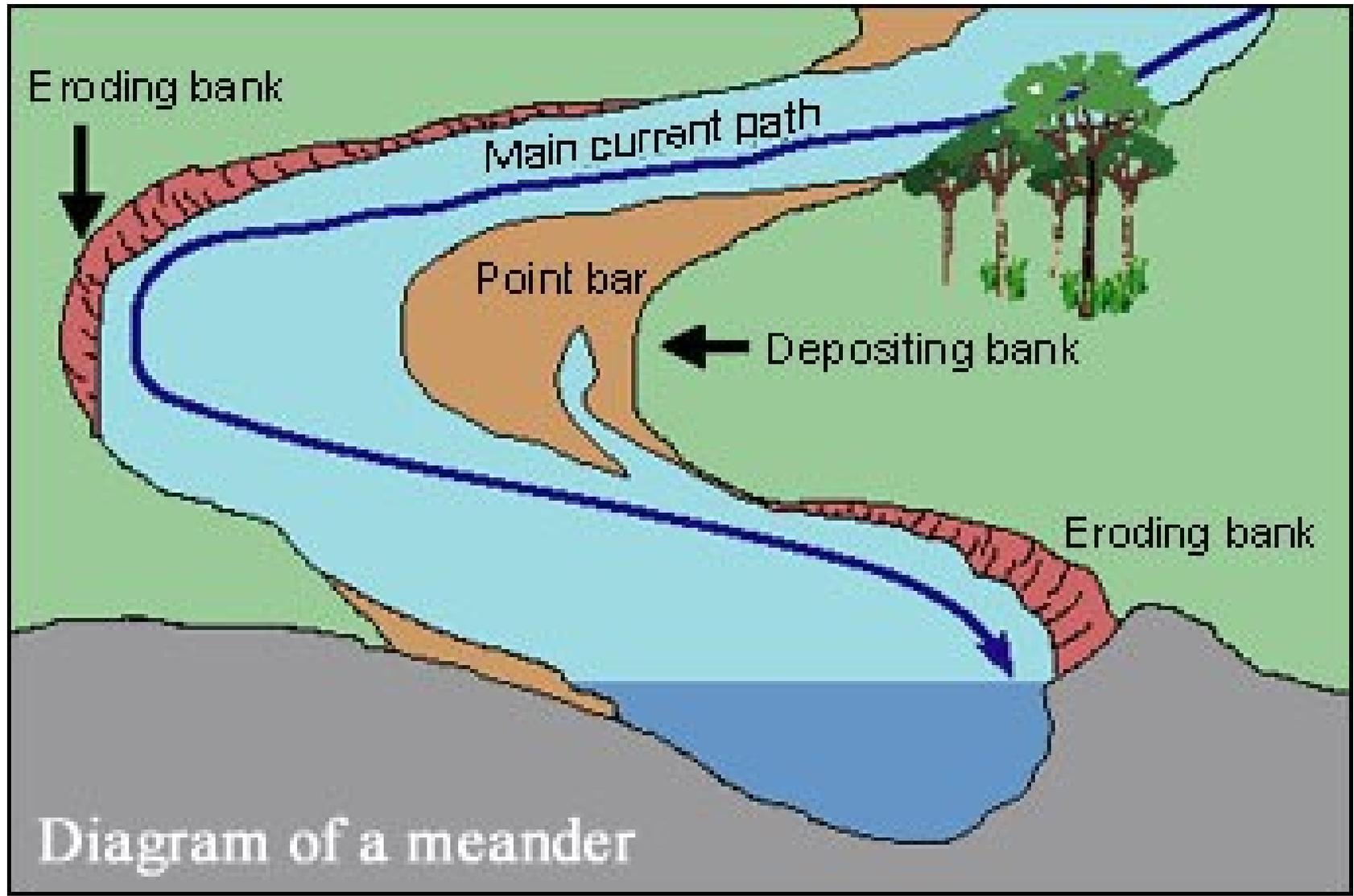
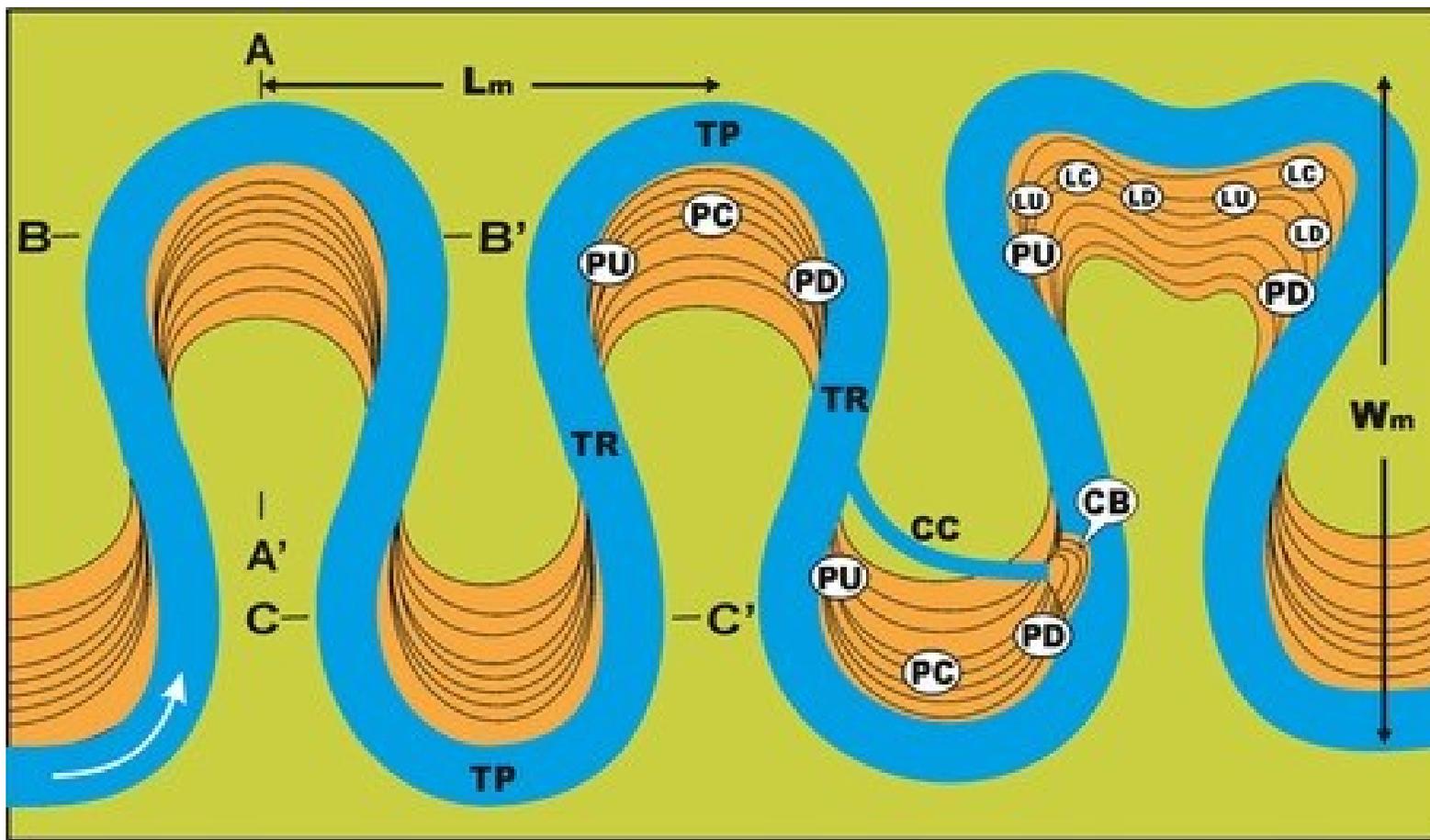


