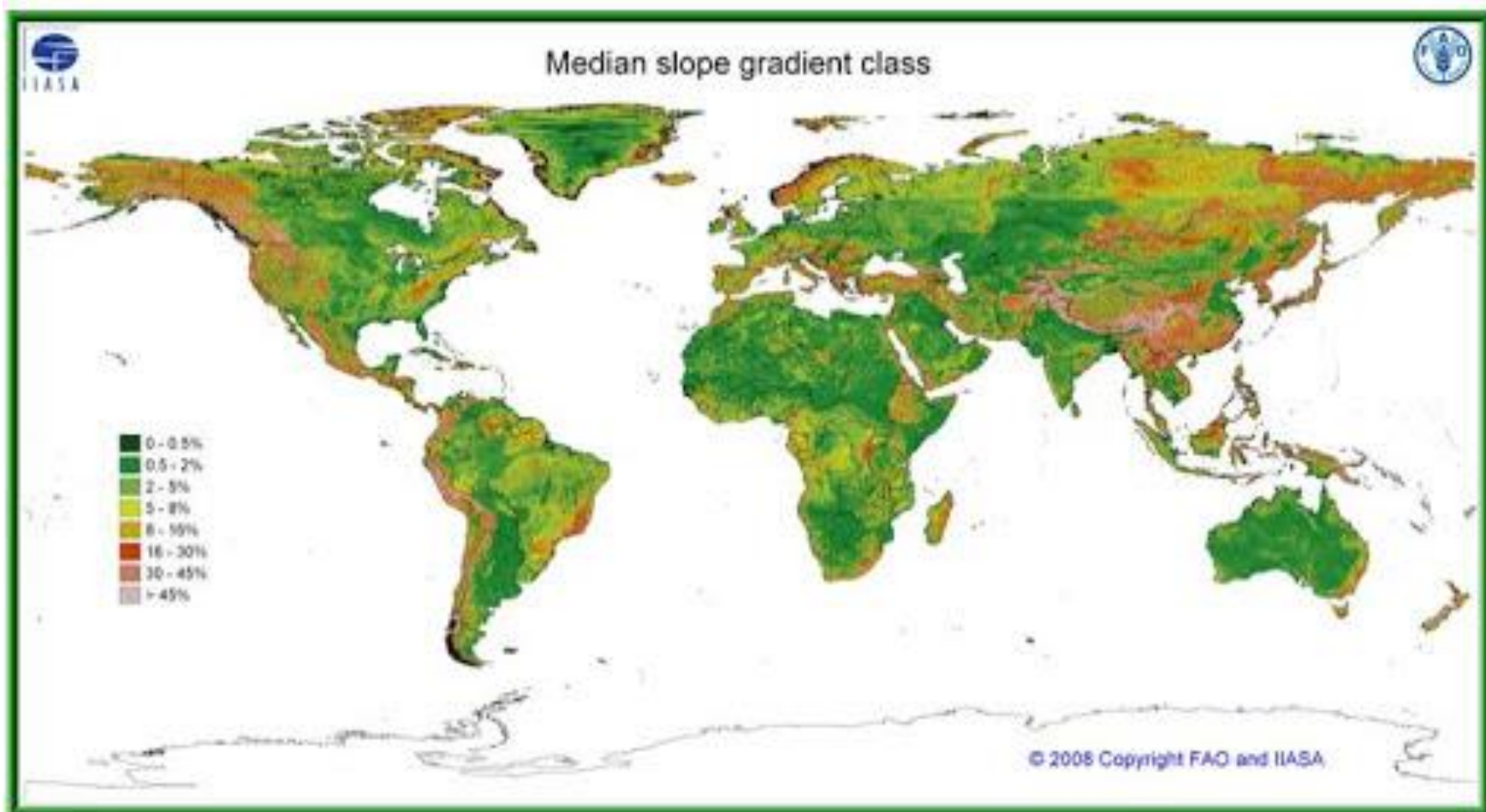


# Processi e forme fluviali

A cura di S. Furlani



Further information on the supplementary datasets can be obtained from the Land Use Change and Agriculture Program, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) • Schlossplatz 1 • A-2361 Laxenburg, Austria  
Phone: (+43 2236) 807 0 • Fax: (+43 2236) 71 313 • Web: <http://www.iiasa.ac.at>

## Major River Basins of the World



### North America

- 1 Yukon
- 2 Mackenzie
- 3 Nelson
- 4 Mississippi
- 5 St. Lawrence

### South America

- 6 Amazon
- 7 Paraná

### Europe

- 25 Danube

### Africa and West Asia

- 8 Niger
- 9 Lake Chad Basin
- 10 Congo
- 11 Nile
- 12 Zambezi
- 26 Orange
- 24 Euphrates and Tigris

### Asia and Australia

- 13 Volga
- 14 Ob
- 15 Yenisey
- 16 Lena
- 17 Kolyma
- 18 Amur
- 19 Ganges and Brahmaputra
- 20 Yangtze
- 21 Murray Darling
- 22 Huang He
- 23 Indus

Source: United Nations Environment Programme (UNEP); World Conservation Monitoring Centre (WCMC); World Resources Institute (WRI); American Association for the Advancement of Science (AAAS); *Atlas of Population and Environment*, 2001.

# Processi e forme fluviali

- Reticoli di drenaggio
- Processi di bacino
- Processi fluviali
- Variazioni di forma nei canali
- Variazioni dei canali nel tempo



# Ambienti fluviali

- L'acqua corrente domina gli ambienti fluviali, che sono diffusi ovunque tranne nelle regioni ghiacciate, dove domina il ghiaccio, e nelle regioni aride, dove il vento tende ad essere il principale agente erosivo.
- Nelle zone aride e semi-aride, l'attività fluviale può essere determinante per modellare le morfologie, come i **flash flood** che possono costruire conoidi alluvionali.
- Il **deflusso** (*runoff*) è una componente chiave del bilancio idrico tra il terreno e la superficie. Il deflusso è la differenza tra la precipitazione e l'evaporazione, con la quantità d'acqua nel suolo costante.
- **In generale dominano gli ambienti fluviali dove nell'arco di un anno le precipitazioni superano l'evaporazione e il regime di temperatura non favorisce la formazione di ghiaccio persistente.**
- Tali condizioni coprono una parte considerevole della superficie terrestre.

# Corsi d'acqua

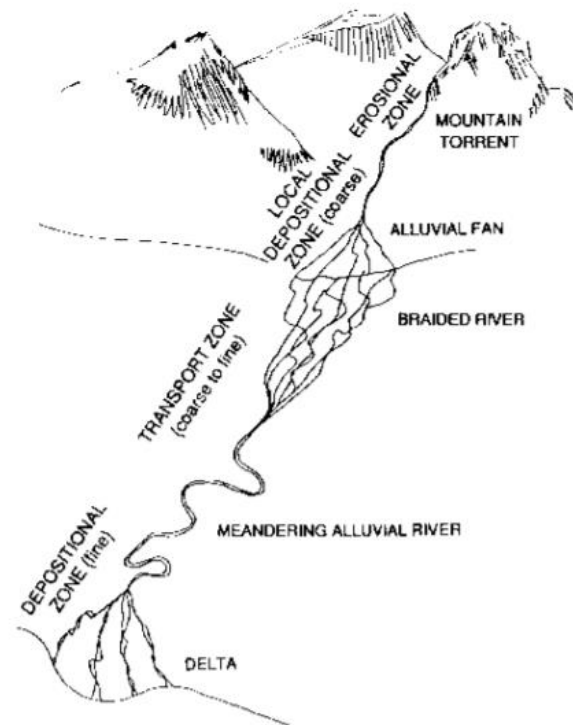
- Il flusso tende ad essere più alto durante le stagioni umide e più basso durante le stagioni secche.
- I cambiamenti di flusso durante un anno definiscono un regime fluviale. Ogni tipo climatico favorisce un regime fluviale distinto.

## TIPI DI CORSI D'ACQUA

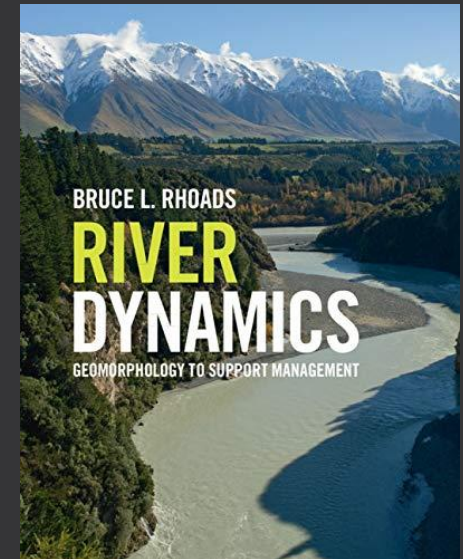
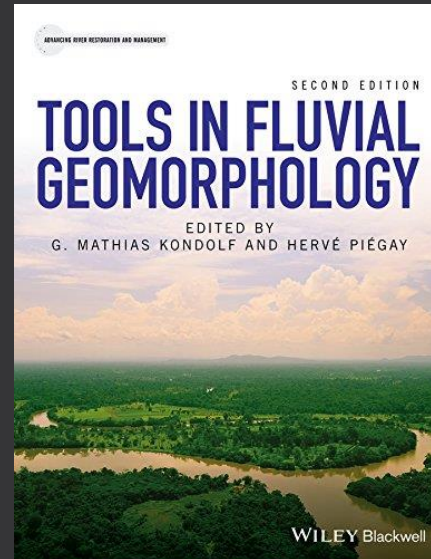
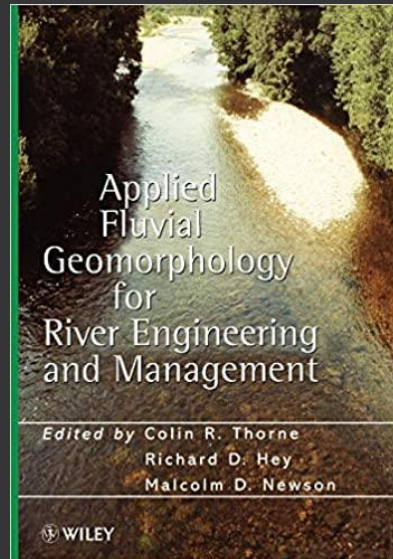
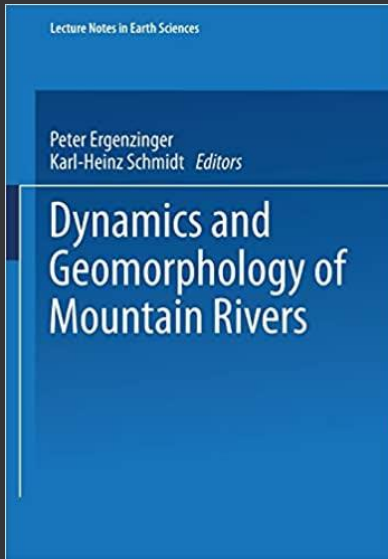
- 1) Perenni
- 2) Intermittenti
- 3) Effimeri

- Zona erosiva a monte
- Zona con fenomeni erosivi e deposizionali
- Zona di deposito a valle

La pendenza del profilo longitudinale tende a diminuire nel tempo a causa di erosione a monte e deposito a valle





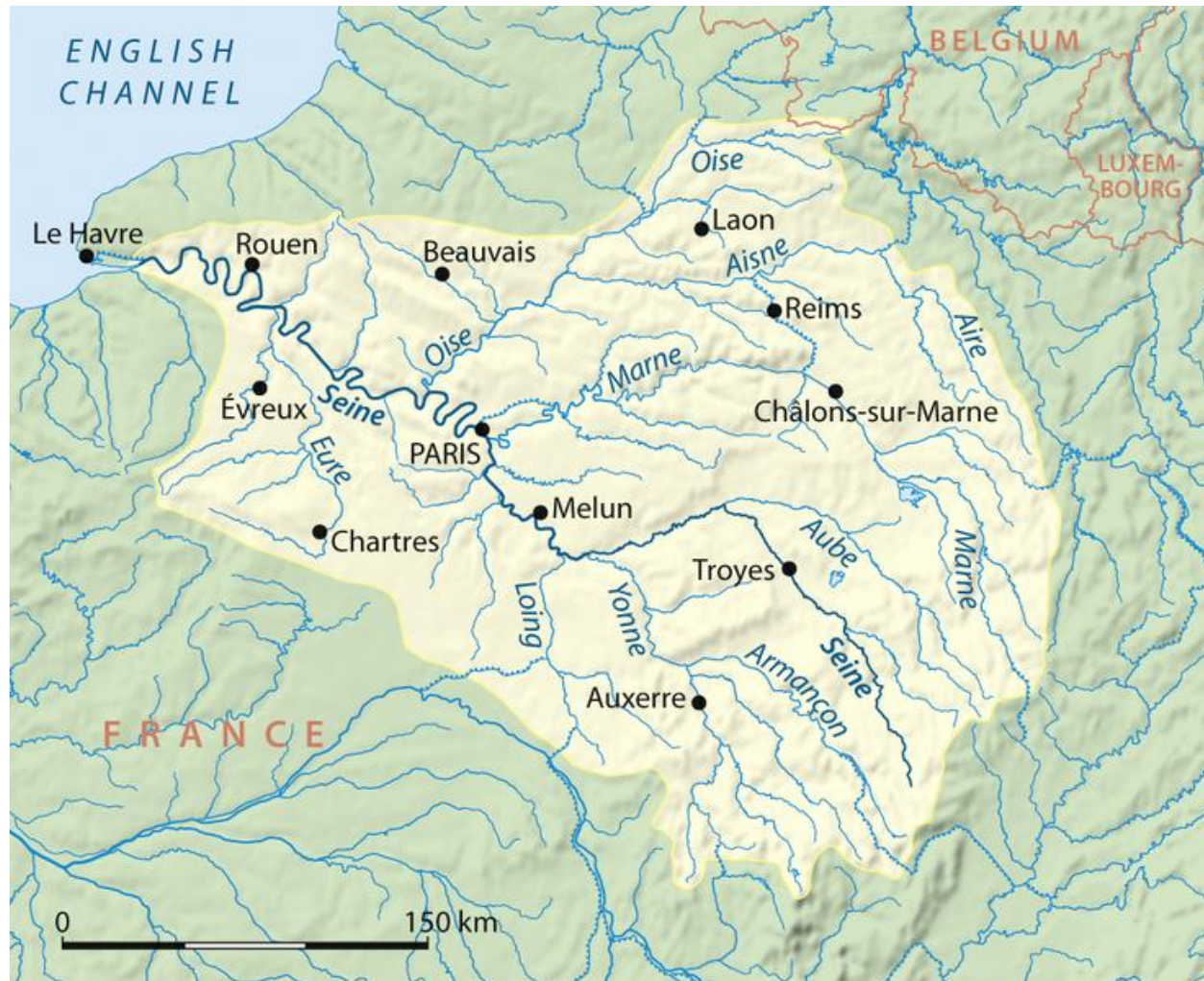


# I processi fluviali

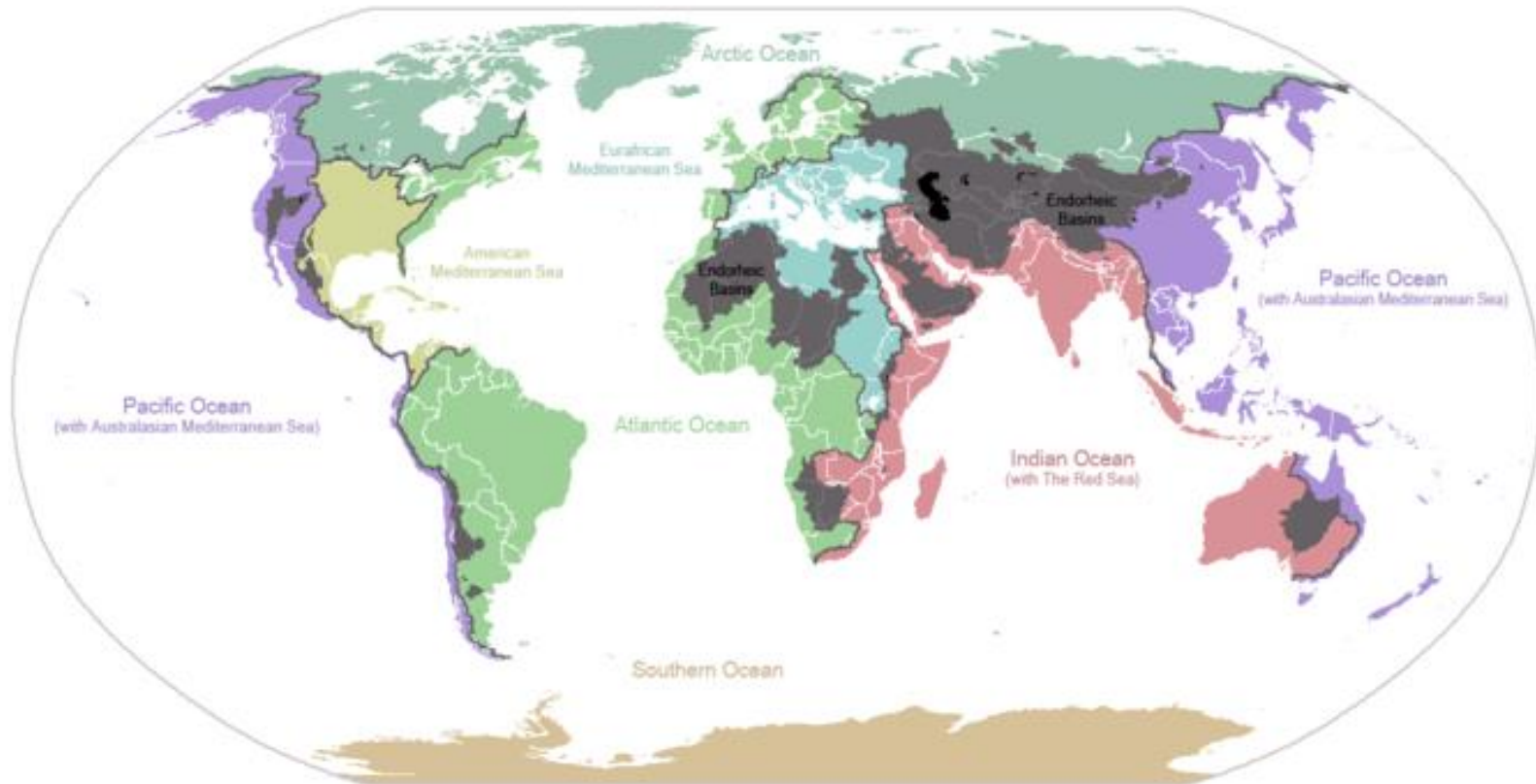
# Acqua corrente e bacino di drenaggio

- Le acque di precipitazione che cadono sulle aree continentali vengono generalmente incanalate nei sistemi fluviali e poi al mare o altri bacini interni;
- Le acque dilavanti lungo i versanti corrono lungo linee di drenaggio via via più incanalate
- Tutte queste fanno parte di in una **rete idrografica** organizzata che drena un bacino di drenaggio
  
- **Il bacino di drenaggio** è un'area depressa, limitata da una linea spartiacque che convoglia le acque di precipitazione che in essa cadono verso l'asta fluviale principale.