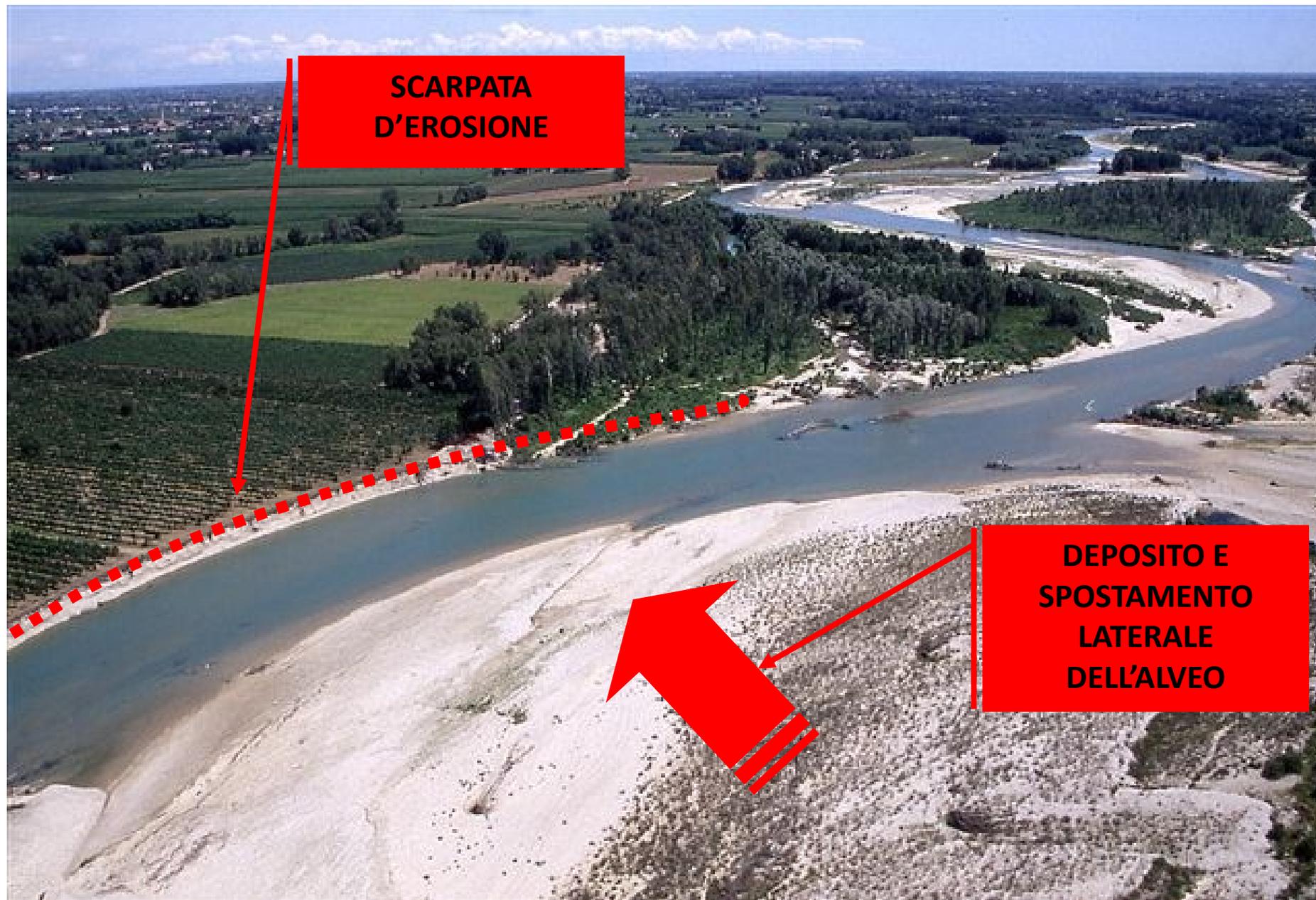
Diagram of a meander



TERMINOLOGY

- Ⓟ Point-bar upstream part
- Ⓞ Point-bar central part
- Ⓞ Point-bar downstream part
- Ⓞ Bar-lobe upstream part
- Ⓞ Bar-lobe central part
- Ⓞ Bar-lobe downstream part
- TP Thalweg pool zone (deepest)
- TR Thalweg riffle zone (shallowest)
- CC Chute channel
- Ⓞ Chute bar
- W_m Meander-belt width
- L_m Meander wavelength





**SCARPATA
D'EROSIONE**

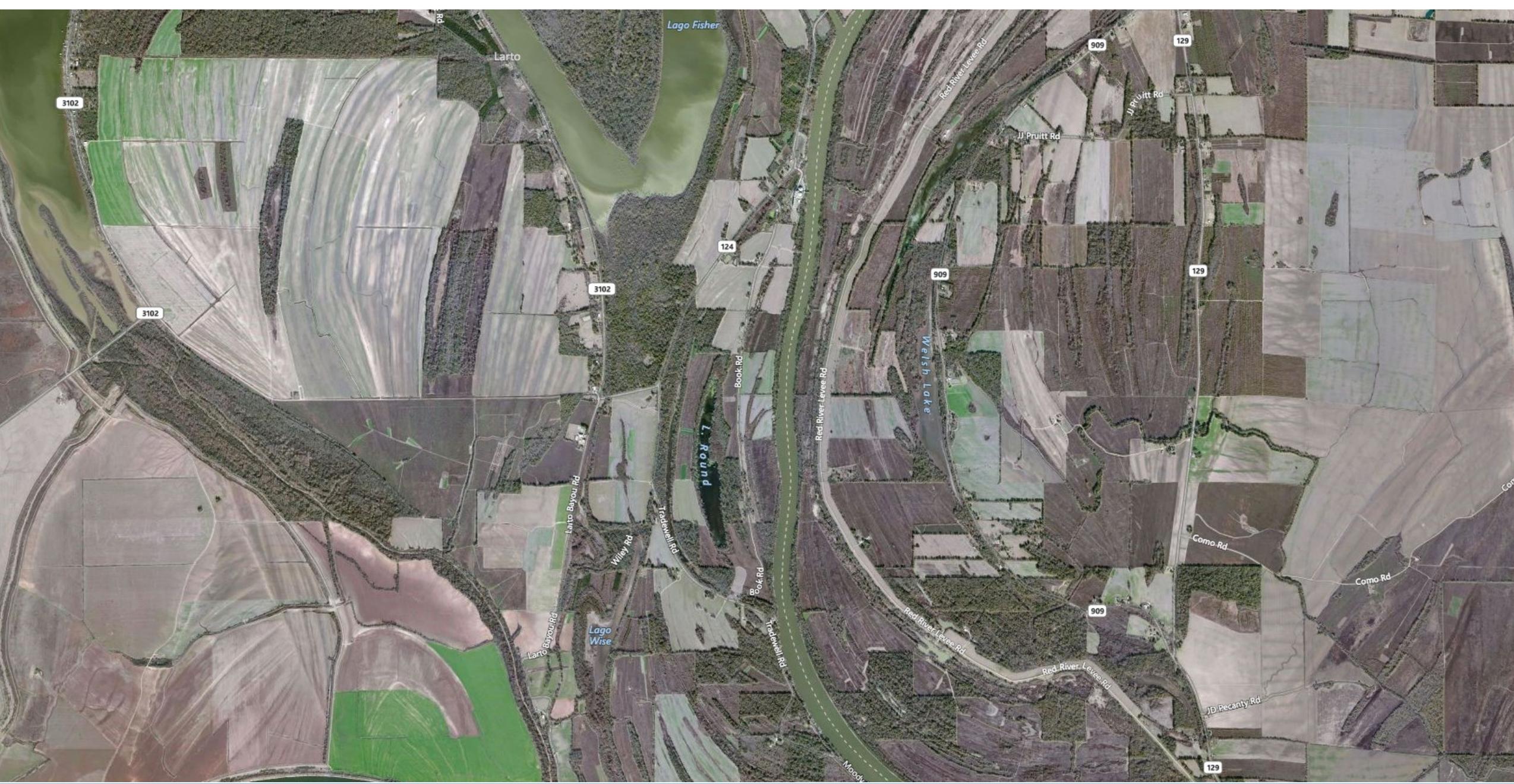
**DEPOSITO E
SPOSTAMENTO
LATERALE
DELL'ALVEO**

Barra di meandro



Barra di meandro
Point bar







Barre di meandro (Fiume Mississippi)



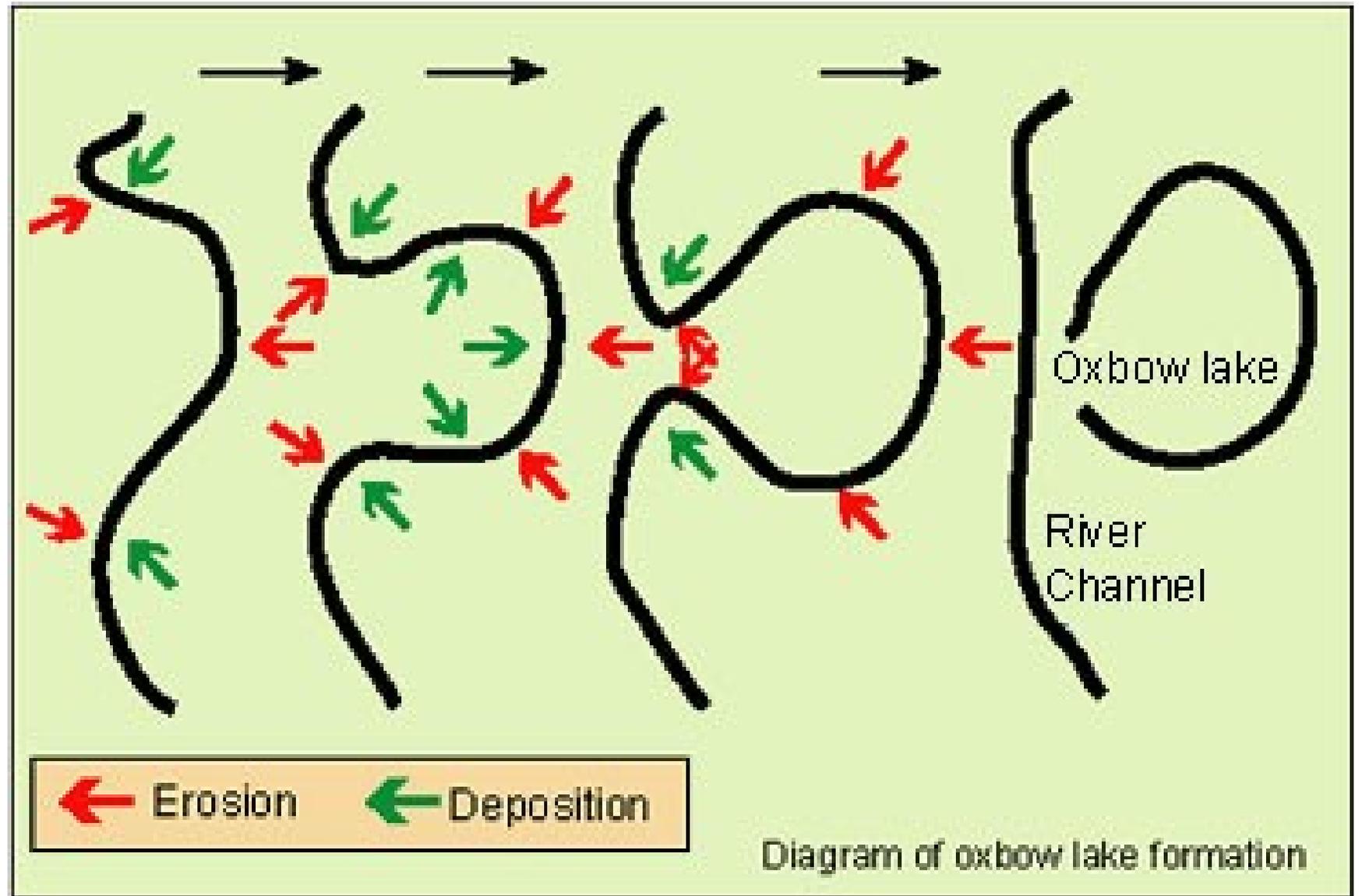
Carta di Harold Fisk, Mississippi River

US Army Corps of Engineers , 1940



Manaus (Amazzonia, Brasile)

Formazione di un lago di meandro

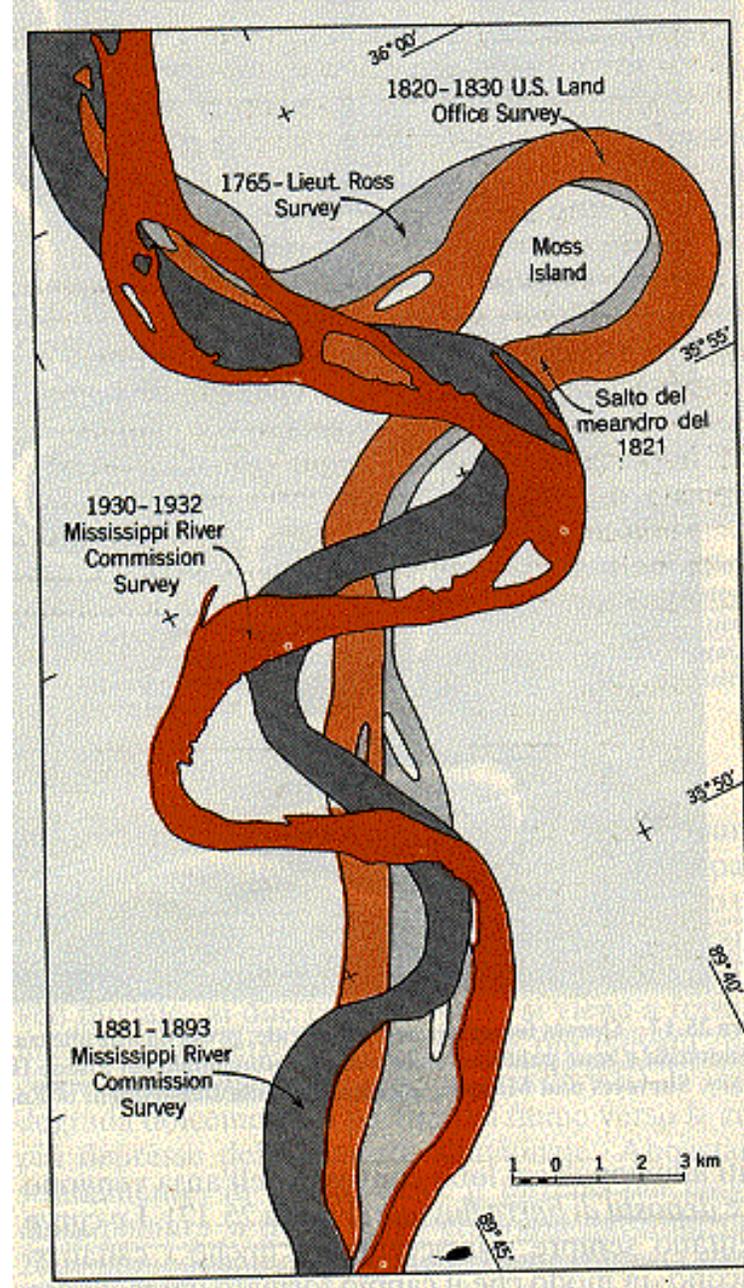


Evoluzione dei meandri





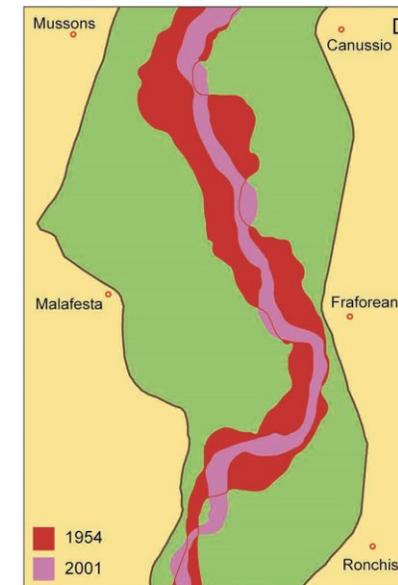
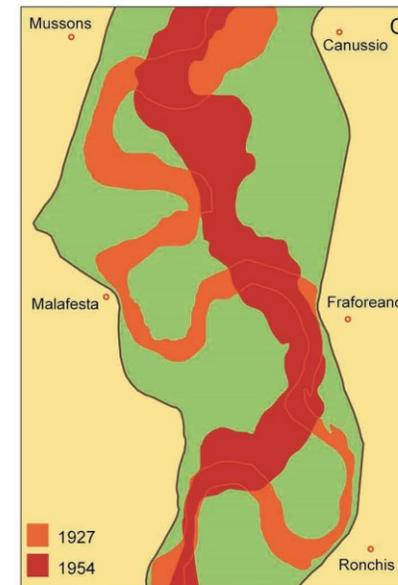
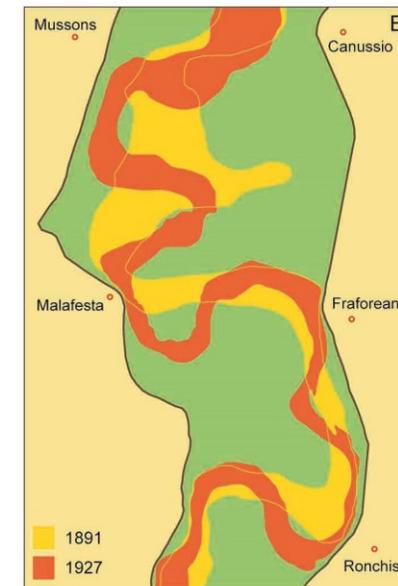
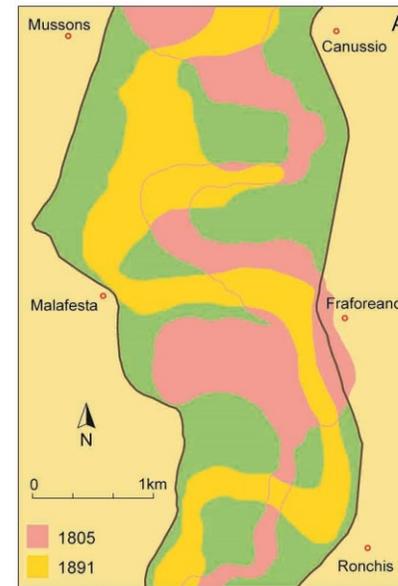
Migrazione dei meandri



FIUME TAGLIAMENTO:

Evoluzione dell'alveo tra il 1805 ed il 2001:

- migrazione dei meandri
- tagli di meandro
- variazioni nella sinuosità
- variazioni di larghezza





Alvei a canali intrecciati (“braided”)

Un alveo di tipo braided è costituito da due o più canali separati da barre e/o isole

Alcune caratteristiche:

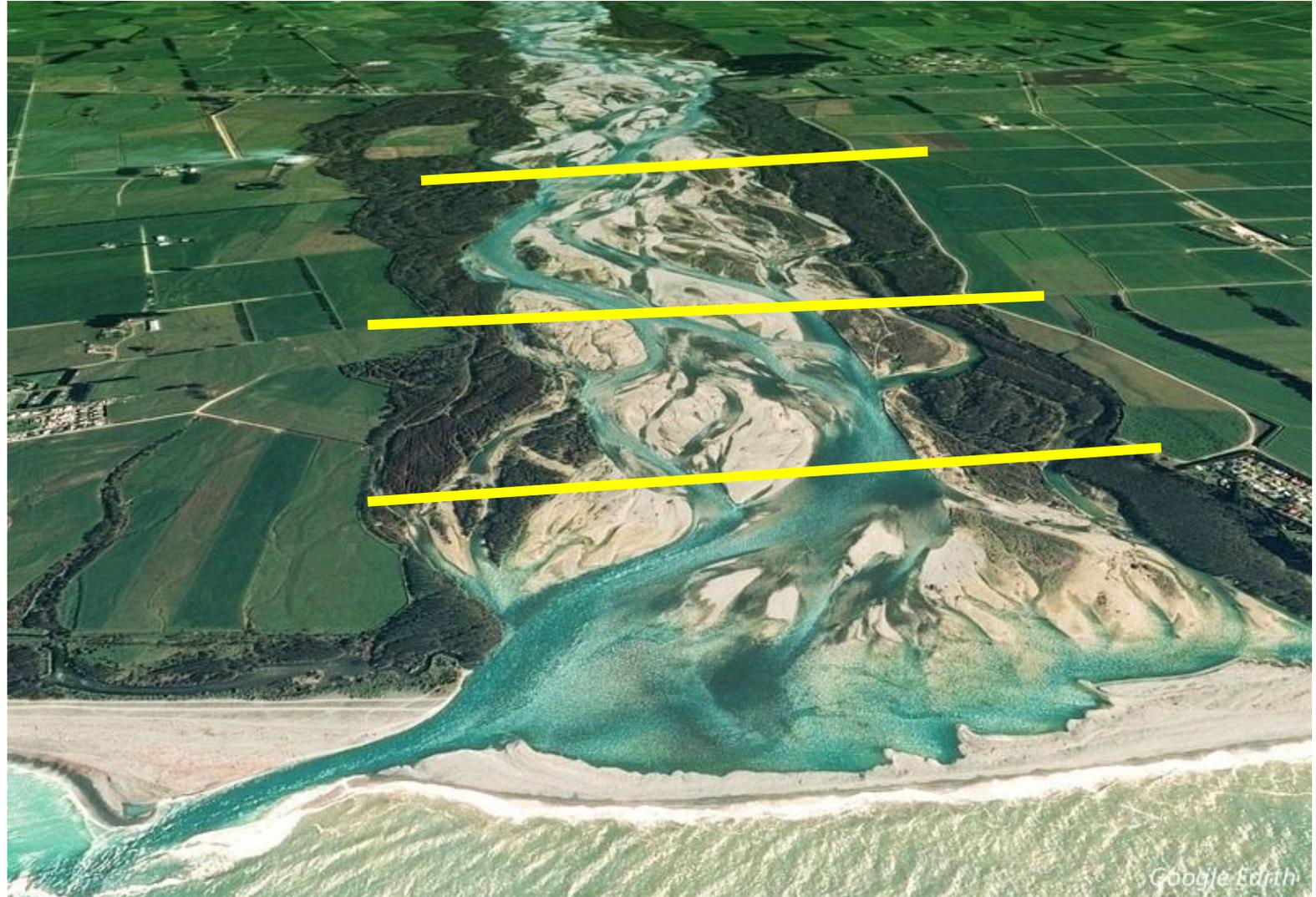
- pendenze relativamente elevate;
- rapporto larghezza/profondità generalmente superiore a 40;
- granulometria grossolana;
- sponde facilmente erodibili;
- elevato trasporto solido totale e al fondo;
- elevata instabilità dei canali e delle barre