# Bacini di drenaggio



# Bacini di drenaggio



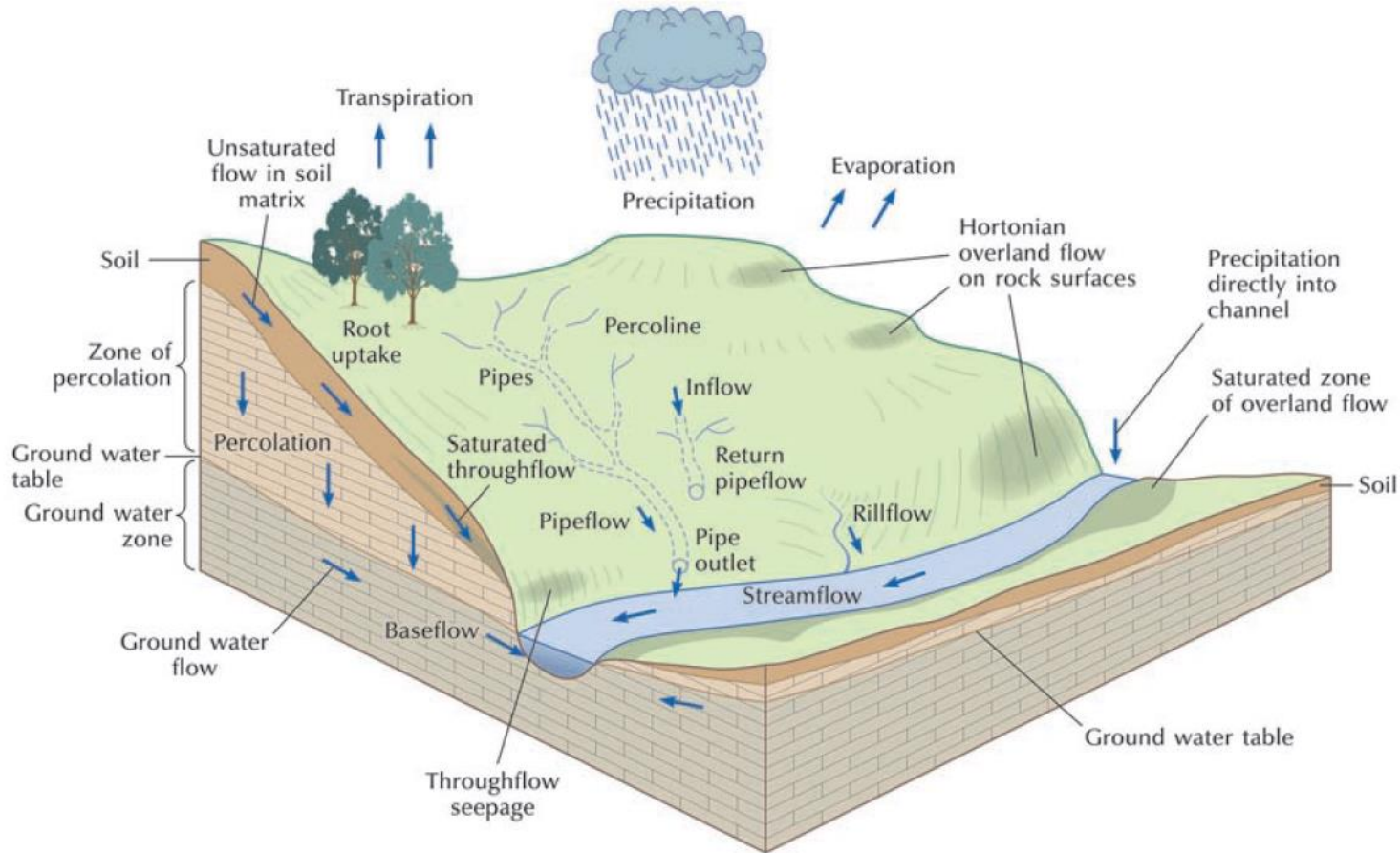
Bacini di drenaggio dei principali oceani e mari del mondo. Le aree grigie sono bacini endoreici che non drenano negli oceani (da Wikipedia).

# Modellamento normale

- Modellamento normale: quello operato dai corsi d'acqua.
- L'azione morfologica legata all'azione cinetica si esplica attraverso fenomeni di erosione, trasporto e sedimentazione
- L'energia di un corso ( $E_{tot}$ ) d'acqua dipende dalla sua velocità ( $V$ ) e dalla portata ( $Q$ )

$$E_{tot} = Q \times V$$

# Rapporto tra processi idrologici e geomorfologia



**Figure 9.1** The chief hydrological processes that influence the geomorphology of hillslopes and streams. Water flows over and through landscapes in unconcentrated and concentrated forms.

# Splash, rill flow, overland flow

- **Splash:** gocce di pioggia che colpiscono la roccia e le superfici del suolo. Stacca particelle di diametro  $<20$  micron;
- **Flusso concentrato di superficie** (*sheet flow*): coinvolge un sottile strato di acqua in movimento insieme con rigagnoli di acqua più profonda che scorre più veloce causando erosione per distacco del suolo;
- **Rill flow** (turbolento) è più profondo e veloce dell'inter-rill flow
- **Overland flow** (flusso superficiale):
  - Modello Hortoniano: si verifica quando la precipitazione supera la capacità di filtrazione nel terreno (superfici esposte, ecc).
  - Modello per saturazione: si verifica quando dove la falda freatica si trova alla superficie del terreno.

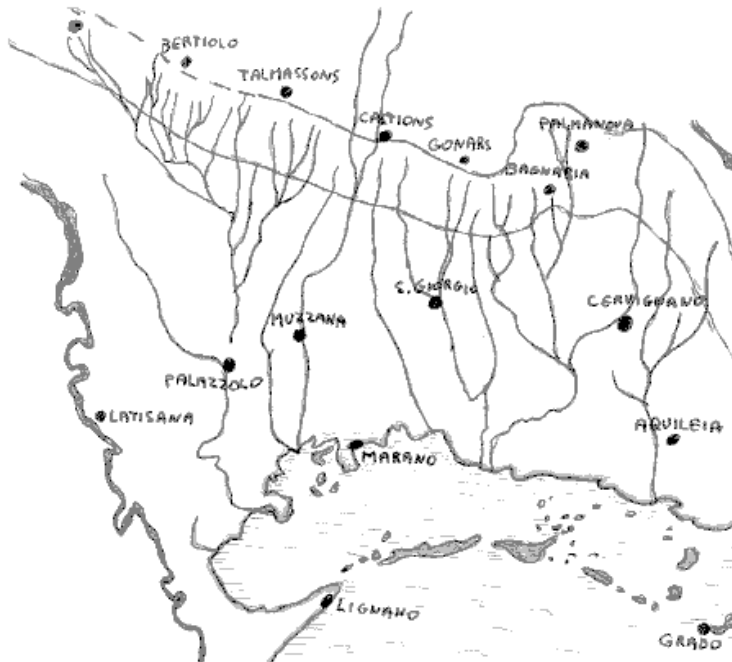
# Subsurface flow

- Il flusso all'interno di una roccia o di un corpo del suolo può essere posto in condizioni insature, ma più velocemente il flusso sotterraneo è associato al suolo in saturazione.
- Baseflow è l'acqua che entra nel flusso dalla falda freatica o interflow ritardato che mantiene i fiumi in climi umidi che scorrono durante periodi di siccità.
- Il flusso sotterraneo può avvenire come movimento lento attraverso i pori della roccia e del suolo, a volte lungo linee distinte chiamate percoline, o come movimento più veloce nelle fratture o nei condotti delle grotte.



# Le risorgenze (*springs*)

- Le risorgenze si trovano dove si incontrano la superficie e la falda freatica.
- Le risorgenze si trovano dove la falda acquifera è in superficie è quasi permanente.



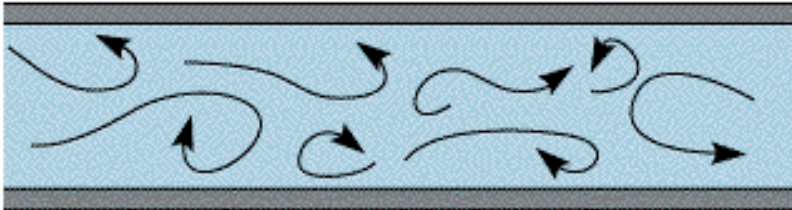
# I corsi d'acqua

- La loro esistenza si basa sulla presenza di acqua, attraverso i meccanismi precedentemente descritti (interflow, baseflow e precipitazione dirette).
- I fiumi canalizzati lo sono progettati per controllare le inondazioni, migliorare i tempi di drenaggio, mantenere la navigazione, ecc.
- In alcuni bacini idrici di pianura in Europa, oltre il 95 per cento dei canali fluviali sono canalizzati.

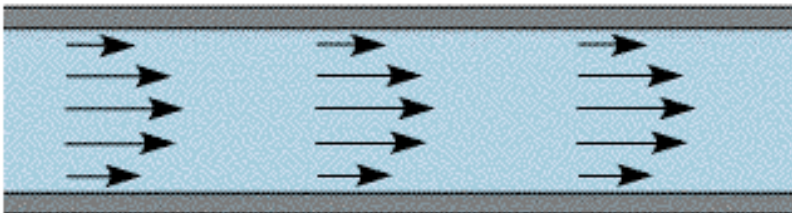
# Flussi laminari e turbolenti

- L'acqua che scorre in un corso d'acqua è soggetta alla gravità ed alle forze di attrito.
- La gravità spinge l'acqua verso il basso (pendenza), mentre l'attrito fornisce la resistenza al movimento (viscosità) tra l'acqua corrente e la superficie del canale.

Turbulent



Laminar

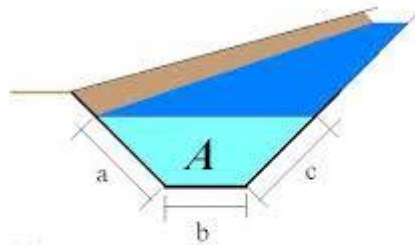


La velocità media del flusso, la viscosità, densità del fluido e la dimensione della sezione del canale determina il tipo di flusso.

# Raggio idraulico

- Il raggio idraulico,  $R$ , è l'area della sezione trasversale al flusso,  $A$ , divisa per il perimetro bagnato,  $P$  (lunghezza del bordo lungo il quale l'acqua è a contatto con il canale):

$$R = \frac{A}{P}.$$



$$P = a + b + c = \text{perimetro bagnato}$$

$$R = \frac{A}{P} = \text{Raggio Idraulico}$$

# Numero di Reynolds

- Il numero di Reynolds ( $re$ ) è una grandezza adimensionale che esprime il rapporto tra forze d'inerzia e le forze viscosse (resistenza)
- Dipende dal fluido: densità, viscosità, velocità del moto, una costante geometrica

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu}$$

$\rho$  = densità del fluido

$v$  = velocità del moto del fluido

$l$  = grandezza geometrica caratteristica del sistema in esame (per es. in un tubo  $l$ =diametro)

$\mu$  = viscosità dinamica del fluido

$Re < 1.500-2.000$	<i>moto laminare</i>
$2.000 < Re < 4.000$	<i>zona di transizione</i>
$Re > 5.000$	<i>moto turbolento</i>
$Re > 100.000$	<i>moto pienamente turbolento</i>

- Predice il tipo di flusso (laminare o turbolento)

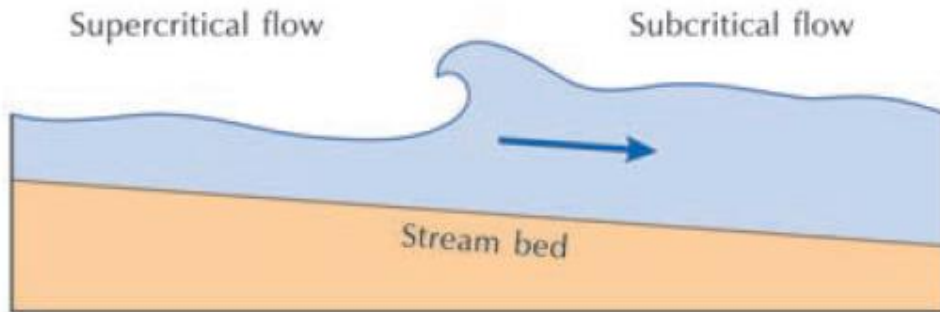
# Numero di Froude

- È definito come la radice quadrata del rapporto fra la forza d'inerzia e la forza peso:

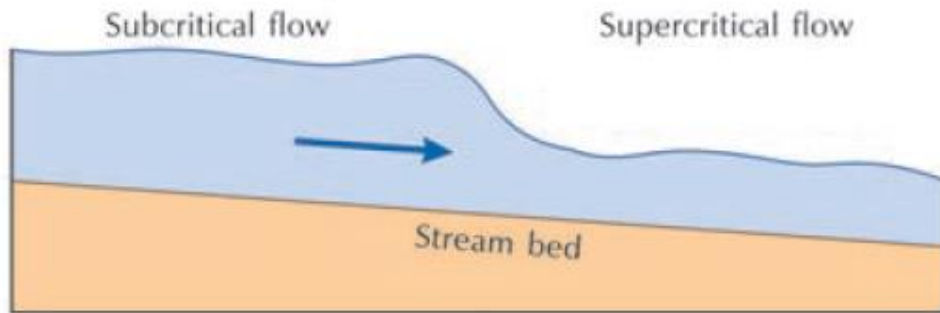
$$Fr = \sqrt{\frac{V_0^2}{g L_0}} = \frac{V_0}{\sqrt{g L_0}}$$

- $L_0$  è la lunghezza di riferimento (m);
  - $V_0$  è la velocità di riferimento (m/s);
  - $G$  è l'accelerazione di gravità (m/s<sup>2</sup>)
- 
- dimostra che per i moti di un liquido incomprimibile confinato in un canale, la quota del pelo libero dipende dal numero di Froude
  - Se  $0 < F < 1$  -> la velocità dell'onda è più grande della velocità media del flusso (subcritica/tranquilla)
  - Se  $F = 1$  -> critica
  - Se  $F > 1$  velocità supercritica (rapida), solo temporaneo a causa di feedback negativi

(a) Hydraulic jump



(b) Hydraulic drop



**Figure 9.4** (a) Hydraulic jump. (b) Hydraulic drop.

Situazione che possono avvenire nei corsi d'acqua in montagna, dove di sono ostacoli, ostruzioni, blocchi, ecc

## Equazione di Chézy

$$\bar{v} = C\sqrt{Rs}$$

Stima la velocità media del flusso ( $\bar{v}$ ) in funzione del raggio idraulico ( $R$ ), gradiente del canale ( $s$ ) e  $C$  (coefficiente di Chézy che esprime la foze di gravità e l'attrito)

## Equazione di Manning:

$$\bar{v} = \frac{R^{2/3}s^{1/2}}{n}$$

Da la velocità media del flusso sulla base di  $R$ ,  $s$  ed un coefficiente  $n$  (coefficiente di scabrezza di Manning) che indica la roughness del canale

# Erosione fluviale e trasporto

- I corsi d'acqua sono agenti morfogenetici estremamente efficaci nell'erosione, trasportare e depositare;
- La potenza della corrente (*stream power*) è la potenza dissipata per unità di lunghezza del corso d'acqua verso valle; rappresenta una misura della forza della corrente.

$$\Omega = \rho g Q s$$

- $\Omega$  = potenza della corrente;
- $\rho$  = densità dell'acqua;
- $Q$  = portata;
- $s$  = la pendenza del canale

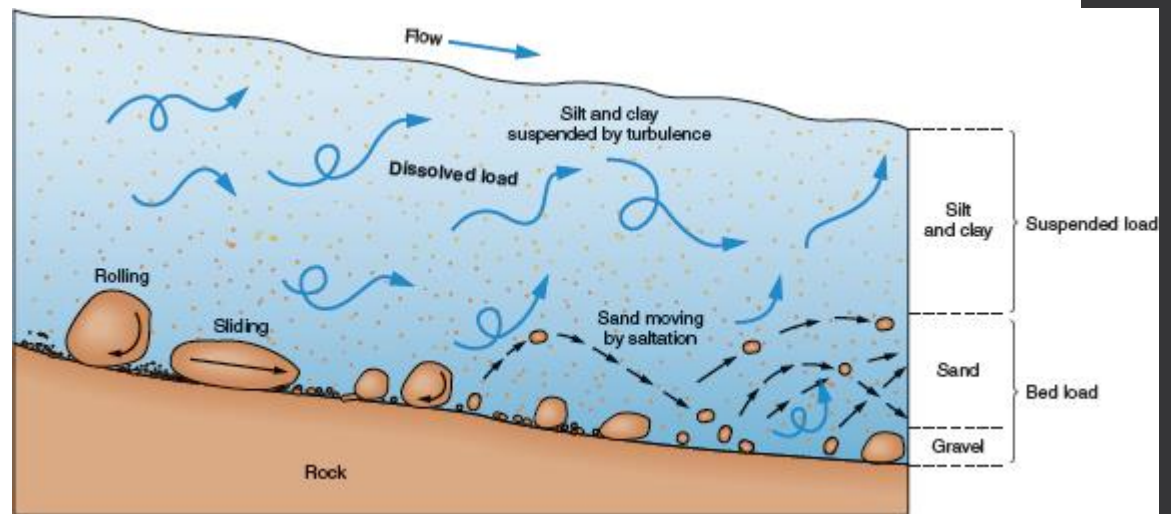
$\Omega$  Aumenta misura il tasso a cui un flusso trasporta, supera l'attrito o genera calore. Aumenta con la portata e la pendenza



# Carico solido

- Il materiale trasportato dai fiumi viene indicato come carico solido (sciolto, sospeso, di fondo)
- Carico disciolto

- Carico sospeso



- Carico di fondo

- La corrente in un fiume può erodere per corrosione, corrasione e cavitazione, azione idraulica, abrasione.
- **Azione idraulica:** perdita meccanica e rimozione del materiale per la pressione esercitata dall'acqua corrente (specie su clasti già staccati)
- **Corrosione:** azione di dissoluzione chimica sulla roccia ed i materiali di fondo dell'alveo. Dipende dalla roccia
- **Cavitazione:** cambio di stato da liquido a vapore. Rara, quando il fiume acquista improvvisa velocità (cascate)
- **Abrasione (corrasione):** Rimozione del fondo del corso d'acqua da parte dell'acqua con carico solido. La più attiva (es. marmitte, cascate, forre, ecc)
- **Evorsione:** forma di corrasione in cui la forza di taglio esercitata dall'acqua demolisce il substrato roccioso senza l'azione di clasti (tipo azione idraulica).