Indice d'intrecciamento

Misura dell'intensità dell'intrecciamento (“indice di intrecciamento”)

- numero medio di canali attivi per sezione (Ashmore, 1991)
- lunghezza totale dei canali/lunghezza del canale principale (Mosley, 1981)





The Rakaia River in the Canterbury Plains in New Zealand's South Island

[Andrew Cooper/Wikimedia](#)

Braided river

A Landsat image of a braided section of the **Congo River**.



Photo credit: [Wired](#)



Braided river

Photo credit: Alessandro Fontana

Fase di piena



Photo credit: Nicola Surian



A braided river in Iceland.

Photo credit: Andre Ermolaev/500px

Anastomizzato

British Columbia, Canada

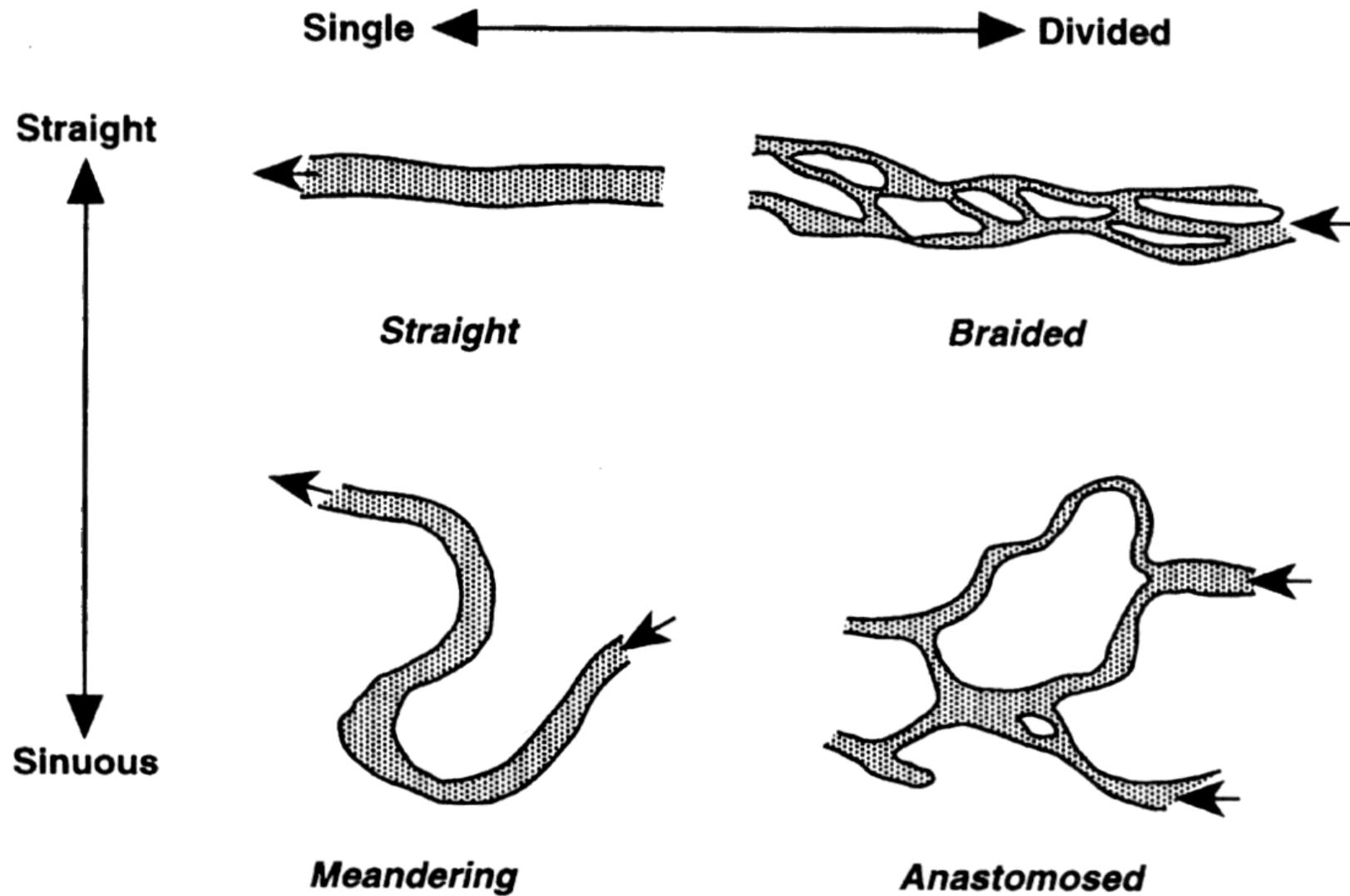




Alvei anastomizzati (Delta del fiume Mackenzie, USA)



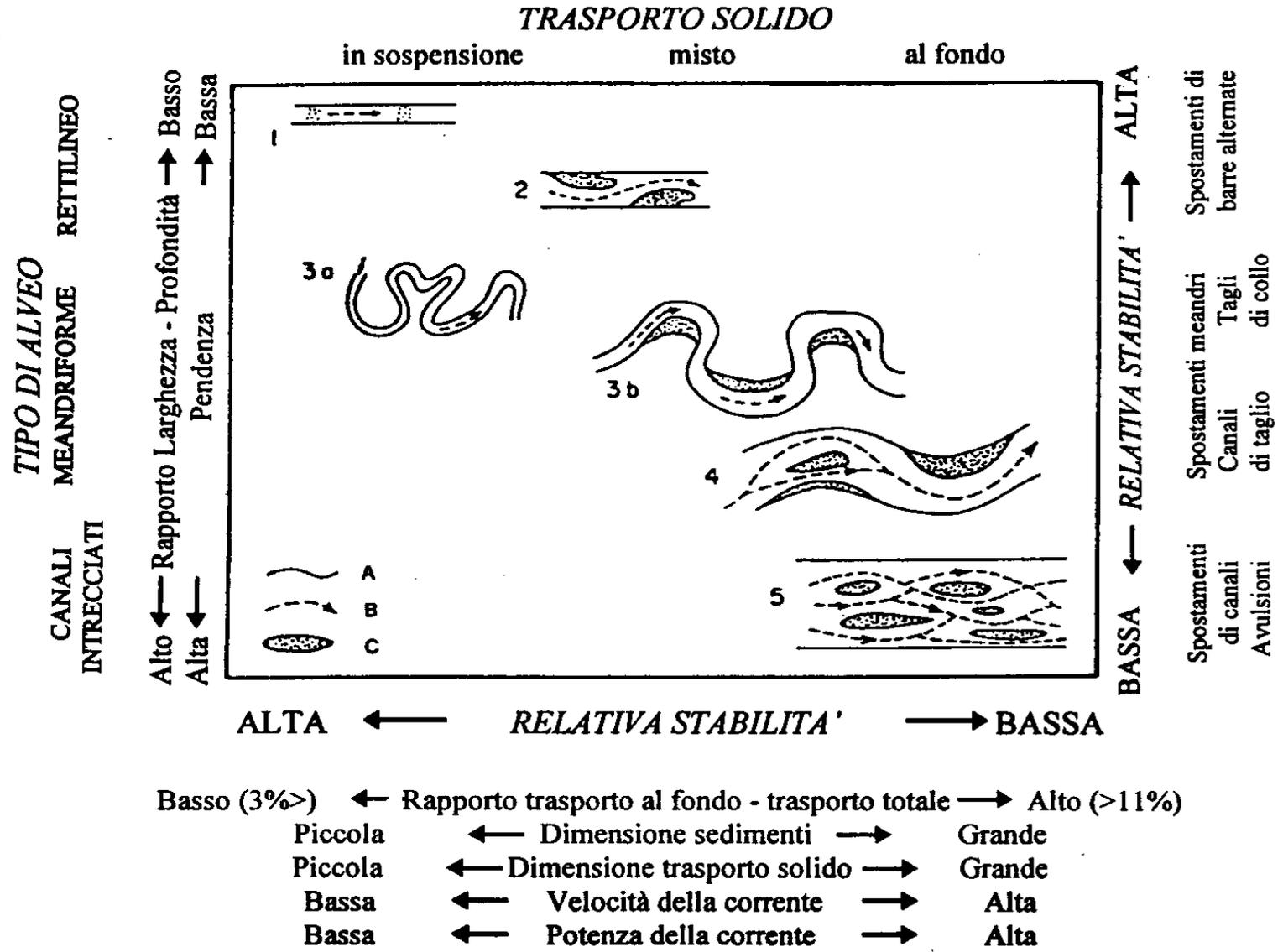
Alvei anastomizzati (delta del fiume Lena, Russia)