- La corrente può erodere l'alveo verso il basso o lateralmente.
- **L'erosione verticale** nel letto di un alveo alluvionale avviene quando c'è perdita netta di sabbia o ghiaia, mentre in un canale in roccia è causata dall'abrasione del letto
- **L'erosione laterale** avviene quando i depositi negli alvei vengono erosi, di solito sottoscavati (con conseguente franamento e collasso del deposito).

- La capacità dell'acqua corrente di erodere trasportare è una funzione dell'energia cinetica della corrente.

$$E_k = mv^2/2$$

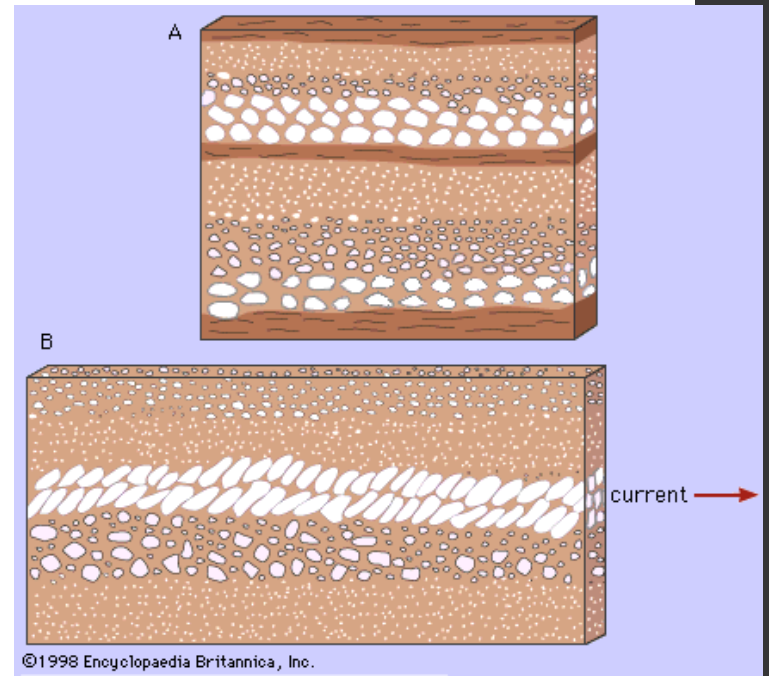
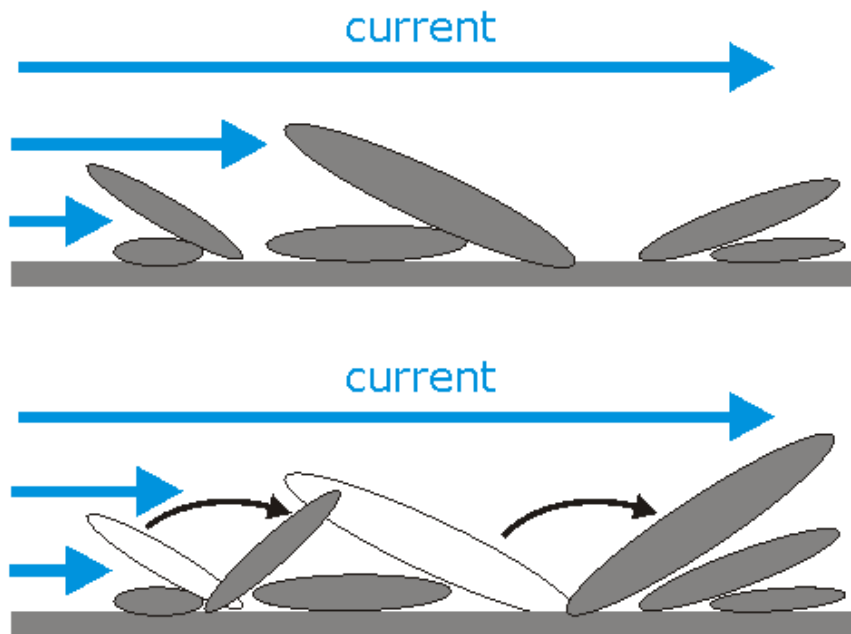
- Se sostituiamo  $v$  con i fattori dell'equazione di Chézy otteniamo:

•

$$E_k = (mCRs)/2$$

più profonda e veloce è la corrente, maggiore è la sua energia cinetica e maggiore è la sua capacità di erodere,

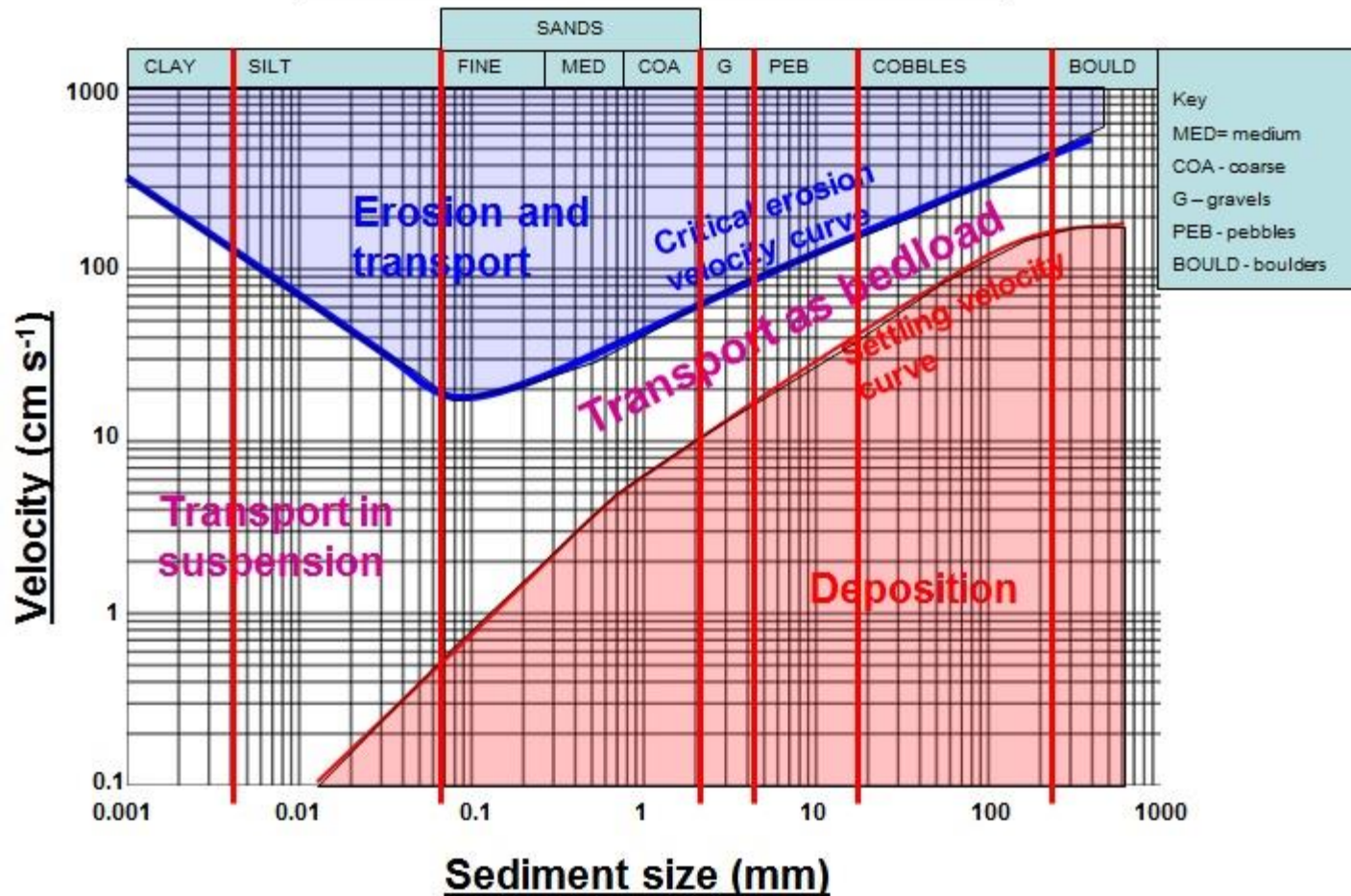
o secondo DuBoys, la competenza (capacità di spostare un ciottolo) dipende dalla profondità e dalla pendenza dell'alveo



I ciottoli embricati sono più resistenti all'erosione



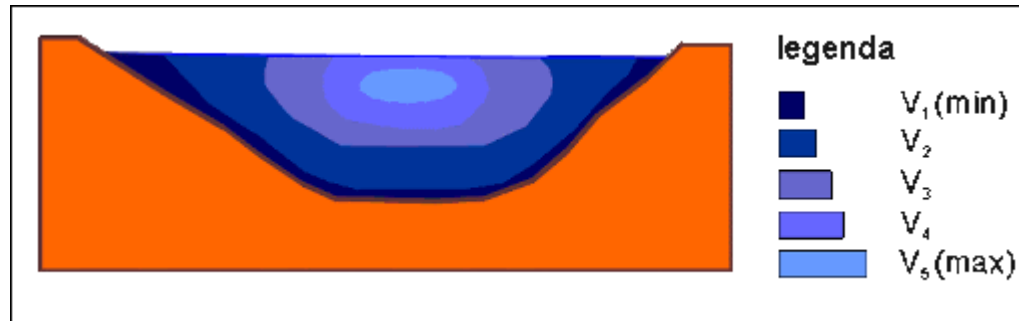
# The Hjulström curve



Curva ottenuta da esperimenti di laboratorio  
Viene utilizzato solo per alvei in materiale sciolto

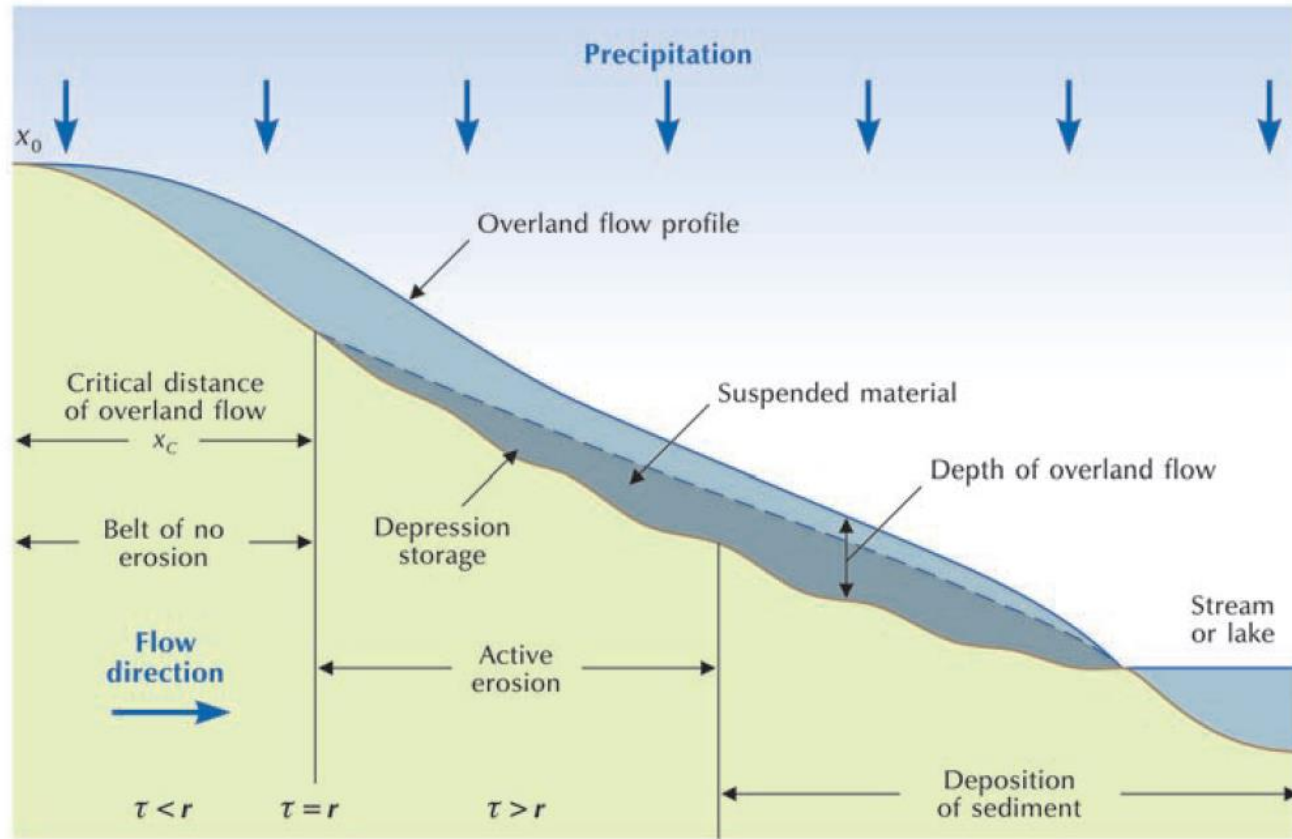
# Origine di un alveo

- Si origina da una corrente concentrata lungo una linea di deflusso preferenziale



- Lunghezza critica del versante (Horton): La lunghezza critica è stata identificata come quella richiesta per fornire uno sforzo di taglio al flusso Hortoniano sufficiente per superare la resistenza superficiale
- Nel modello di Horton, prima che la corrente superficiale sia in grado di erodere il suolo, deve raggiungere una profondità critica alla quale la forza dell'erosione supera la resistenza al taglio della superficie del suolo
- Ok per ambienti secchi o aridi. In ambienti umidi anche risorgenze nel versante producono canali
- Anche fenomeni di creeping utili per generare canali

# Modello Hortoniano



$\tau$  Eroding stress  
 $r$  Shearing resistance of soil surface

**Figure 9.6** Horton's model of overland flow production. *Source:* Adapted from Horton (1945)



# Deposizione

- Si possono distinguere quattro tipi di depositi fluviali:

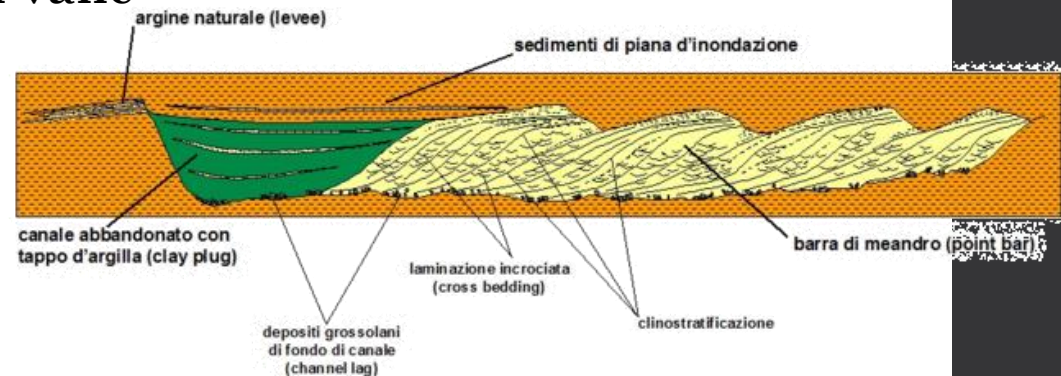
## 1. Depositi di canale

## 2. Depositi di margine canale

## 3. Depositi di pianura alluvionale

## 4. Depositi di margine di valle

L'erosione e la deposizione dell'alveo avvengono durante le piene fluviali. Nulla (o poco) avviene fino alla piena successiva.



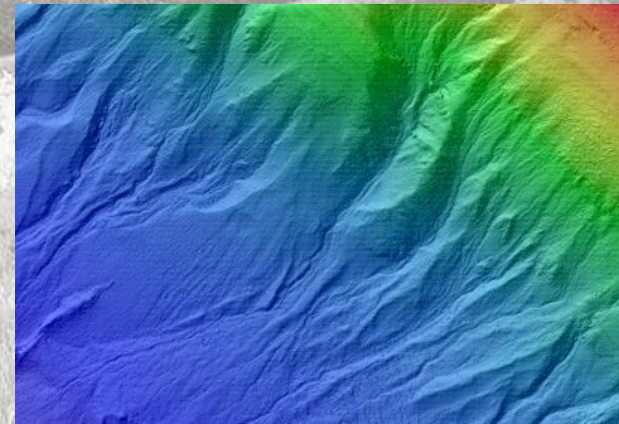
# Erosione e deposizione: un bilancio

- Come regola generale, a monte prevale l'erosione, mentre a valle e nelle pianure prevalgono il riempimento e la deposizione
- L'alluvionamento può essere studiata calcolando il bilancio sedimentario. La variazione nel bilancio in un intervallo di tempo è la differenza tra apporto e perdita sedimentaria
- **Se l'apporto supera la perdita si ha aggradazione**
- **Se la perdita supera l'apporto, la piana alluvionale e gli alvei vengono erosi**
- Rare le situazioni di bilanciamento

# Forme fluviali erosive

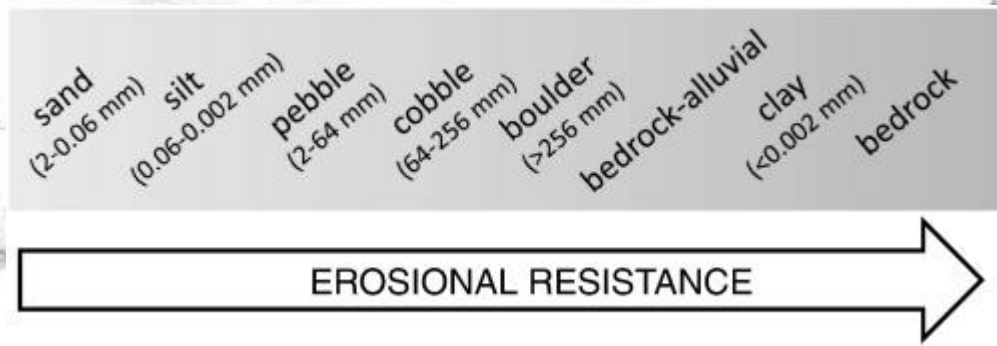
# Ruscellamento e calanchi

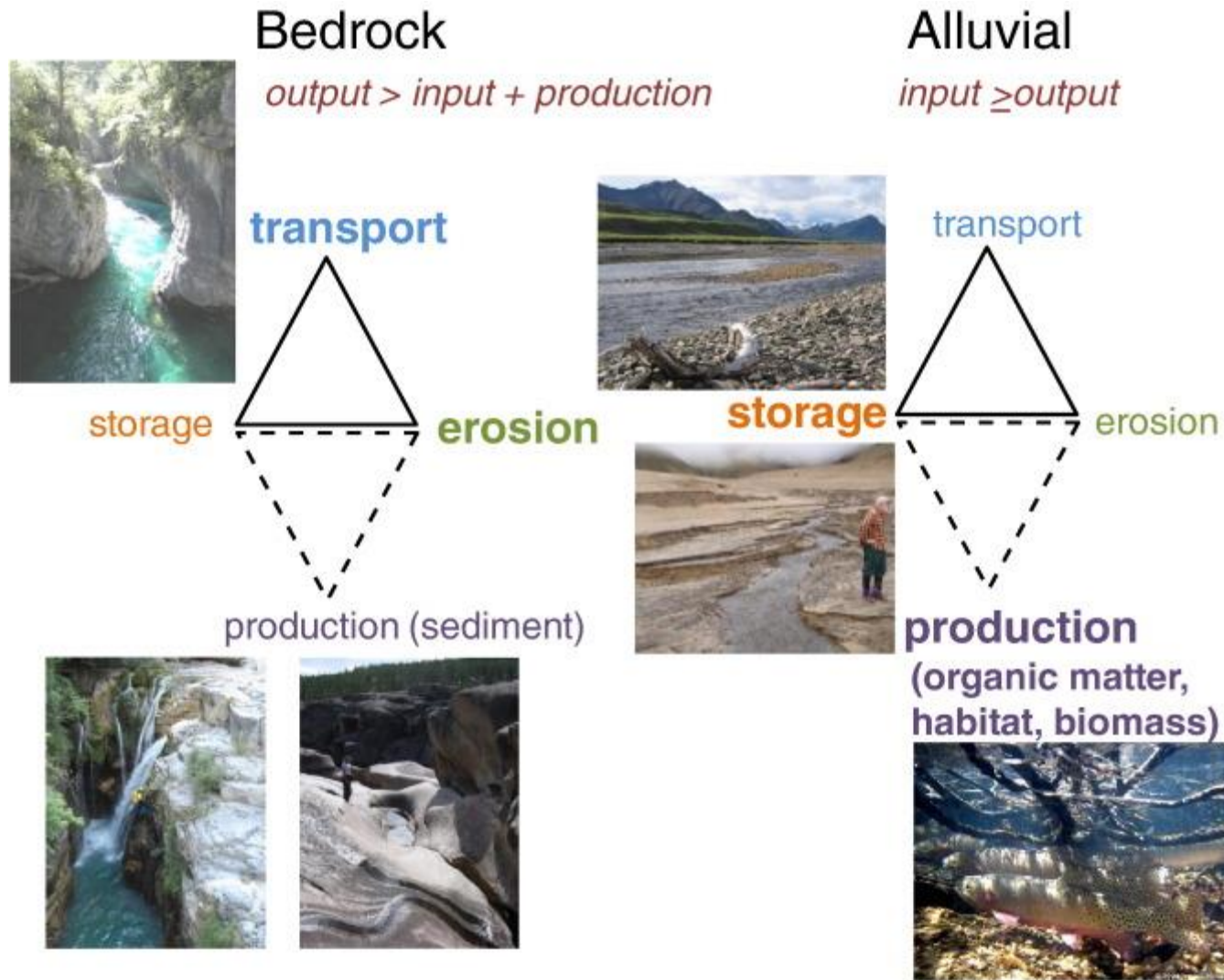
- Il ruscellamento avviene in piccoli canali di pochi centimetri a regime effimero
- Ruscelli (*rill*): larghezza inferiore a 30 cm e profondità inferiore a 60 cm.
- Calanchi (*gully*): dimensioni superiori ai ruscelli
- Wadi (*arroyo, wash, coulee, ecc*): hanno pareti ripide e verticali e base piana e sabbiosa



# Alvei in roccia

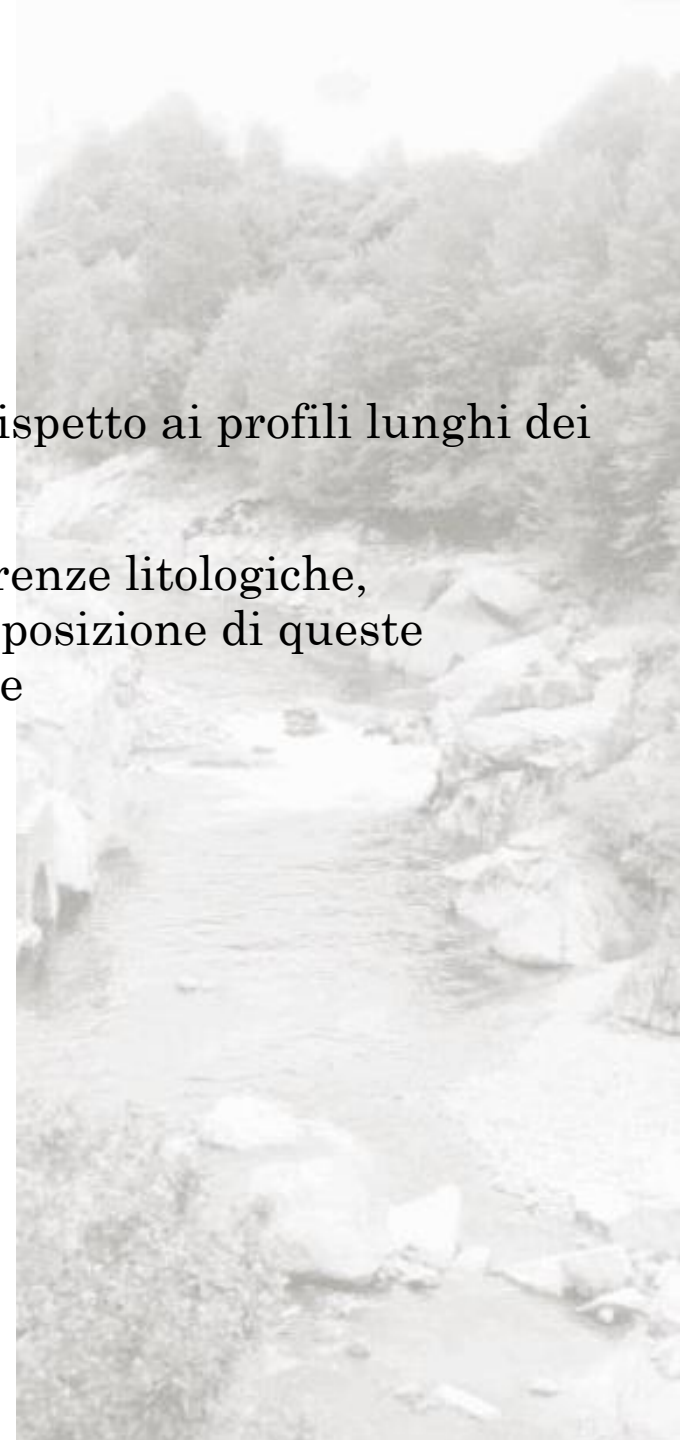
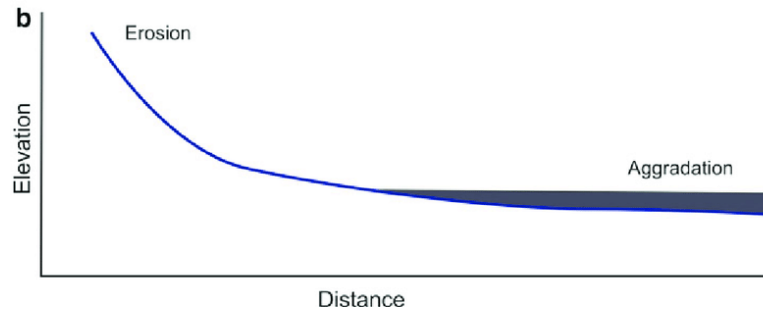
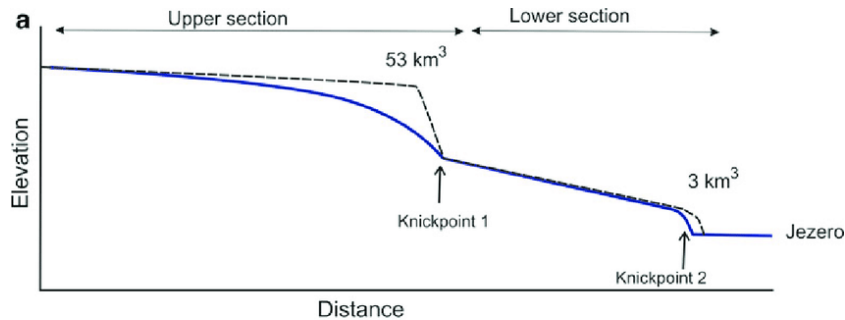
- Sono incisi nella roccia
- Sono resistenti all'erosione tendono ad essere molto persistenti nel tempo
- Si possono spostare lateralmente in corrispondenza di rocce meno resistenti
- I tassi di incisione nella roccia sono fondamentali sono critici per gli studi dell'evoluzione del territorio nel lungo tempo e per le relazioni con le variazioni del clima, dei tassi di erosione, dei tassi tettonici





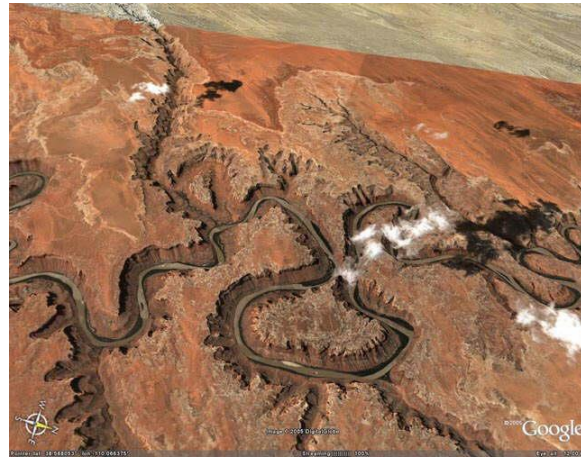
# Condizioni

- I profili lunghi sono di solito più irregolari rispetto ai profili lunghi dei corsi d'acqua di tipo alluvionale
- Le irregolarità possono essere legate a differenze litologiche, strutturali, o alla presenza di frane, ecc. La posizione di queste irregolarità sono marcate da cascate o rapide



# Meandri incassati

- Potrebbe sembrare impossibile che si formino meandri in superfici rocciose. In realtà si possono formare in presenza di strati orizzontali
- Si formano quando un corso d'acqua meandreggiante erode il basamento roccioso. Sono legati ad un importante arretramento di un knickpoint legato all'abbassamento del livello di base.



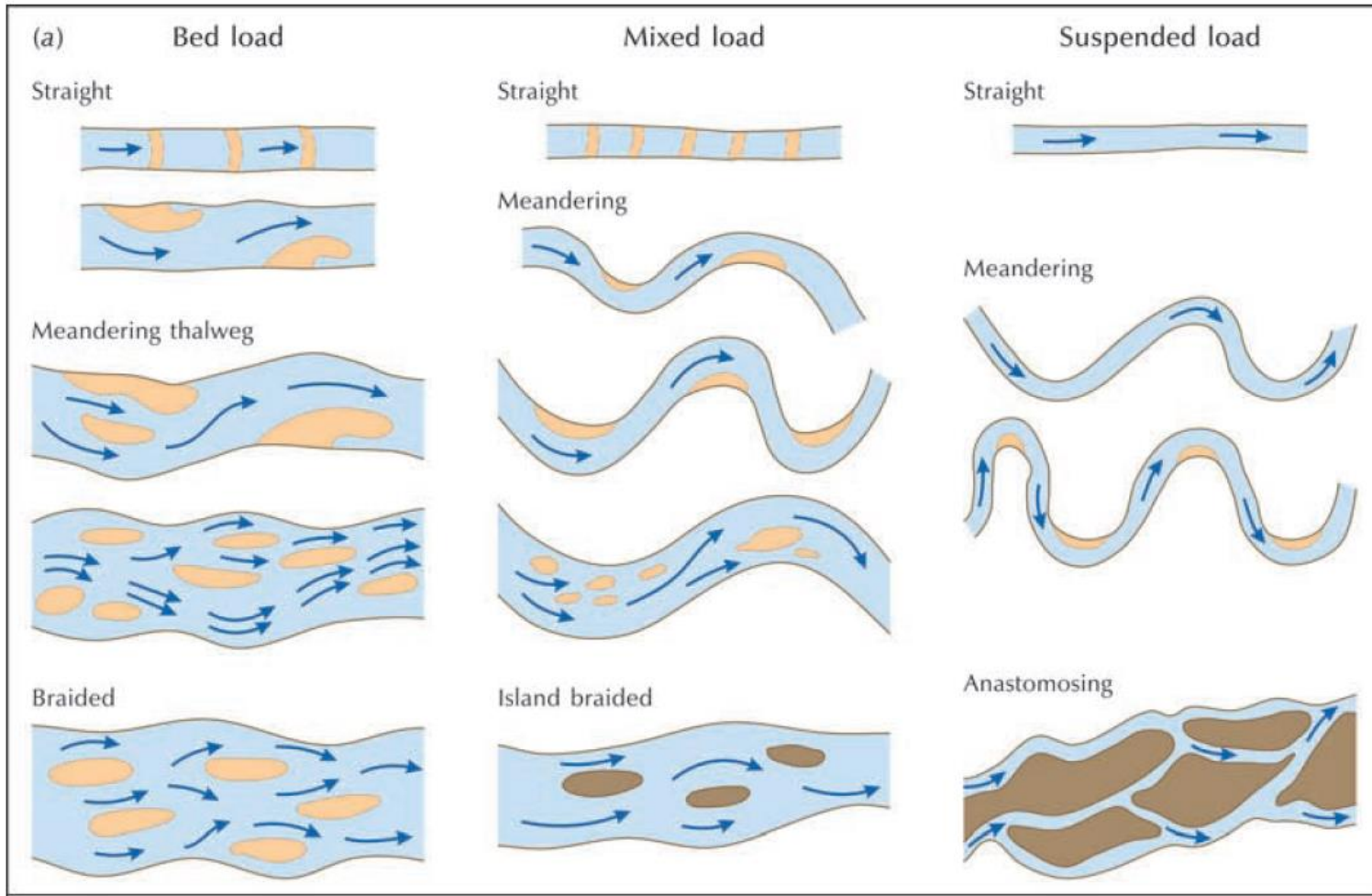


# Alvei in materiali sciolti

Questo tipo di alvei si formano in sedimenti che sono stati trasportati da acqua corrente. Variano in funzione della portata, del carico solido. Gli alvei possono essere dei seguenti tipi:

- **Alvei rettilinei:** Molto rari, di solito all'interno delle valli fluviali di origine strutturale. Il **thalweg** (parte più bassa dell'alveo) può comunque cambiare direzione, con alveo interno a meandri o braided. In molti casi sono artificiali.
- **Alvei a meandri:** a forma di serpente. Andamento a meandri quando la sinuosità=lunghezza del canale/lunghezza della valle = 1.5. Scorrimento tipico dell'acqua (erosione lato esterno, deposizione lato interno). Avulsione (cambio improvviso di flusso (con creazione di meandro abbandonato). Definiti da specifici parametri morfologici.
- **Alvei braided:** forme deposizionali che si trovano dove il flusso si divide in canali (treccie) separati da isole (durature nel tempo) e barre fluviali (effimere). Fino a 20 canali x sezione. Alta energia, alto gradiente, molto sedimento, sedimenti di barra erodibili. Ghiaie, sabbia, silt.
- **Alvei anastomizzati:** Tipo braided, ma i canali non sono singoli, ma interconnessi e separati da bedrock o depositi fluviali (sono rari).
- **Alvei anabranching:** Alveo con canali multipli separati da isole fluviali semipermanenti vegetate
- **Alvei di montagna:** Alvei confinati, contengono molto detrito ligneo. 7 tipi

# Tipi di alvei



# Alvei a meandri

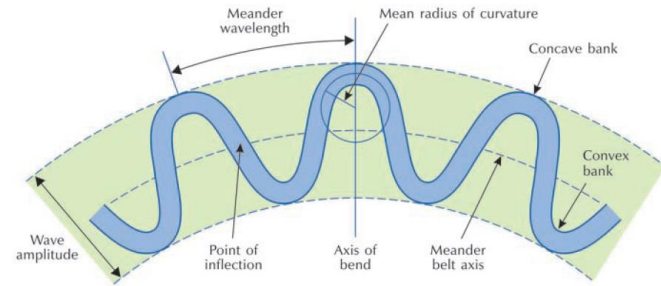
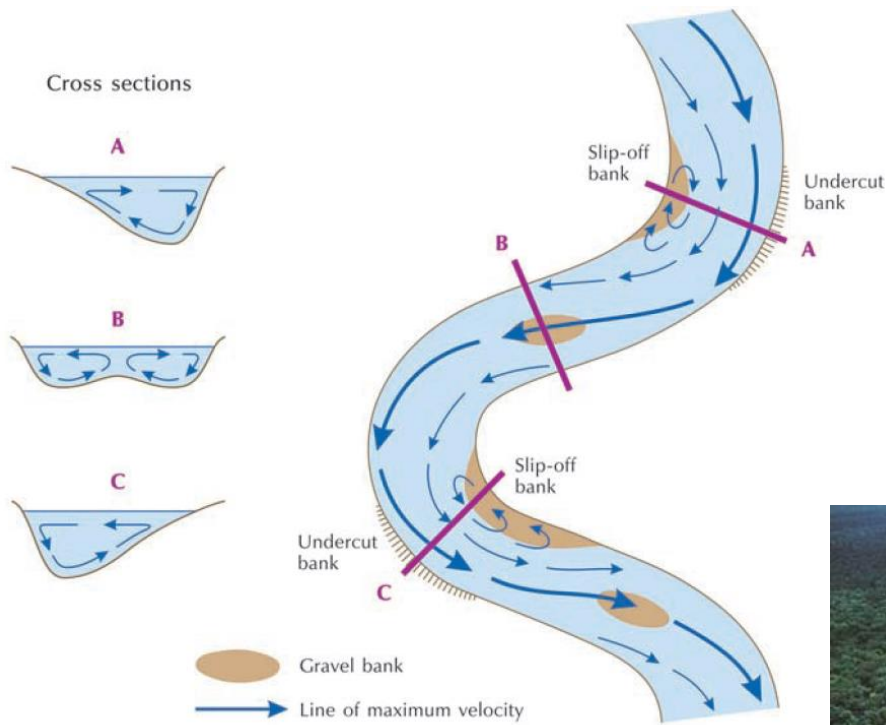


Figure 9.10 Parameters for describing meanders.