Classificazione di Rust (1978) basata su sinuosità e numero di canali

CLASSIFICAZIONE DEGLI ALVEI FLUVIALI

(da Schumm, 1963)



Siti web / Video / Foto

Sito con foto di corsi braided: <http://www.amusingplanet.com/2016/02/the-stunning-beauty-of-braided-rivers.html>

Bacino idrografico: <https://www.youtube.com/watch?v=jtWFWUM3tpw>

Regola di Sthraler: <https://www.youtube.com/watch?v=JZZN4WF7hcE>

Trasporto solido fluviale: <https://www.youtube.com/watch?v=jpexS4-9IF0>

Animazione: Why do rivers curve? <https://www.youtube.com/watch?v=8a3r-cG8Wic>

Meandri: <https://www.youtube.com/watch?v=wi0fT3TCIGs>

Meandri: <https://www.youtube.com/watch?v=8ogC5MrZNxk>

Evoluzione di meandri da Google Earth; <https://www.youtube.com/watch?v=nGJXxAZPm8M>

Formazione di meandri in modelli fisici: <https://www.youtube.com/watch?v=fluttrTH6YA>

Oxbow lake: https://www.youtube.com/watch?v=4qKS_Nk7UmY

Braided streams: <https://www.youtube.com/watch?v=AtRGOxlgjO8>

Bibliografia

Testi utili per approfondimenti:

Surian et al. (2009) - Linee guida per l'analisi geomorfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive, Cleup, 75 pp.

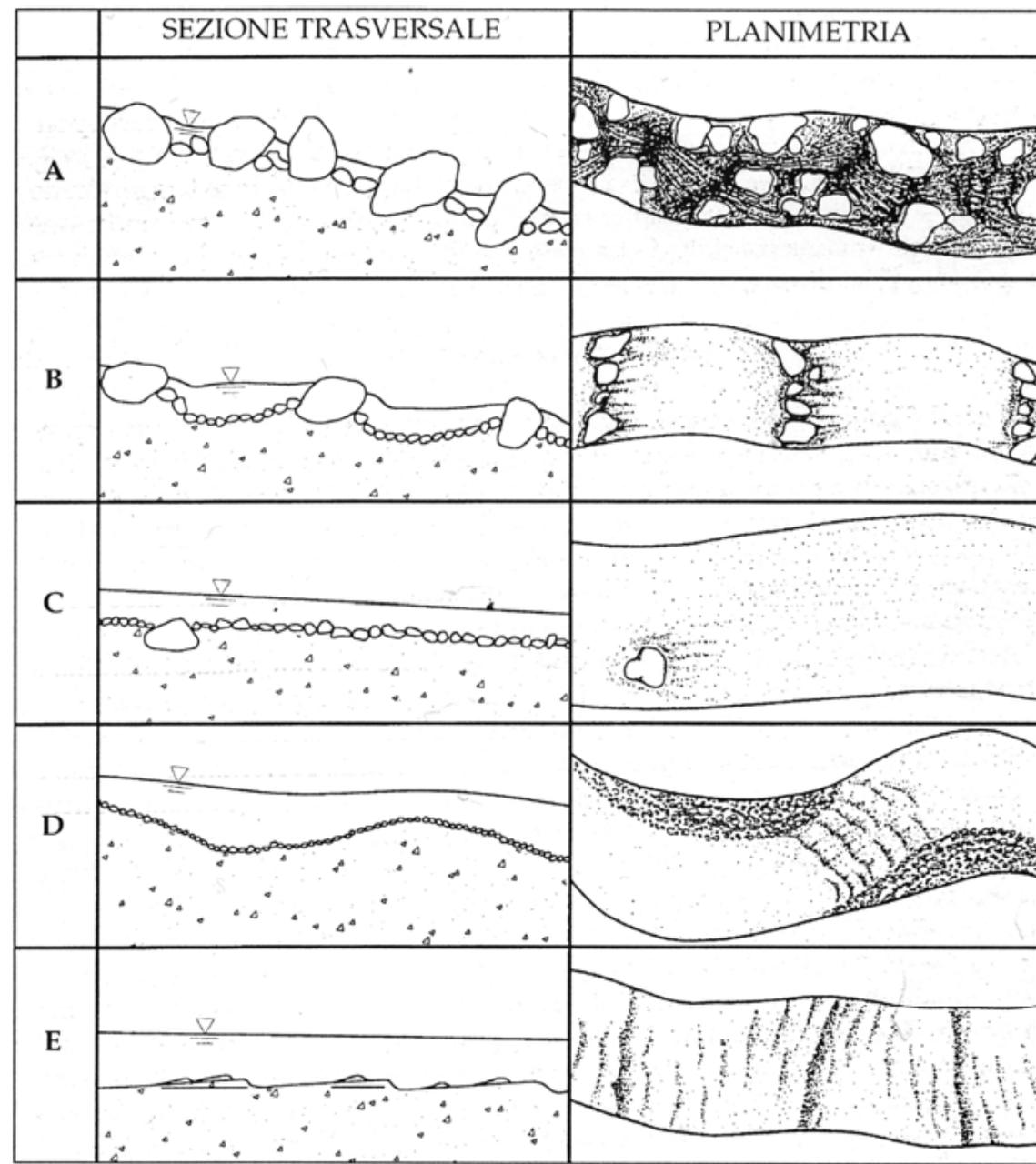
Marchetti M. (2000) – *Geomorfologia fluviale*, Pitagora Editrice, Bologna.

Fine



Unità morfologiche tipiche dei corsi d'acqua alluvionali:

(Classificazione di Montgomery e Buffington, 1997).



A) rapida;

B) *step pool*;

C) letto piano;

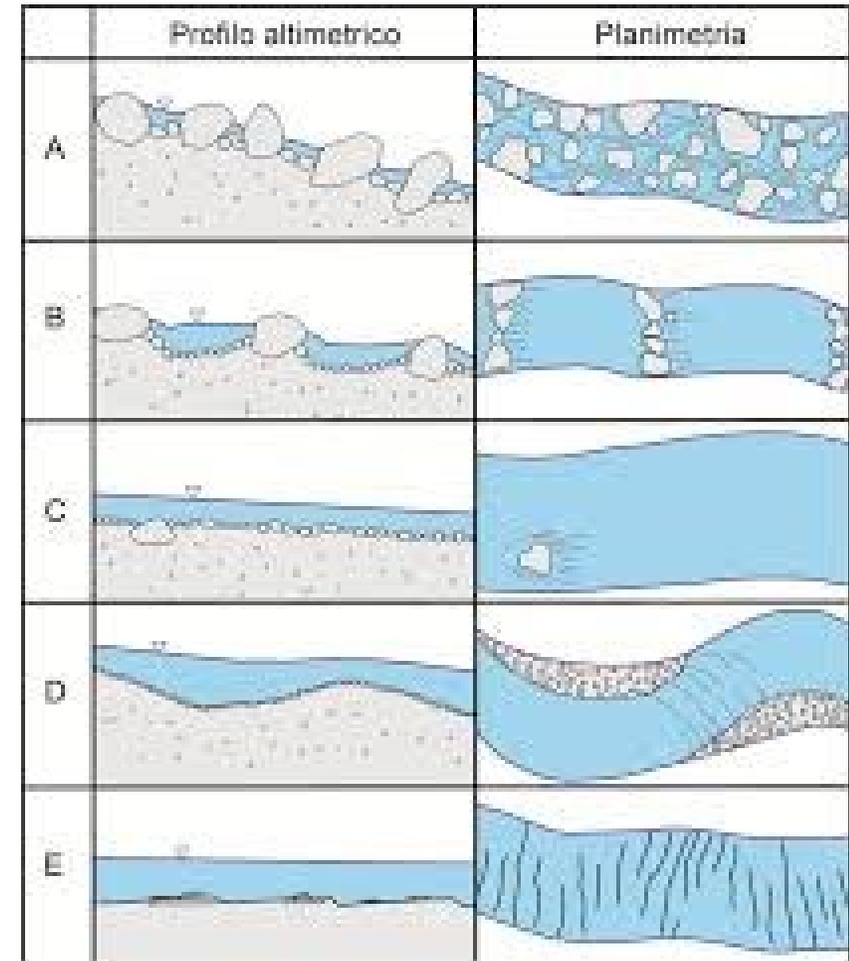
D) *Riffle pool*;

E) *dune ripple*

A- CASCADE (rapida)

A) Rapida. Con l'espressione rapida, o cascade secondo la terminologia di Montgomery & Buffington (1997), si intende un **tratto caratterizzato da una corrente a velocità sostenuta, flusso a getto e a separazione di corrente** (tumbling flow e jet and wake flow) sopra o attorno ai clasti.