# Alvei braided



Photo credit: Upper Rangitata, Department of Conservation

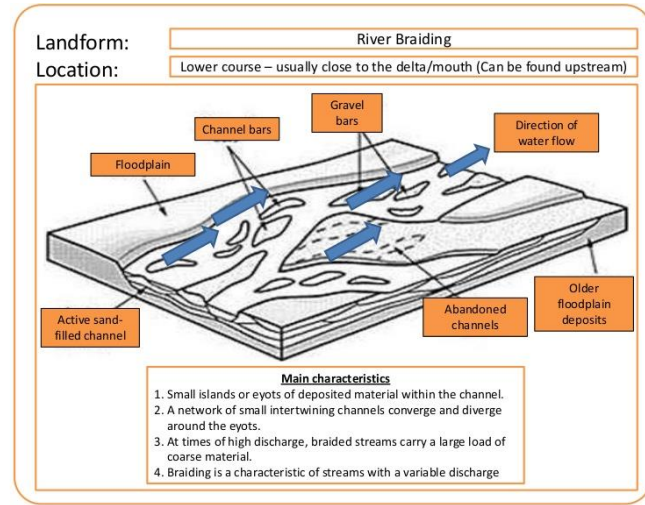




PHOTO FVG

photogram  
FVG037598



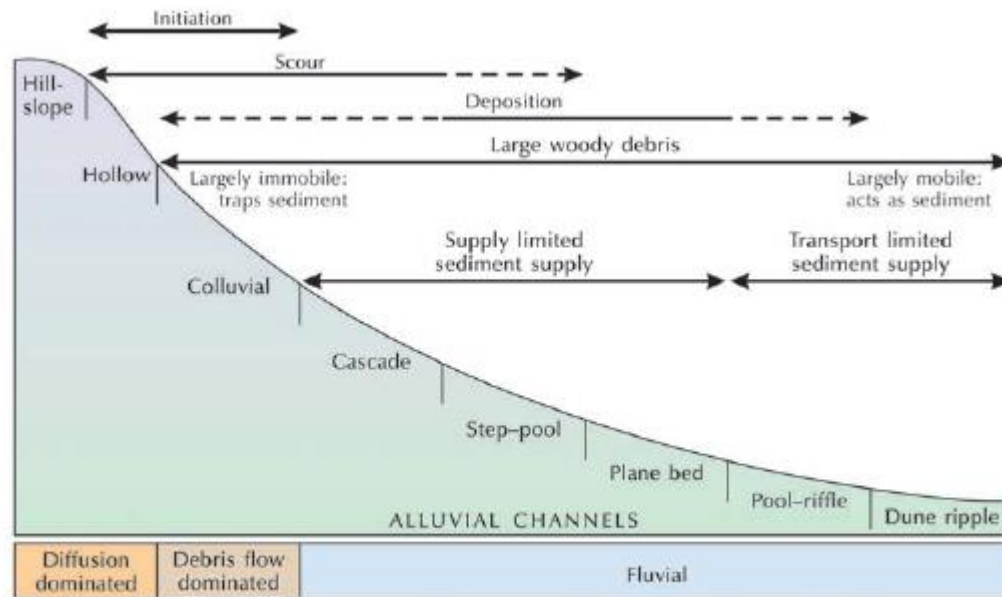
# Alvei anastomizzati



Fiume Feshie (Scozia, UK)



# Alvei di montagna

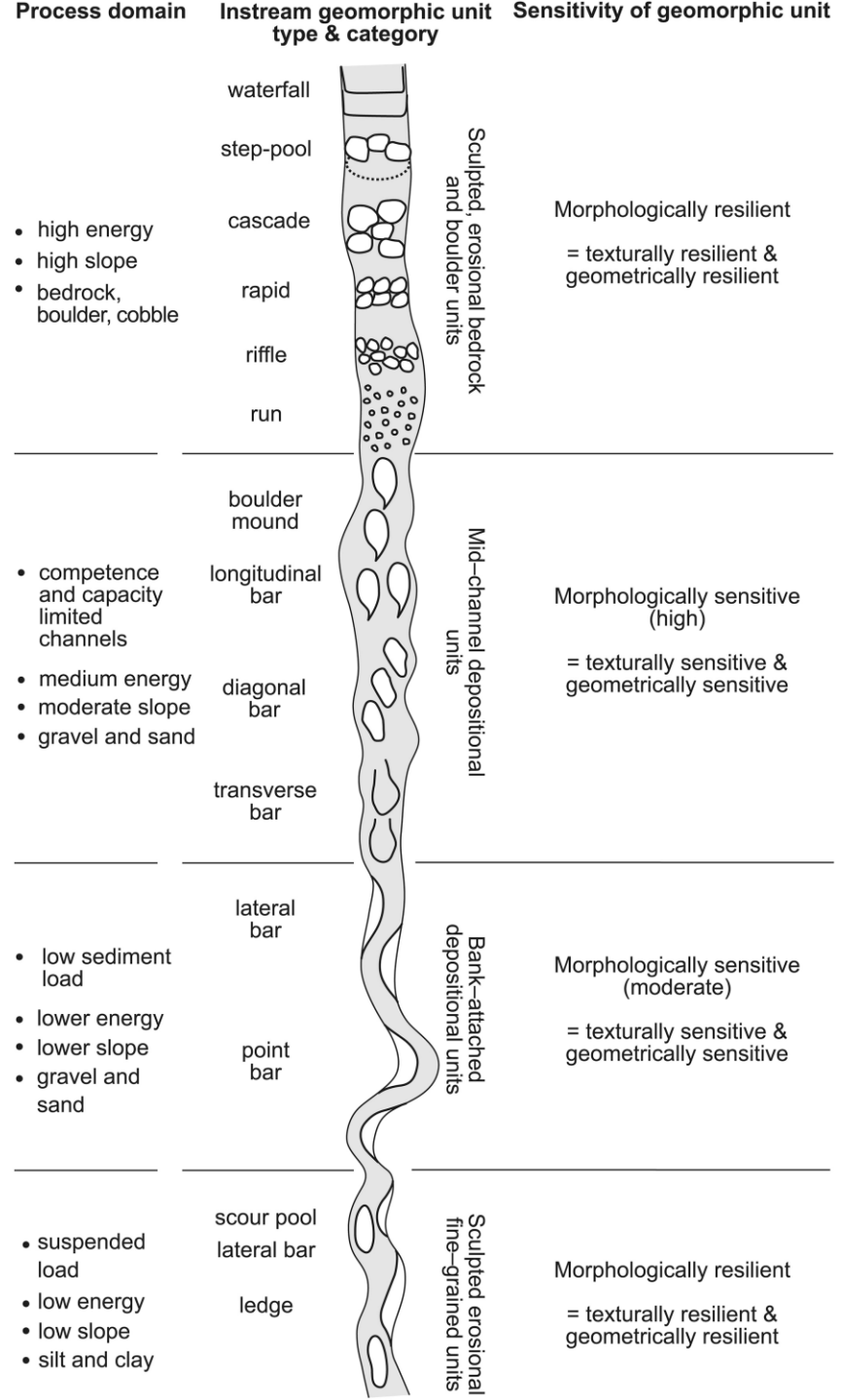


Diffusion dominated	Debris flow dominated	Fluvial					
---------------------	-----------------------	---------	--	--	--	--	--

	Bedrock	Colluvial	Cascade	Step-pool	Plane bed	Pool-riffle	Dune ripple
Typical bed material	Rock	Variable	Boulder	Cobble-boulder	Gravel-cobble	Gravel	Sand
Bedform pattern	Irregular	Variable	Random	Vertically oscillatory	Featureless	Laterally oscillatory	Multilayered
Dominant roughness elements	Boundaries (bed and banks)	Grains	Grains, banks	Bedforms (steps, pools), grains, banks	Grains, banks	Bedforms (bars, pools), grains, banks, sinuosity	Sinuosity, bedforms (bars, ripples, dunes), grains, banks
Dominant sediment sources	Fluvial, hillslope, debris flows	Hillslope, debris flows	Fluvial, hillslope, debris flows	Fluvial, hillslope, debris flows	Fluvial, bank failure, debris flows	Fluvial, bank failure	Fluvial, bank failure
Sediment storage elements	Pockets	Bed	Lee and stoss sides of flow obstructions	Lee and stoss sides of flow obstructions	Overbank	Overbank, bedforms	Overbank, bedforms
Typical confinement	Confined	Confined	Confined	Confined	Variable	Unconfined	Unconfined
Typical pool spacing (channel widths)	Variable	Unknown	<1	1 to 4	None	5 to 7	5 to 7

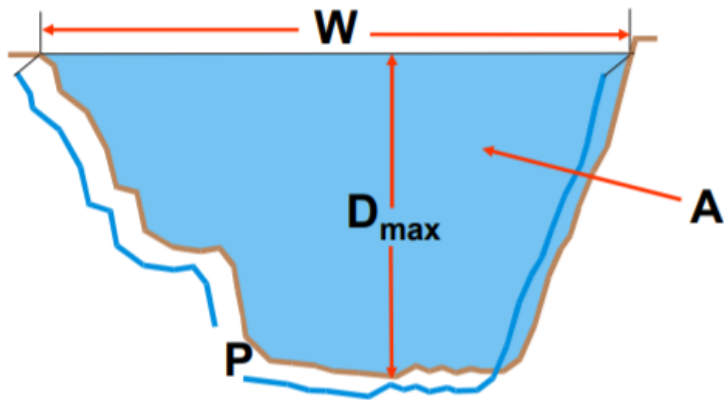






# Geometria idraulica - 1

Le relazioni di geometria idraulica servono per descrivere le variazioni sistematiche della morfologia degli alvei a scala regionale o a scala di sistema fluviale, o per prevedere le dimensioni di alvei stabili



**Bankfull discharge ( $Q$ ):** portata ad alveo pieno, cioè la massima portata che può essere contenuta all'interno di un alveo

**Bankfull stage:** Livello ad alveo pieno, livello idrometrico associato portata ad alveo pieno

Per descrivere variazioni sistematiche a scala di sistema fluviale o per confrontare corsi d'acqua diversi, si usa la portata e l'altezza idrometrica

=>riferimento per definire le dimensioni dell'alveo, in quanto in corsi d'acqua naturali le portate sono estremamente variabili

- La frequenza del bakfull pieno, secondo stime sperimentali ha un range di variazione tra 1 e 32 anni (Hey, 1975)
- È un concetto che serve per descrivere il comportamento delle portate più importanti di un fiume dal punto di vista del trasporto di sedimento. Utile per monitoraggio e rilevamento
- **Morfologia:**
  - piana inondabile: passaggio brusco trala scarpata e la superficie pianeggiante
  - Sommità delle barre di meandro
- **Sedimentologia:**
  - tessitura dei sedimenti (tracimazione, con sedimenti fini)
- **Vegetazione:**
  - Presenza di vegetazione arborea

Si usa preferibilmente la seguente definizione:

Livello ad alveo pieno: massima portata che può essere contenuta all'interno dell'alveo senza che superi le sponde

Quali sono le portate più efficaci per conferire la forma e le dimensioni ad un alveo?

Portate estreme meno frequenti o portate più basse, ma con frequenza maggiore?

# Portata efficace e dominante

- La portata efficace (Wolman & Miller, 1960), o *effective discharge*, indica quella più utile a creare modificazioni morfologiche. Trasporta più sedimenti in un intervallo di tempo sufficientemente ampio
- La portata efficace è associata a condizioni intermedie, con tempi di ritorno da 1 a 3 anni.
- La portata dominante cerca di quantificare i processi responsabili della forma e della dimensione dell'alveo. Ottima per corsi d'acqua confinato o semiconfinati ad elevata energia, alvei instabili, alvei con morfologie a canali intrecciati o transizionali (*wandering*)

# Geometria idraulica

- La geometria idraulica controlla la portata , la resistenza al flusso, la velocità della corrente.

$$Q = wdv$$

- $Q$  è portata ( $m^3/s$ ),  $w$  è la larghezza della corrente (m),  $d$  è la profondità media (m),  $v$  la velocità media nella sezione del corso d'acqua (m/s)
- È una misura della portata in una sezione del corso d'acqua
- Si può aggiungere il fattore scabrezza (*roughness*) di Manning alle formule

$$Q = wdv = (aQ^b)(cQ^f)(kQ^m)$$

# Conseguenze

- C'è una tendenza a stabilire una sorta di stato stazionario tra la portata dominante e il carico sedimentario
- Verso valle, la larghezza, profondità e velocità aumentano regolarmente con l'aumentare della portata
- In generale, la velocità media e il rapporto larghezza/profondità ( $w/d$ ) incrementano verso valle con l'aumento della portata
- Ad ogni variazione di una delle componenti (larghezza, profondità, velocità), cambiano anche le altre due per compensazione

- Variazioni nei regimi idrologici possono portare alla cosiddetta metamorfosi fluviale (Schumm), con modificazione completa della forma dei canali (decine o centinaia di anni)
- I canali artificiali non hanno variazioni di sezione e profilo



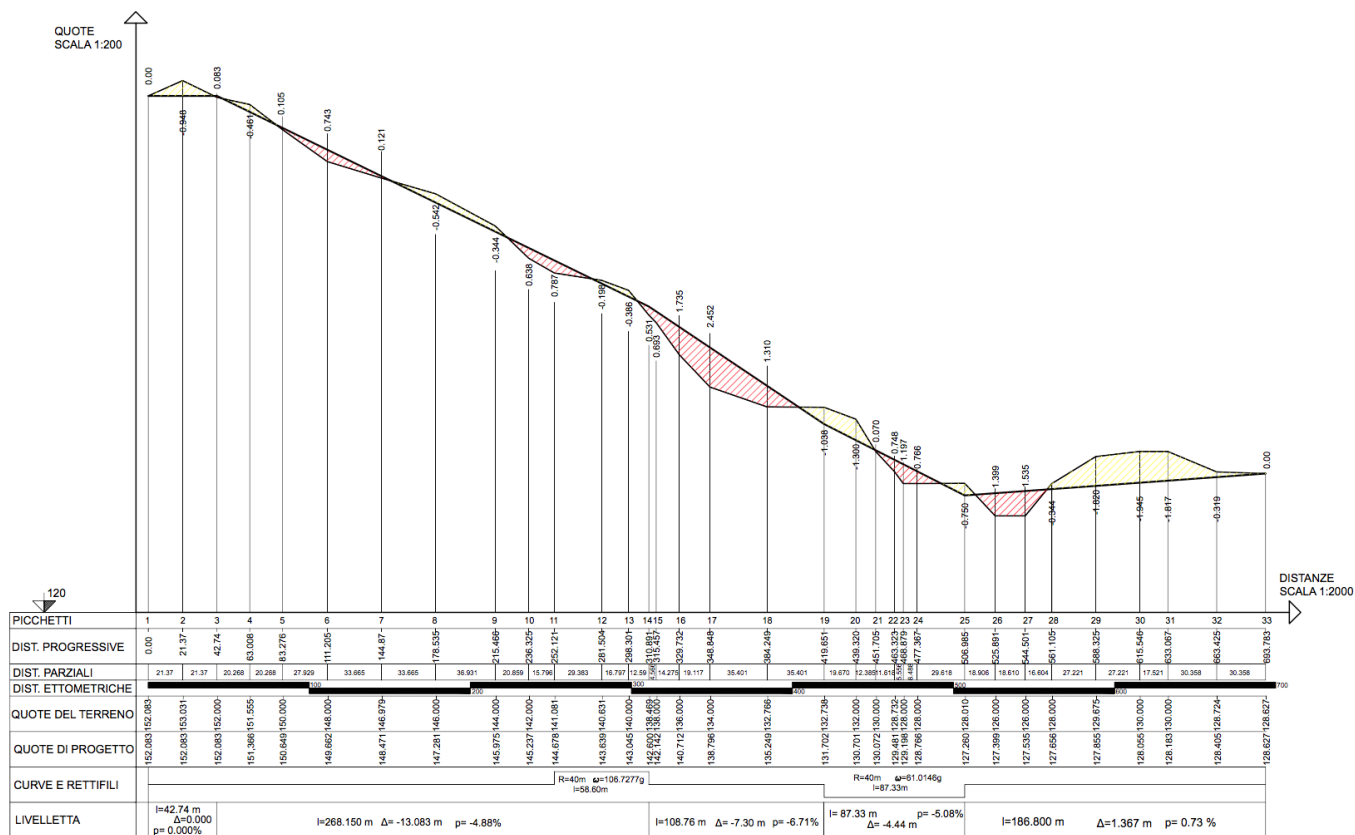


# Il livello di base

E il profilo longitudinale dei corsi d'acqua

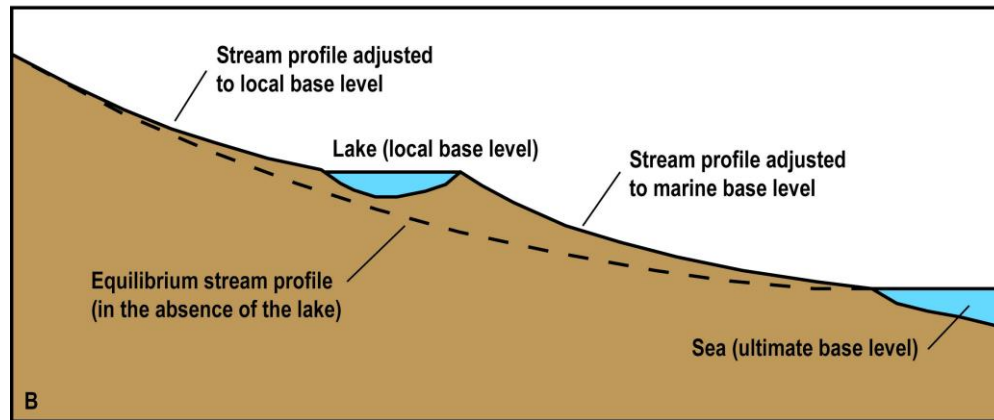
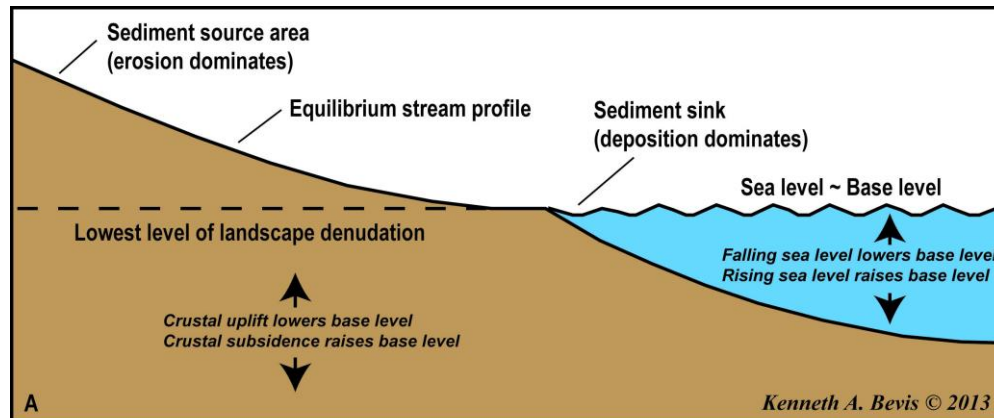
# Profilo longitudinale

- Il **profilo longitudinale** di un corso d'acqua è il gradiente della sua tavola d'acqua dalla sorgente alla foce