Le rapide sono generalmente presenti in tratti di corsi d'acqua con **pendenze accentuate**, con **un alveo confinato** e con una certa **disorganizzazione trasversale e longitudinale** del materiale lapideo





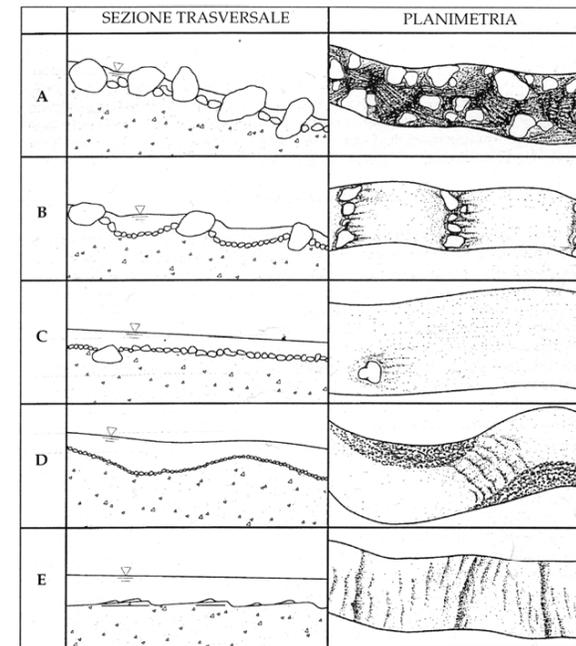
A- CASCADE (rapida)

	SEZIONE TRASVERSALE	PLANIMETRIA
A		
B		
C		
D		
E		

B-STEP POOL

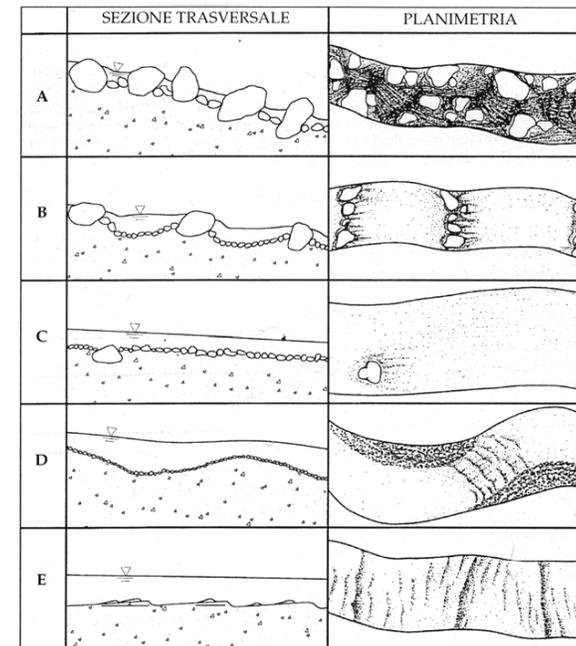
Rock step

B) Step pool. In molti corsi d'acqua montani, con un **gradiente superiore al 2-3 %** e una **granulometria in alveo molto assortita**, le riflle si accorciano, dando luogo ad una unità morfologica a gradino denominata step. Gli step sono costituiti da un gruppo di massi fortemente incastrati tra loro e posti di traverso rispetto alla corrente. Lo spazio tra uno step ed il successivo è occupato dalle pool che sono composte da materiale più fine.



B-STEP POOL

Rock step



B-STEP POOL

boulder step



log step



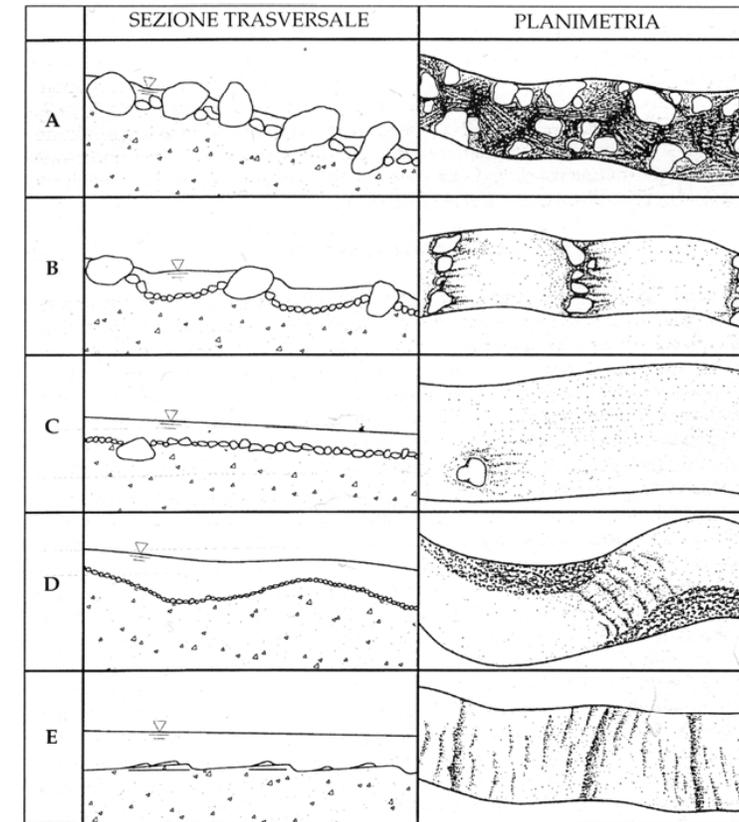
Morfologia “step-pool” in torrenti montani



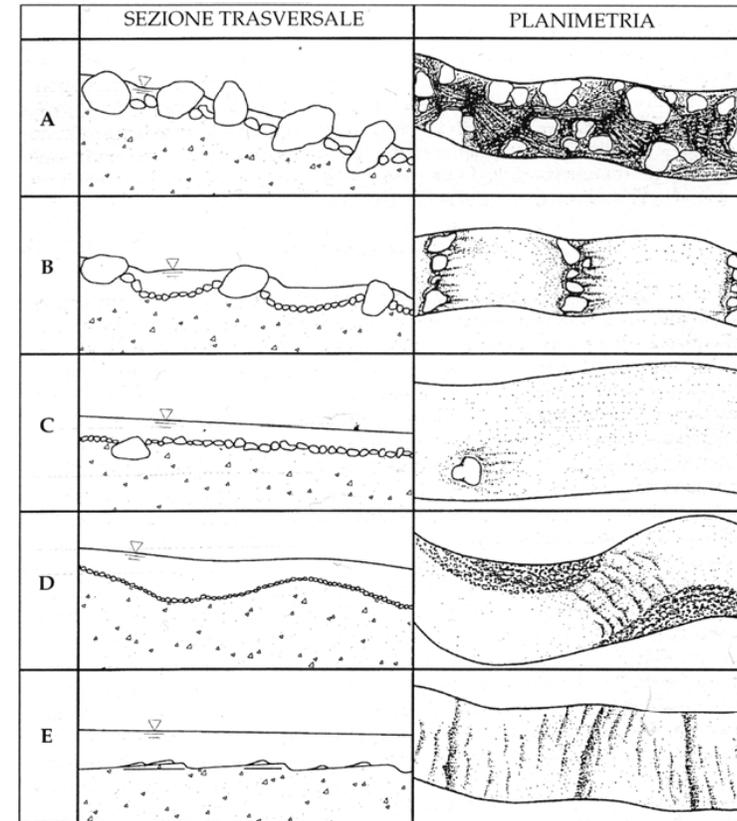
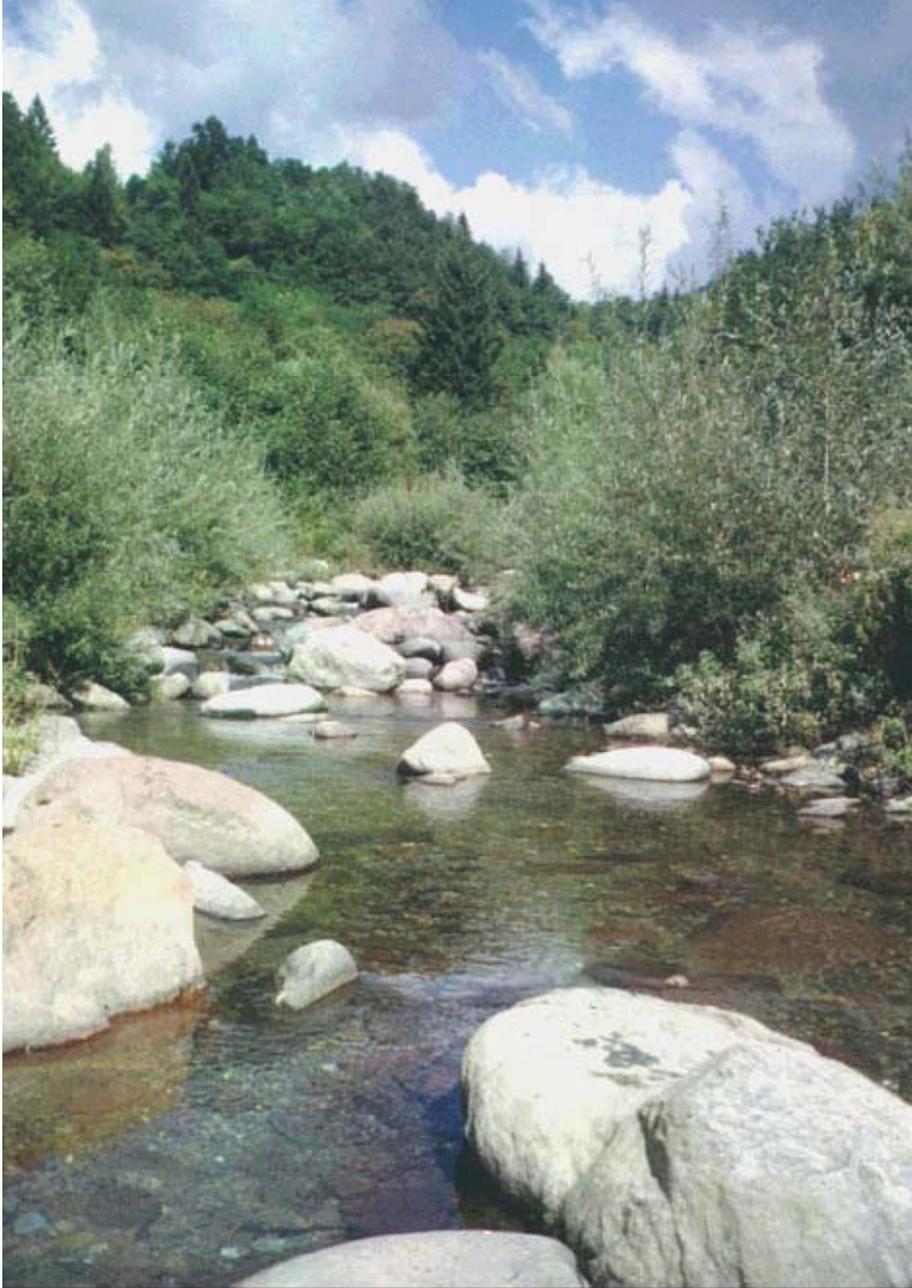
C-LETTO PIANO

C) Letto piano. Il termine letto piano (plane bed) è utilizzato per indicare dei tratti d'alveo con un **profilo longitudinale regolare e senza brusche variazioni altimetriche**.

Quest'unità morfologica può essere osservata sia nei torrenti montani che nei corsi d'acqua di pianura. I letti piani si differenziano morfologicamente sia dagli step pool che dai riffle pool per una mancanza di una successione ritmica delle forme di fondo.



C-LETTO PIANO

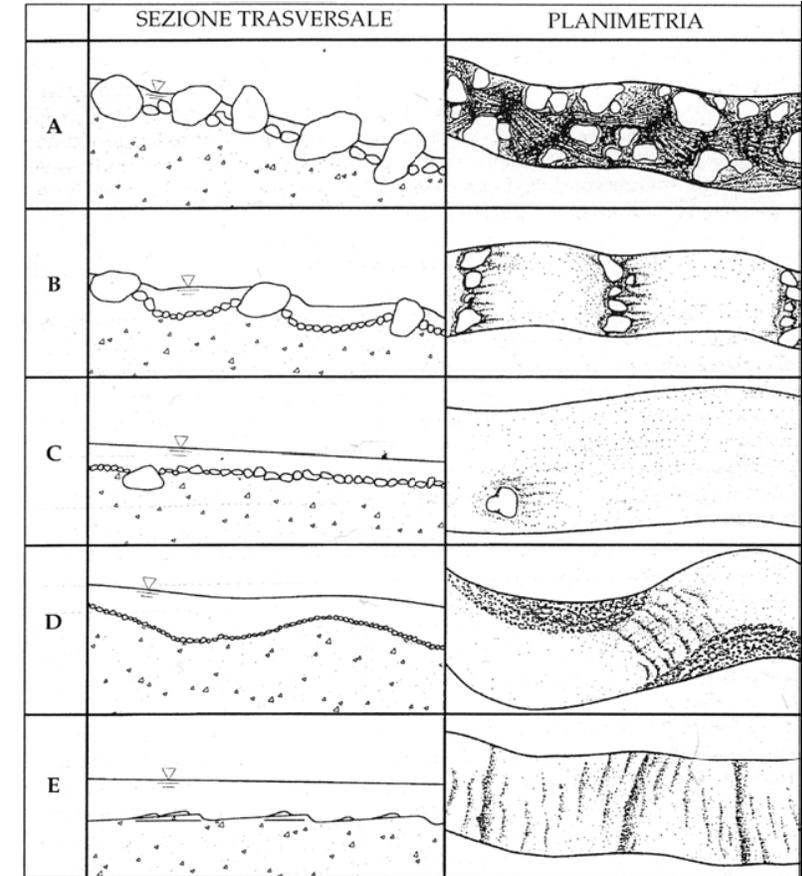


D) Riffle pool.

Un aspetto morfologico di molti corsi d'acqua è rappresentato dalla successione di tratti a pendenza più sostenuta e profondità della corrente modeste (riffle) con tratti a profilo più piatto e profondità più elevate (pool).

La sequenza riffle/pool present caratteristiche di turbolenza, profondità, granulometria del substrato e carattere deposizionale/erosionale comparativamente diverso.

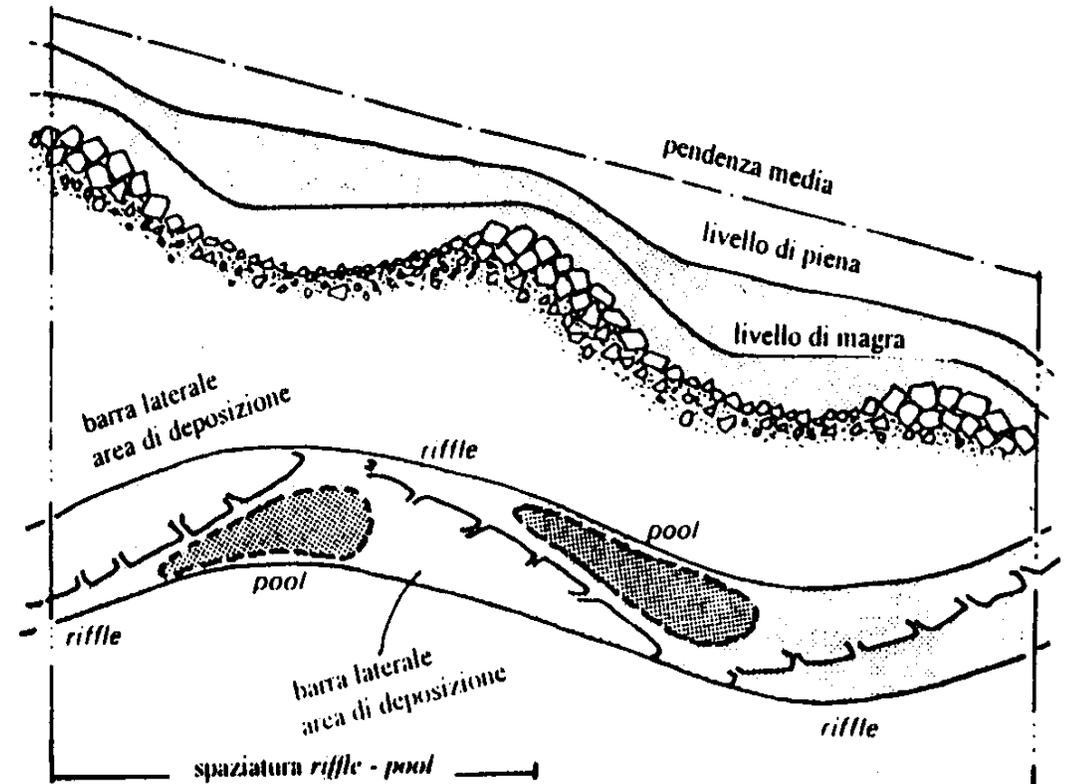
D-RIFFLE - POOL



SEQUENZE RIFFLES E POOLS

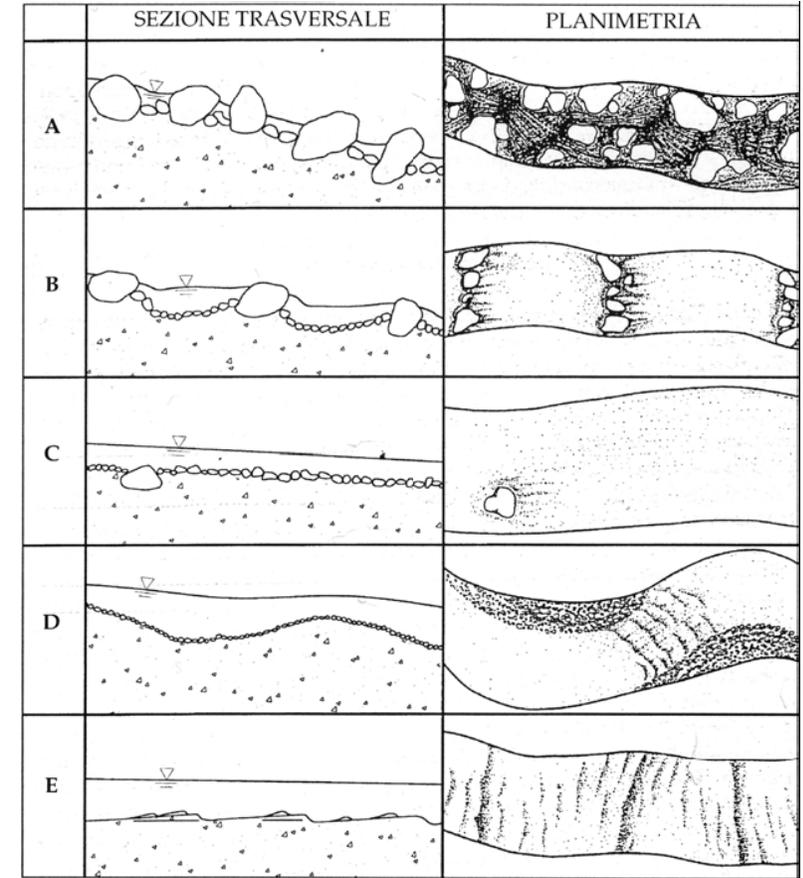
Pools: zone più profonde del fondo dell'alveo; materiale meno grossolano; corrente più profonda e più lenta

Riffles: zone meno profonde dell'alveo; materiale più grossolano; corrente meno profonda, più veloce e più turbolenta