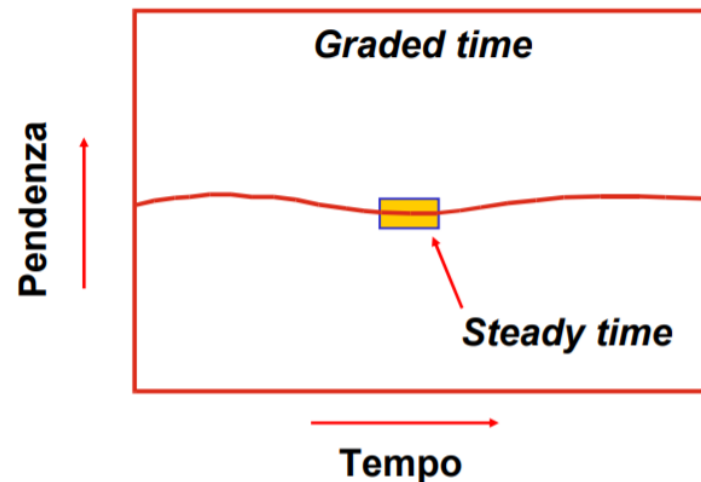
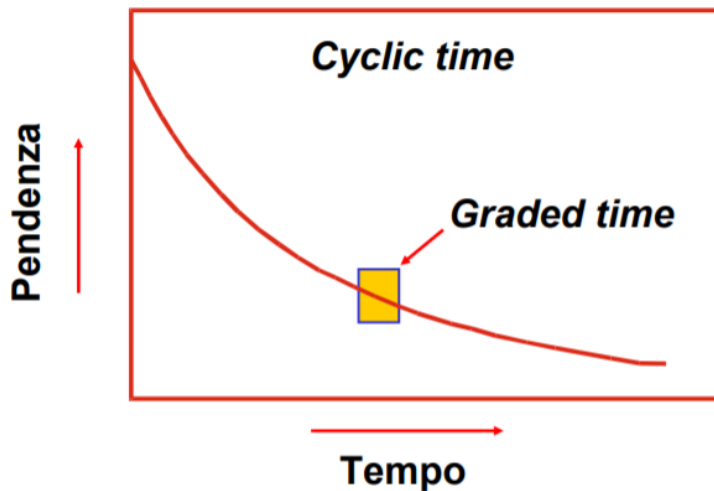


# Livello di base

- È la quota più bassa alla quale è attiva l'erosione verticale di un corso d'acqua (livello del mare, laghi, ecc)

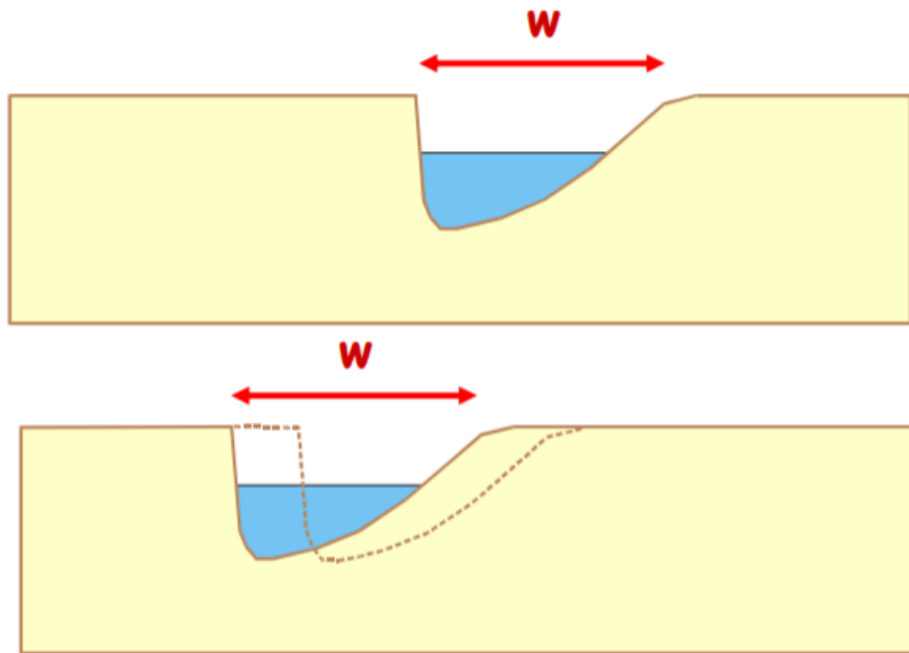


- Un profilo regolarizzato (graded) descrive le caratteristiche morfologiche. In questo tratto si attivano quasi solamente processi di trasporto
- Si tratta di sistemi in equilibrio, o quasi-equilibrio
- Ogni modificazione viene assorbita dal sistema
- Forma concave verso l'alto



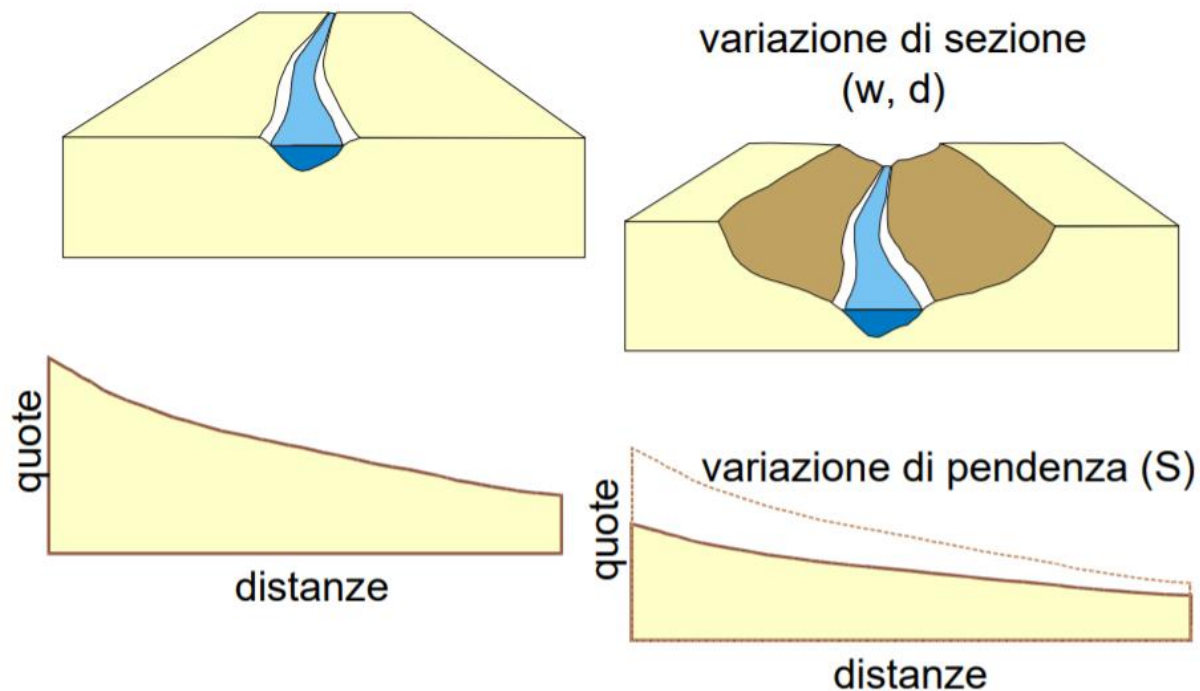
# Fiume in equilibrio dinamico

- Corso d'acqua che, in 10/20 anni, pur modificando il tracciato mantiene invariata la forma (pendenza, larghezza, profondità, sinuosità, ecc), ovvero la forma è in equilibrio dinamico











# Corso d'acqua instabile

- Nella scala di 10/20 anni varia sensibilmente la forma

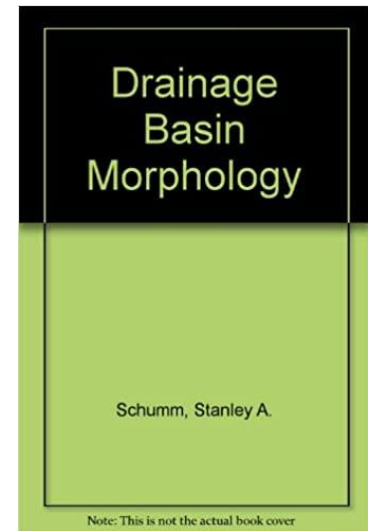


# Tipi di modificazioni

Types of change	Proportion on River Dane
Migration 	14 %
Confined migration 	11 %
Growth 	15 %
Lobing 	5 %
Double heading 	
New bends 	5 %
Retraction 	5 %
Cut off 	
Complex changes, island formation, abandonment and small irregular movements	18 %
Stable bends, no changes	24 %

**Tipi principali di variazioni (Hooke & Harvey, 1983)**

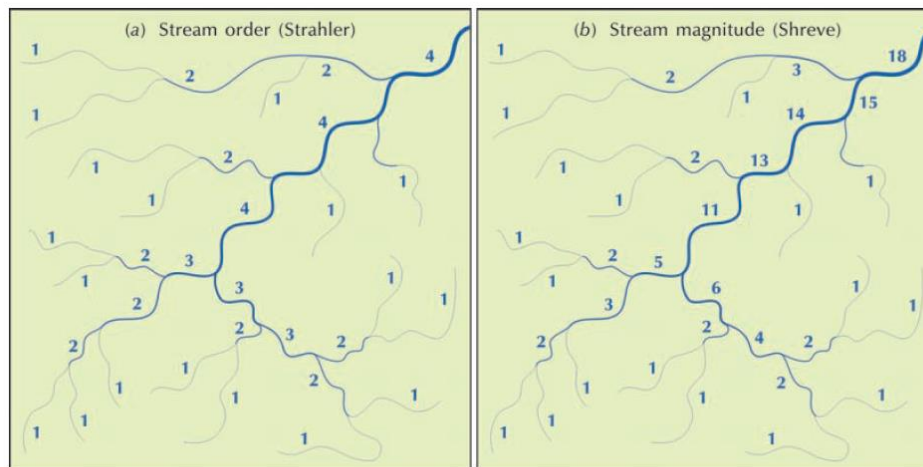
# Bacini di drenaggio





# Bacini di drenaggio (*drainage basin*)

- Un sistema fluviale può essere considerato un network nel quale i nodi della rete sono collegamenti tra corsi distinti
- Si utilizza un ordine dei corsi d'acqua per stabilire una gerarchia tra segmenti di deflusso e permette di classificare il bacino rispetto alle dimensioni



**Figure 9.13** Stream ordering. (a) Strahler's system. (b) Shreve's system.

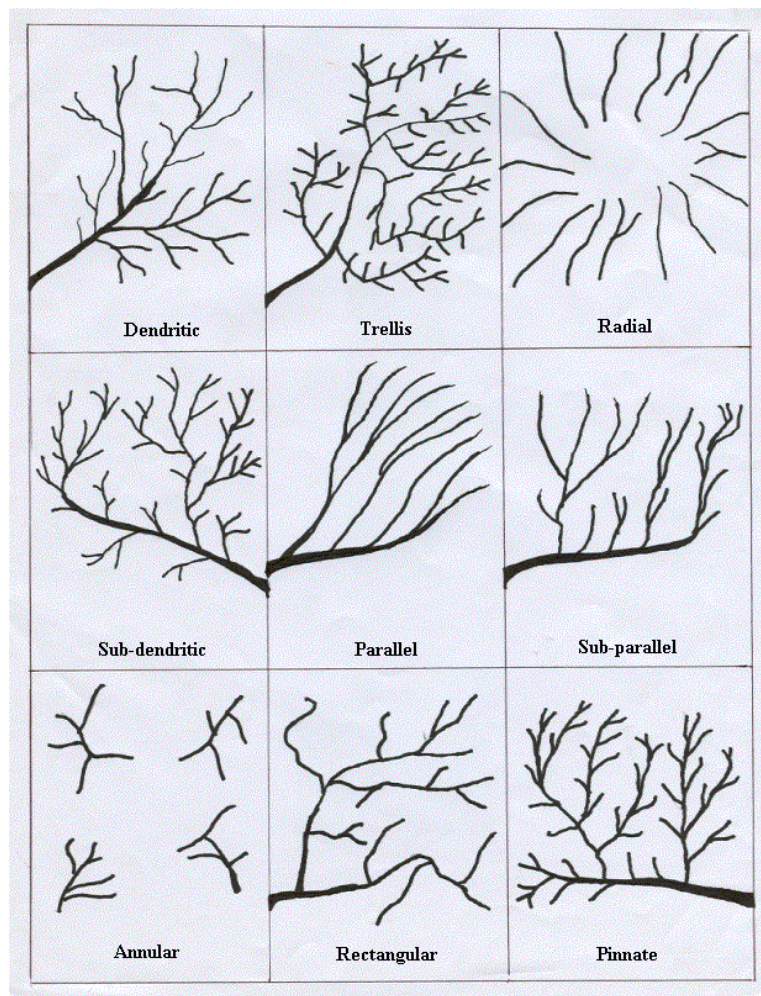
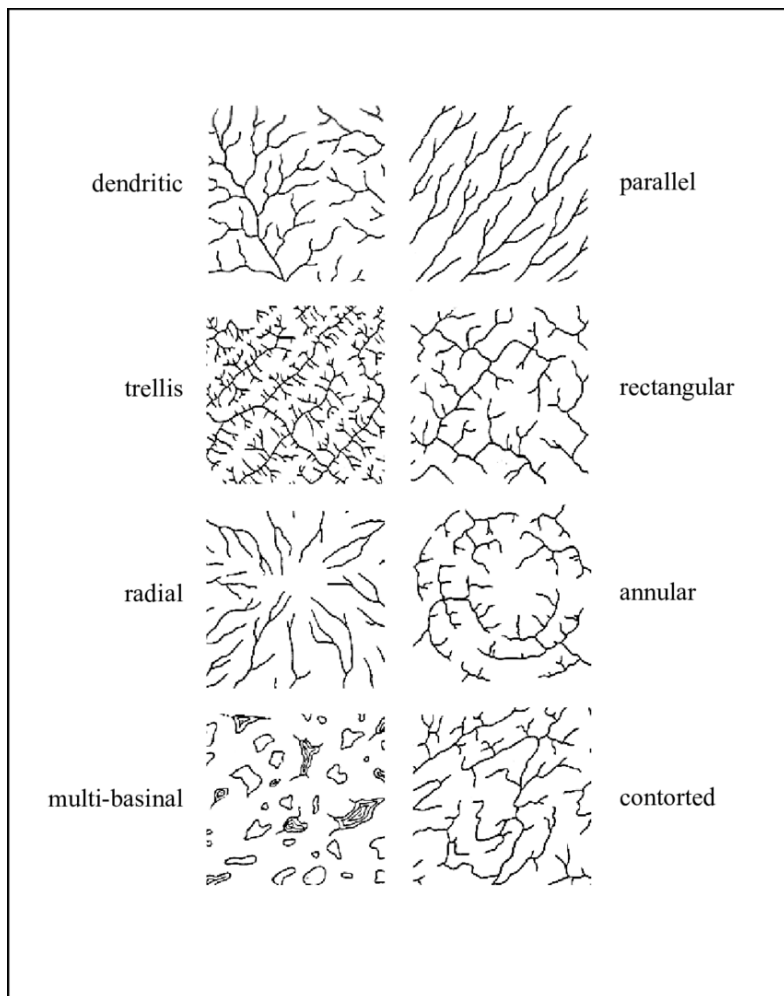
# Parametri morfometrici di bacini di drenaggio

**Table 9.3** Selected morphometric properties of stream networks and drainage basins

Property	Symbol	Definition
<b>Network properties</b>		
Drainage density	$D$	Mean length of stream channels per unit area
Stream frequency	$F$	Number of stream segments per unit area
Length of overland flow	$L_g$	The mean upslope distance from channels to watershed
<b>Areal properties</b>		
Texture ratio	$T$	The number of crenulations in the basin contour having the maximum number of crenulations divided by the basin perimeter length. Usually bears a strong relationship to drainage density
Circulatory ratio perimeter	$C$	Basin area divided by the area of a circle with the same basin
Elongation ratio	$E$	Diameter of circle with the same area as the drainage basin divided by the maximum length of the drainage basin
Lemniscate ratio	$k$	The square of basin length divided by four times the basin area
<b>Relief properties</b>		
Basin relief	$H$	Elevational difference between the highest and lowest points in the basin
Relative relief	$R_{hp}$	Basin relief divided by the basin perimeter
Relief ratio	$R_h$	Basin relief divided by the maximum basin length
Ruggedness number	$N$	The product of basin relief and drainage density

Source: Adapted from Huggett and Cheesman (2002, 98)

# Tipi di reticolo di drenaggio



Note: The classes are not mutually exclusive. Thus a deranged drainage pattern may include many examples of centripetal drainage.

Drainage Type	Form	Cause	Examples
Deranged	Drainage not coordinated—numerous local drainage basins and lakes.	Blocking of older drainage by till, moraines, etc. Insufficient time for coordination since the present drainage system came into existence.	Canadian Shield, and Siberian tundra landscapes.
Centripetal	Drainage converging on the centers of inland drainage basins ("arctic drainage," i.e., no systematic stream systems).	Constructional land forms containing small basins. Insufficient time or rainfall or surface runoff to produce coordination of drainage; as in deserts, volcanic craters, calderas, meteor craters, kettle-holes, cryptovolcanic depressions.	Arid areas, e.g. parts of California or New Mexico, or in karst or deranged areas of drainage.
Karst	Numerous sinkholes, few surface streams ("cryptorheic drainage," i.e., underground).	Solution of the underlying limestone causing the drainage to move underground. (See also under "Centripetal")	Dinaric belt, Yugoslavia; Mammoth Cave area, Kentucky. Karst regions, in general.
Dendritic	Random pattern of branching; integrated streams.	No structural control, e.g., where sediments are flat lying, or possess homogeneous lithology, e.g., loess, tuff.	Very widespread in Great Plains of North America; concentrated examples in <i>Badlands</i> (q.v.), e.g., South Dakota.
Parallel	Regularly spaced in parallel or subparallel streams.	Pronounced slope or structural controls (hard and soft rocks, faults and monoclinical or isoclinal folds).	Rare, Mesa Verde National Park, Colorado; other regions of plateaus with monoclinical warps.
Trellis	One dominant direction with a subsidiary direction of drainage at right angles to it linking up the main streams.	Tilted or folded alternating hard and soft sedimentary rocks.	Folded Appalachians, Ridge and Valley Province; Jura Mountains of France and Switzerland.
Annular	Circular drainage patterns linked by one radial stream.	Dome in alternating hard and soft sedimentary rocks.	Black Hills of South Dakota.
Rectangular	Drainage in two directions at right angles, both equally developed.	} Joint or fault control in otherwise homogeneous strata.	Adirondack Mountains, N.Y.
Angulate (Rhombohedral)	Drainage equally developed in two directions meeting at acute and obtuse angles.		Fjords of Norway and Scotland; rejuvenated shield areas.
Barbed	The stream bends abruptly back to flow in the reverse direction, with "boat hook" bends.	River capture, glacial diversion or tectonic diversion.	Maumee River, Fort Wayne, Indiana; eastern Australia; New Zealand.
Radial	Streams radiating out from a common center.	Volcanic cones; domes in relatively homogeneous strata.	Mt. Rainier, etc.; Lake District of England. Some salt domes, e.g., Avery Dome, La.
Complex	Drainage obviously structurally controlled but not falling into one of the other groups.	Very complicated geological structure or geomorphological history.	Laurentian Mountains, Quebec.