D-RIFFLE - POOL



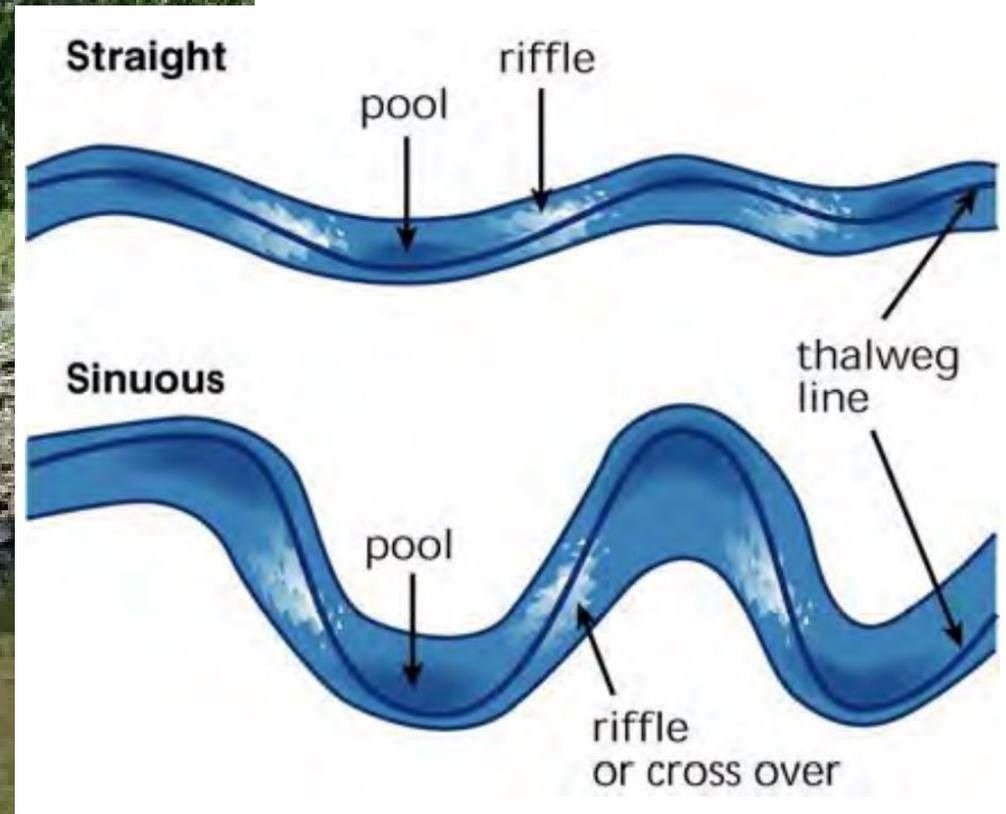


pool

riffle

riffle

pool



Straight

pool

riffle

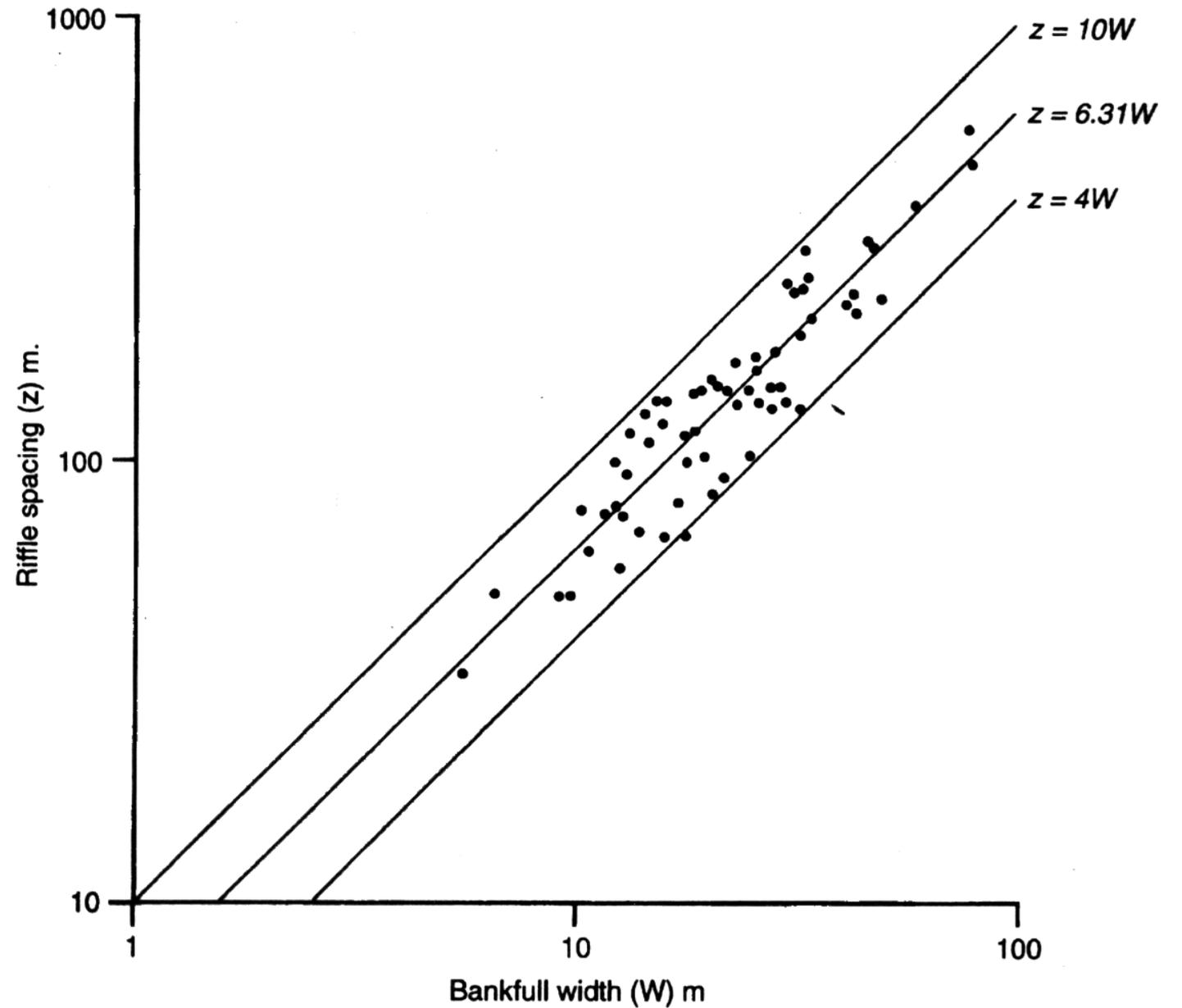
Sinuuous

pool

riffle
or cross over

thalweg
line

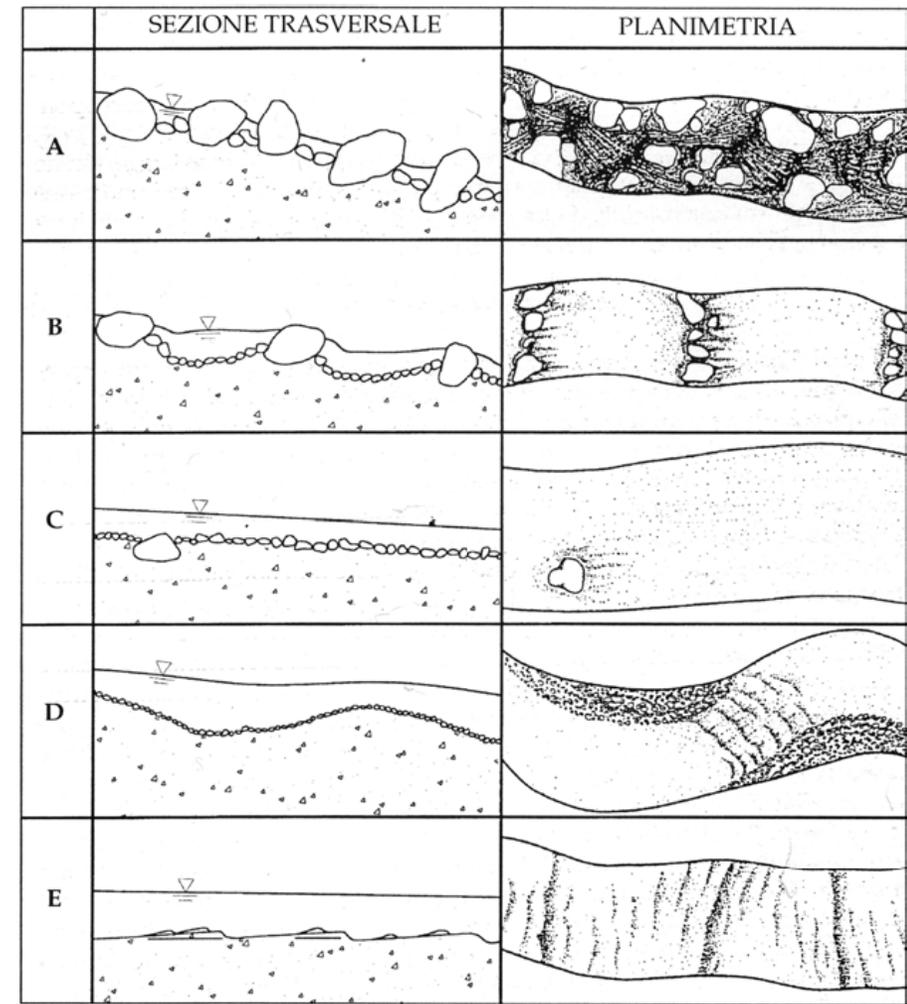
Spaziatura dei riffle:
generalmente la distanza tra
due riffle è 5-7 volte la
larghezza dell'alveo (da
Thorne, 1997)



E- DUNE RIPPLE

E) Dune ripple.

I corsi d'acqua con un **basso gradiente** e con materiale d'alveo costituito prevalentemente da **sabbia** possono sviluppare una morfologia a dune ripple, ossia delle piccole dune o increspature del fondo. Anche un canale con un fondo in ghiaia, durante un evento di portata estremo, può sviluppare delle forme di fondo riconducibili alla morfologia a dune ripple.



E- DUNE RIPPLE