# Reticoli di drenaggio anomali

Network anomali

# Deviazioni fluviali

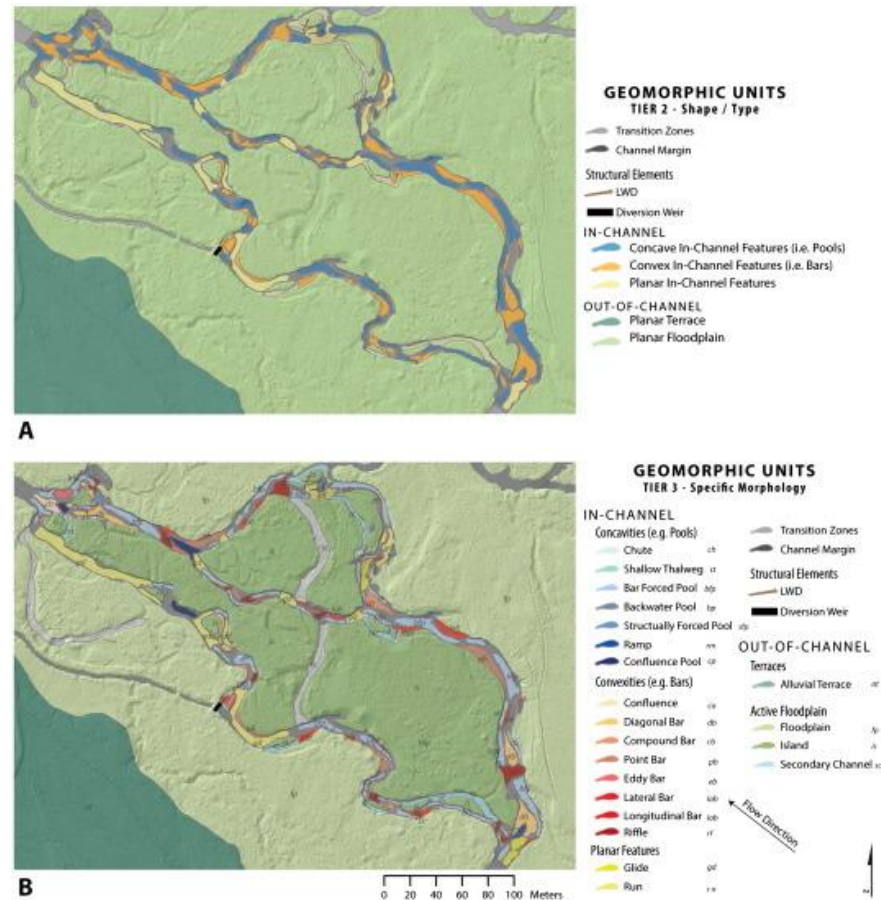
- Le deviazioni fluviali possono essere causate da processi glaciali, faglie, flussi di lava, ecc

Deviazioni per cause tettoniche

Deviazioni per sedimentazione fluviale

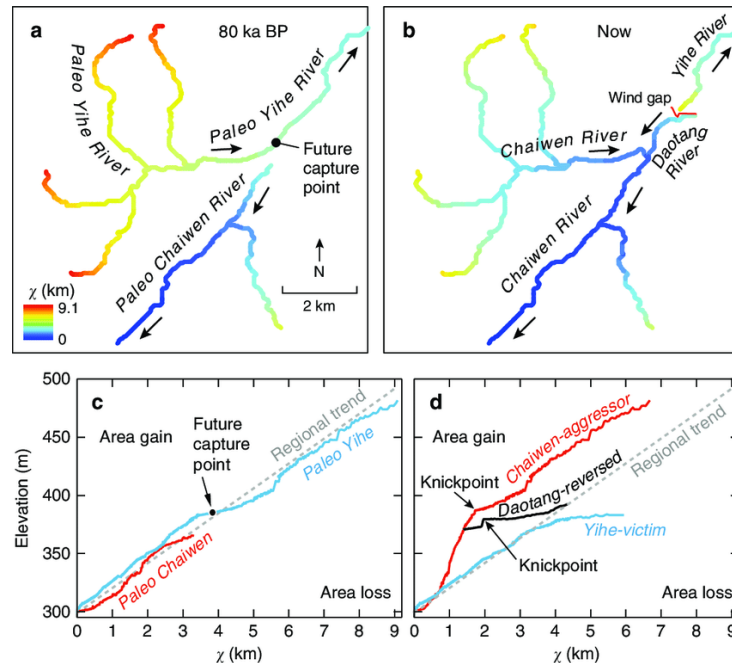
Deviazione per fenomeni erosivi

Deviazioni per fenomeni di sbarramento



# Catture fluviali

- Modelli di drenaggio a traliccio, che sono caratteristici di catene a pieghe, sono il risultato della cattura di corsi d'acqua.
- La cattura è spesso mostrata da bruschi cambiamenti nel flusso.



# Fiumi conseguenti, antecedenti, sovrimposti, subsequenti

- **Consequente:** E' la relazione più semplice tra lo sviluppo di un canale e la struttura sottostante. Segue il pendio originario. Si formano per primi su una superficie appena sollevata. Molti canali rimangono tali durante tutta la loro evoluzione
- **Subsequenti:** Si chiamano così i corsi d'acqua che si formano lungo linee di debolezza. Possono impostarsi su affioramenti di rocce «tenere», in zone di faglia o fratture. I corsi d'acqua di questo tipo spesso hanno direzioni ad angolo retto o deviano improvvisamente
- **Antecedenti:** la corrente può mantenere il suo percorso anche durante un sollevamento tettonico, se questo è molto lento. Il corso d'acqua era presente già prima del sollevamento, per questo si chiama antecedente.
- **Sovrimposti:** Un corso d'acqua che, a causa del sollevamento tettonico, si approfondisce in una successione sedimentaria sovrapposta a terreni con diverso assetto strutturale. Il percorso può non avere alcuna relazione con l'assetto strutturale del substrato



# Le valli fluviali

# Cosa sono?

- Sono definite come depressioni molto più lunghe che larghe con il fondo che si abbassa verso il basso
- In alcuni casi particolari, le valli possono essere a fondo piatto o alzarsi di quota per alcuni tratti (valli glaciali)
- Possono avere nomi specifici: calanchi (*gullies*), stretta, gola, ravina, arroyo, forra, canyon, glen, vallate (*dale*), ecc
- Di norma le valli sono create dall'erosione fluviale, spesso in congiunzione con processi tettonici o erosione glaciale.
- Alcune valli si chiamano così ma sono di origine quasi interamente tettonica (*Death Valley*) e seguono l'andamento delle precedenti strutture tettoniche su cui si sono impostate linee di deflusso idrico

# Le acque incanalate

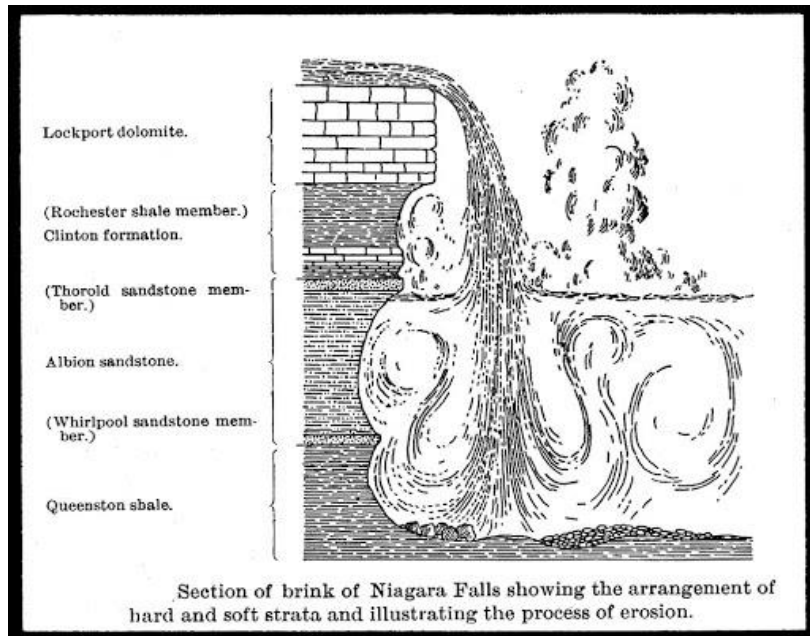
- A differenza del ruscellamento, i corsi d'acqua sono confinati all'interno di canali (alvei)
- Anche con pendenze, e quindi gradienti, debolissimi, la gravità riesce a superare gli attriti e muovere le acque verso il basso
- Tranne in rare circostanze, il movimento è irregolare e variabile, con velocità e direzioni variabili nelle varie parti del corso d'acqua, a causa dell'attrito

# Azione dell'acqua nella valle

- Come i fiumi, le valli creano dei network di valli principali e tributarie. L'acqua le allunga, approfondisce ed allarga
  - Approfondimento: Azione idraulica, degradazione (*weathering*), abrasione, corrosione, eversione, ecc
  - Allargamento: erosione laterale, frane
  - Allungamento: erosione sulle cascate (*knickpoints*), meandreggiamento, creazione dei delta

# Propagazione regressiva dell'erosione

- L'approfondimento di un letto fortemente inclinato provoca una diminuzione del dislivello rispetto il tratto a valle e l'aumento del dislivello verso monte
- =>l'erosione si propaga verso monte, a valle un nuovo alveo a minor pendenza non soggetto ad erosione. IL processo è detto: **EROSIONE FLUVIALE REGRESSIVA**

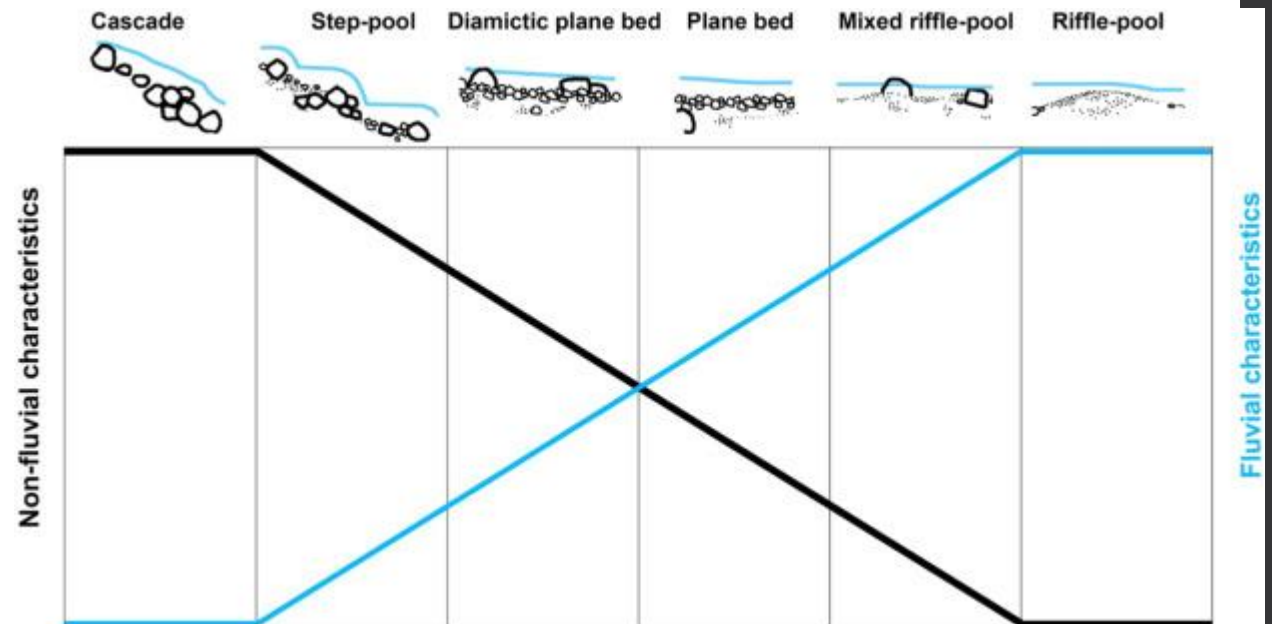


# Forme fluviali deposizionali

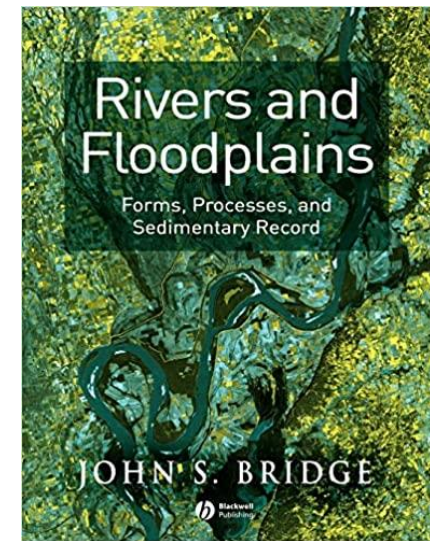
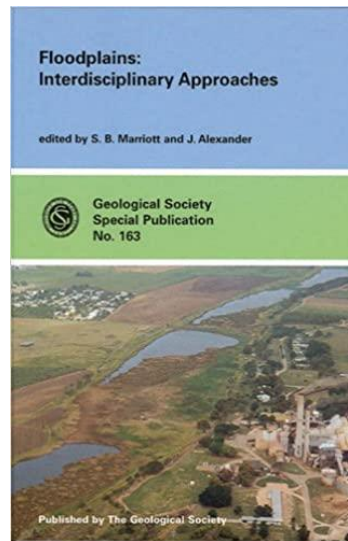
# Forme dei letti alluvionali

- Gli alvei dei fiumi sviluppano una varietà di forme create dalla turbolenza associata a distribuzioni irregolari di velocità trasversali e verticali che alternativamente erodono o depositano sedimenti.
- Le forme sono sequenze di **riffle-pools** e sequenze **ripple-antidune**.
- Nei corsi d'acqua molto pendenti, salti e cascate si alternano a polle che creano sequenze di pozze di polle in cui la forma massimizza la resistenza al flusso della corrente;
- la massima resistenza al flusso sembra sia legata a gradini regolarmente distanziati e con pendenza media del gradino che supera leggermente la pendenza del canale

- Chin (2002) sostiene che i salti potrebbero essere l'analogo dei meandri nella dimensione verticale e si formerebbero perché un corso d'acqua di montagna, non essendo in grado di regolare il dispendio energetico nella dimensione piana come il meandro, regola l'energia in verticale per produrre forme in materiale ghiaioso lungo il canale che poi si uniscono a sequenze di riffle-pool verso valle.







# Le piane alluvionali

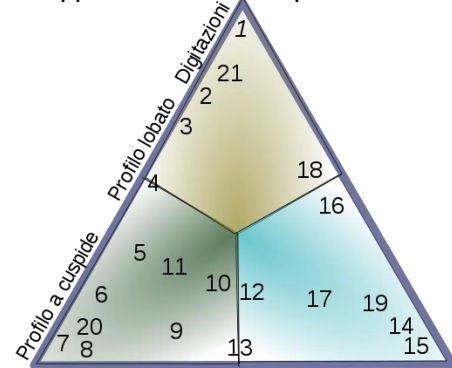
# Piana alluvionale

- A parte i fiumi di montagna, la maggior parte dei corsi d'acqua è fiancheggiato da una zona pianeggiante denominata **piana fluviale**, che si forma per deposizione dopo la piena fluviale (**piano di esondazione**). Se coalescenti, **pianura alluvionale**
- Le dimensioni della pianura alluvionale è più o meno proporzionale alla portata del fiume. La loro pendenza è in generale regolata dalla pendenza del corso d'acqua
  - *Pianure costiere* (pianure di livello di base, deltizie)-regolate del livello marino
  - *Pianure pedemontane* (dislivelli più marcati, es 5 permille, presenza di terrazzi, conoidi alluvionali)
  - *Pianure intravallive* (pianure che si allargano nelle valli)
  - *Bacini intermontani* (possono essere di origine tettonica)

# Piana deltizia

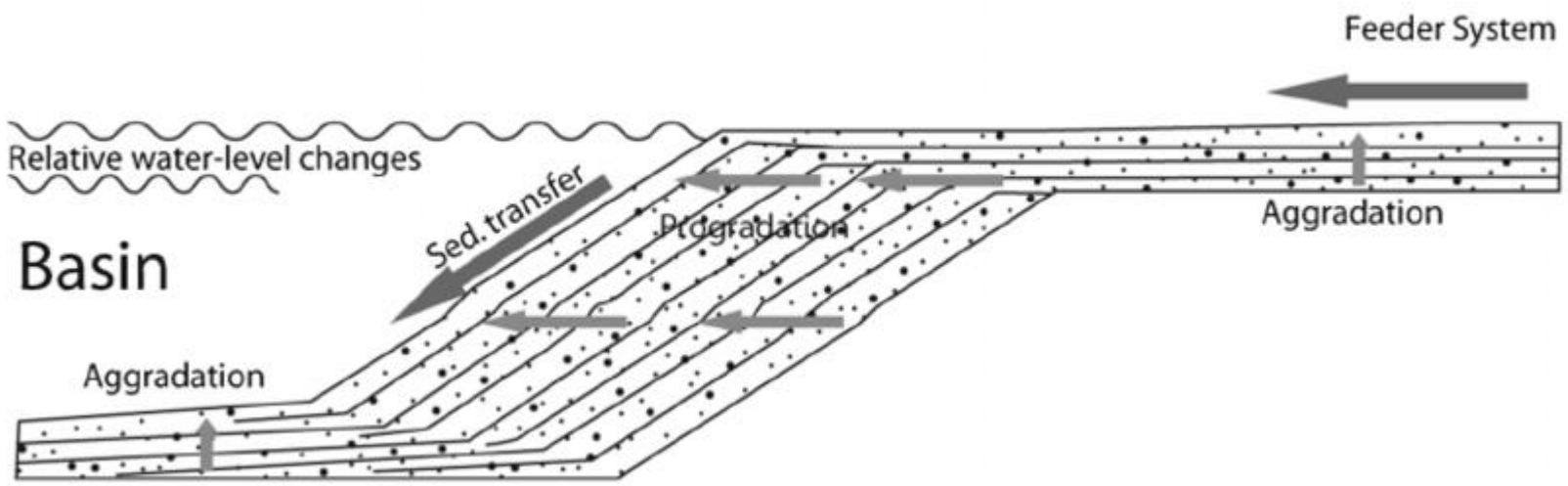


Processi fluviali  
Apporto sedimentario predominante



- |               |  |                      |              |
|---------------|--|----------------------|--------------|
| <b>Moto</b>   | 1 Mississippi (attuale)                  | 2 Po                 | <b>Marea</b> |
| <b>Ondoso</b> | 3 Danubio                                | 4 Ebro               |              |
|               | 5 Nilo                                   | 6 Rodano             |              |
|               | 7 Sao Francisco                          | 8 Senegal            |              |
|               | 9 Burdekin                               | 10 Niger             |              |
|               | 11 Orinoco                               | 12 Mekong            |              |
|               | 13 Copper                                | 14 Gange-Brahmaputra |              |
|               | 15 Klang-Langat                          | 16 Mahakam           |              |
|               | 17 Colorado                              | 18 Yukon             |              |
|               | 19 Fly River                             | 20 Brazos            |              |
|               | 21 S. Bernard Lobe (Vecchio Mississippi) |                      |              |

Classificazione dei delta, secondo il modello deposizionale dominante (Galloway, 1975)



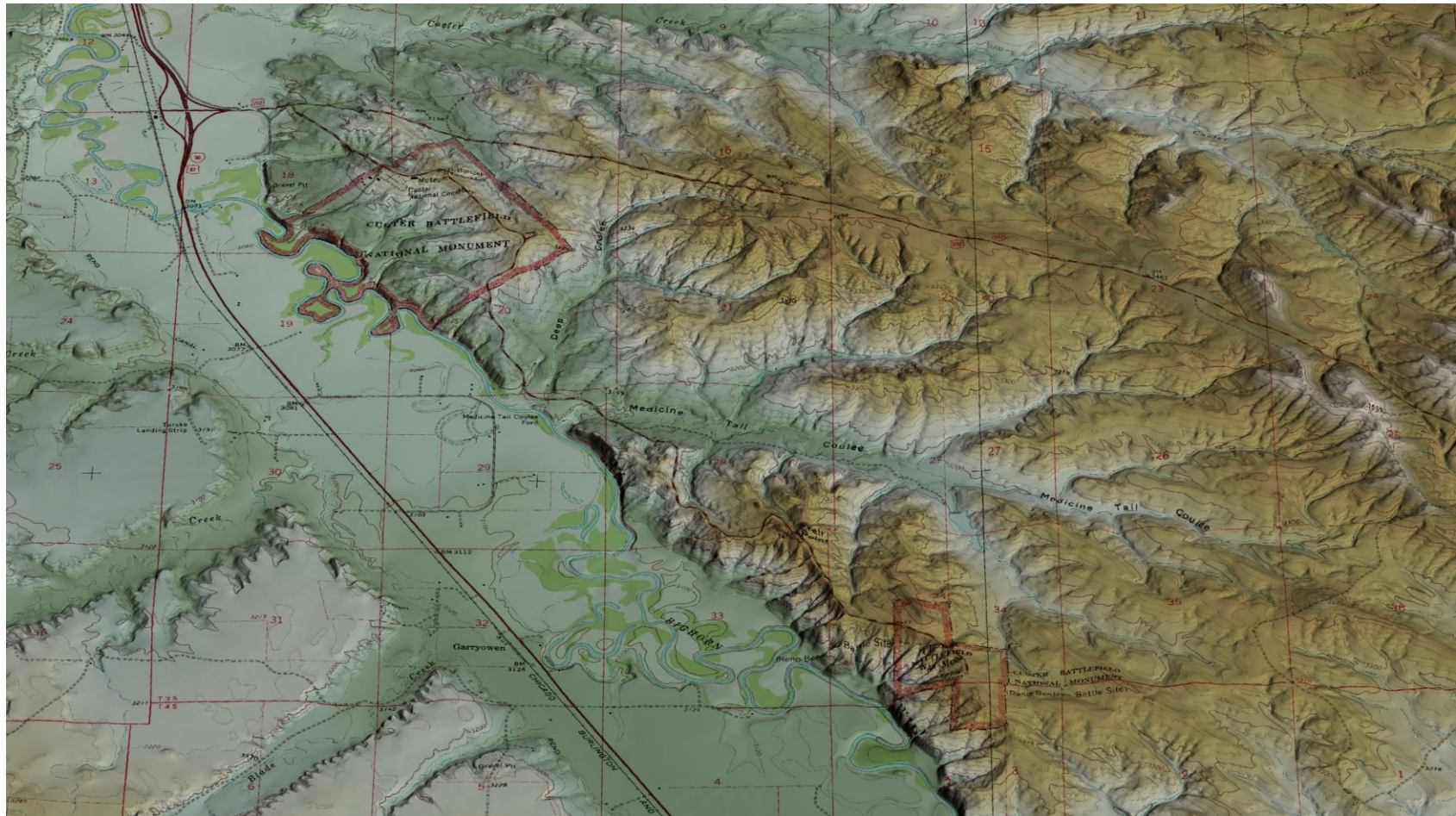
# Pianura pedemontana



# Pianura intravalliva



# Bacino intermontano





# Conoidi alluvionali

# Conoidi alluvionali

- Le conoidi alluvionali sono forme convesse che si aprono a ventaglio allo sbocco dei corsi d'acqua nella pianura
- Il deposito alluvionale parte dall'apice della conoide (*fan apex*)
- I canali sono più profondi all'apice e meno profondi verso valle
  
- Un tempo si credeva che la deposizione fosse indotta dalla rottura di pendenza all'apice. Si è dimostrato che ciò non è generalmente vero.
- La pendenza dipende dal tipo di materiale e le dimensioni del corso d'acqua



# Es. conoide

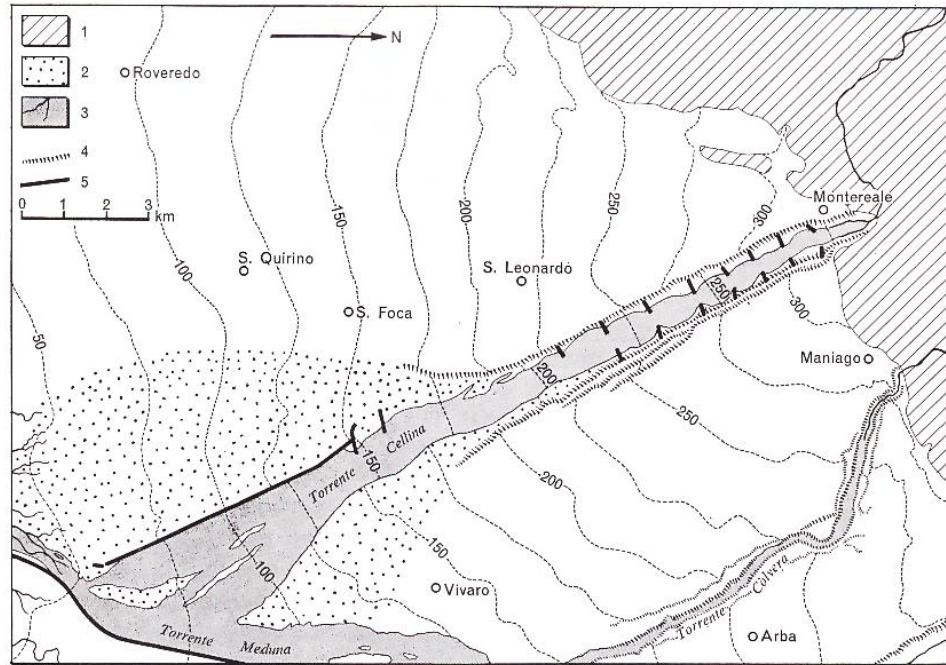
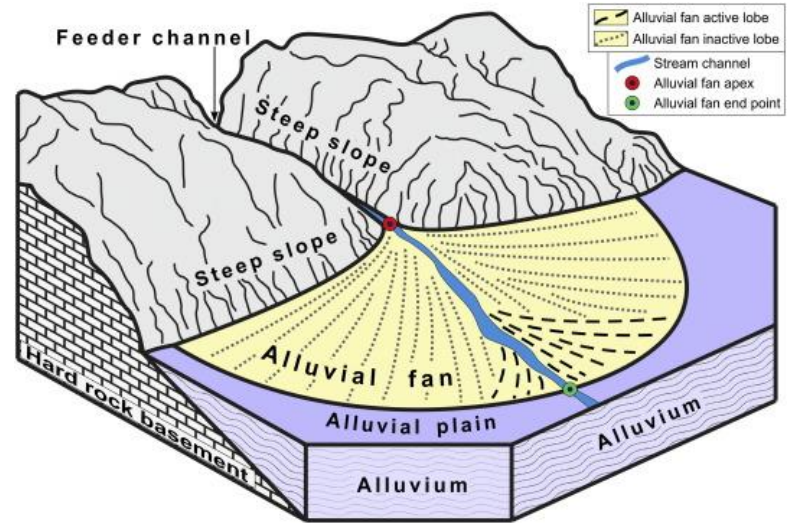


Fig. 6.12. Una conoide alluvionale in parte terrazzata: la conoide del Cellina nella pianura pedemontana del Friuli.

1. Rilevi delle Prealpi; 2. Parte della conoide di costruzione recente, non terrazzata; 3. Alvei torrentizi; 4. Scarpata di terrazzo; 5. Argini artificiali.

Da: Castiglioni, 1992. Geomorfologia

# Esempi di conoide



# Differenza tra cono di versante e conoide alluvionale

	Parametro	Cono di versante	Conoide alluvionale
1	Acclività	<i>Più o meno elevata</i>	<i>Scarsa</i>
2	Distribuzione delle dimensioni dei clasti	<i>Granulometria aumenta verso la base</i>	<i>La granulometria diminuisce verso la base</i>
3	Varietà litologica dei detriti	<i>Scarsa</i>	<i>Generalmente abbondante</i>
4	Arrotondamento dei detriti	<i>Nulla</i>	<i>Generalmente accentuato</i>
5	Contenuto in argilla	<i>Generalmente scarso o assente</i>	<i>Può essere elevato</i>
6	Stratificazione	<i>Assente</i>	<i>Presente</i>
7	Distribuzione dello spessore	<i>Maggiore verso la base</i>	<i>Generalmente la parte più spessa è quella medio-superiore</i>

# Terrazzi fluviali

# Terrazzi fluviali

- I terrazzi sono superfici pianeggianti delimitate da scarpate. Quelli fluviali sono vecchie superfici di origine fluviale, mentre le scarpate risultano dal successivo intaglio



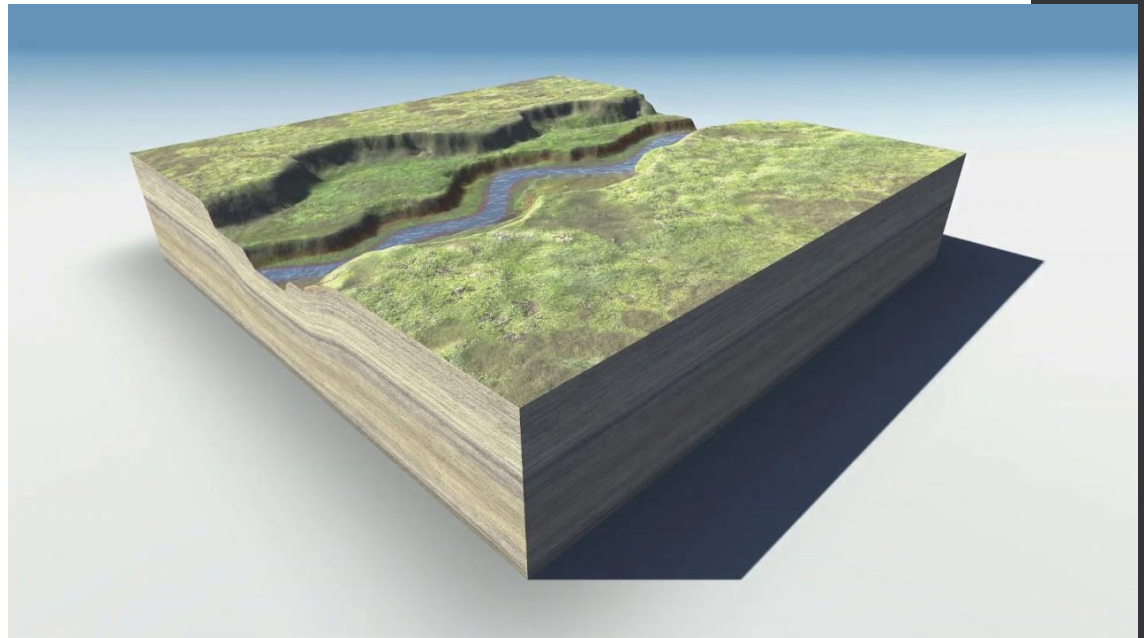
# Terrazzi in roccia e alluvionali

- Alvei resistenti in strati orizzontali possono produrre aree pianeggianti sui versanti della valle (rimuovere eventuali controlli strutturali)
- I terrazzi fluviali si abbassano verso valle, ma non necessariamente come l'apianura alluvionale attiva.
- I terrazzi accoppiati si formano dove l'incisione del fiume è più veloce della migrazione laterale del canale del fiume.
- Le terrazze spaiate si formano dove il canale si sposta lateralmente più velocemente di quanto non incida, il fiume incide i terrazzi su ciascun lato della valle.
- Esistono due tipi principali di terrazzi fluviali che corrispondono a due tipi di fondovalle: **terrazzi di roccia** e **terrazzi alluvionali**.

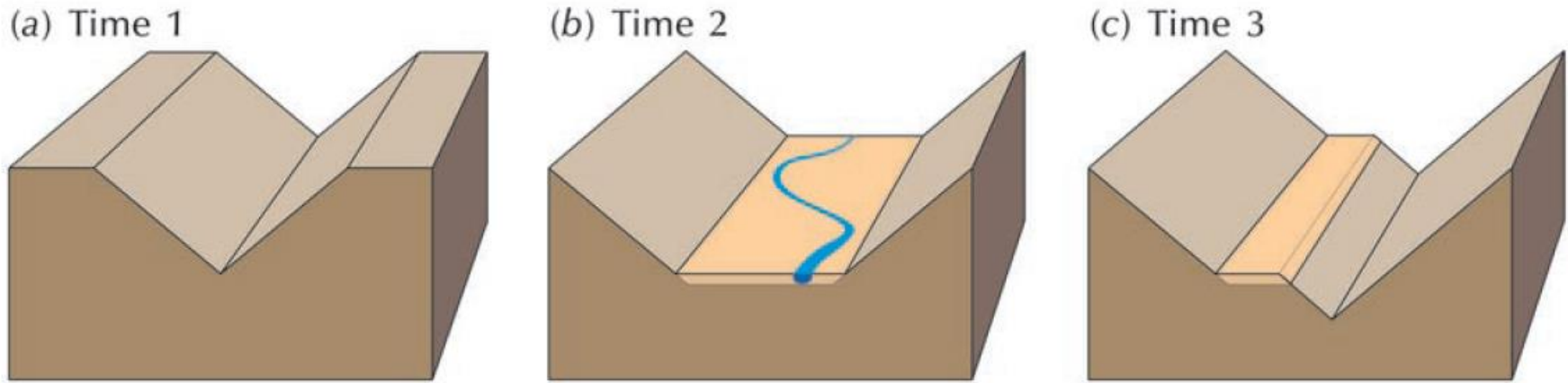
- Utili per ricostruire di antiche situazioni morfologiche
- Relazioni, depositi lacustri, forme di versante, terrazzi fluvio-glaciali, depositi glaciali, con terrazzi marini
- Di base, i terrazzi più alti sono quelli più antichi

NB: La continuità morfologica di una superficie di accumulazione non significa che si sia formata contemporaneamente in tutte le sue parti:

in alcune parti il corso d'acqua poteva già incidere



# Esempio di evoluzione



**Figure 9.24** Strath (bedrock) terrace formation. (a) Original V-shaped valley cut in bedrock. (b) Lateral erosion cuts a rock-floored terrace. (c) Renewed incision cuts through the floor of the terrace.

Quattro gruppi di processi promuovono la formazione di terrazzi fluviali:

- (1) *movimento crostale, in particolare movimenti tettonici e isostatici;*
- (2) *cambiamenti del livello del mare eustatico;*
- (3) *cambiamenti climatici;*
- (4) *cattura del flusso.*

In molti casi, questi fattori funzionano in combinazione.

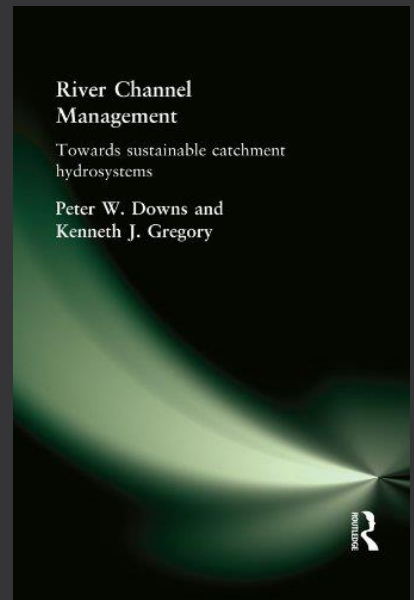


# Terrazzi nella pianura friulana

# Terrazzi in Georgia (fiume Kura)



# Impatto geomorfologico dell'uomo sui sistemi fluviali



- Attività agricole, minerarie e urbanizzazione hanno causato modificazioni nei corsi d'acqua nel corso della storia, ad esempio:
  - aumento del flusso di sedimenti fluviali;
  - effetto delle dighe sul flusso dei corsi d'acqua, sul trasferimento dei sedimenti e sui canali;
  - modifica e gestione del fiume.



# Aumento della produzione di sedimenti

- Le attività agricole, attraverso la modificazione dell'uso del suolo, accelerano l'erosione da dieci a cento volte, mediante incremento dei processi fluviali ed eolici.
- Gran parte di questi sedimenti sono immagazzinati nel sistema fluviale, in particolare nei canali, dietro le dighe o come depositi alluvionali e colluviali.
- Secondo Trimble (1999), con lo sviluppo di migliori pratiche di conservazione del suolo, è probabile che l'erosione indotta dall'uomo sia inferiore rispetto a diversi decenni fa
- Stallard (1998) ha quantificato in **24-64 miliardi di tonnellate** all'anno la produzione di sedimenti, a seconda dello scenario utilizzato (Stallard 1998); Smith et al. (2001) hanno calcolato che ogni anno si muovono fino a **200 miliardi di tonnellate** di sedimenti (Smith et al. 2001).

# Dighe

- Le dighe impongono cambiamenti nel flusso di corrente e nel trasferimento di sedimenti.
- Uno studio degli impatti di 633 dei più grandi bacini idrici del mondo (con una capacità di stoccaggio massima di  $0,5 \text{ km}^3$  o più) e dei potenziali impatti dei restanti > 44.000 bacini idrici più piccoli rivela la forte influenza delle dighe sul flusso di corrente e sul flusso di sedimenti (Vörösmarty et al. 2003).



# Modificazioni e gestione dei corsi d'acqua

- Molti fiumi europei sono entità gestite in modo complesso, con interventi di vario tipo lungo il profilo complessivo
- Gli interventi oggi necessitano di studi multidisciplinari (geologi, geomorfologi, ingegneri, ecologi, idrologi, ecc)

Interventi che riguardano:

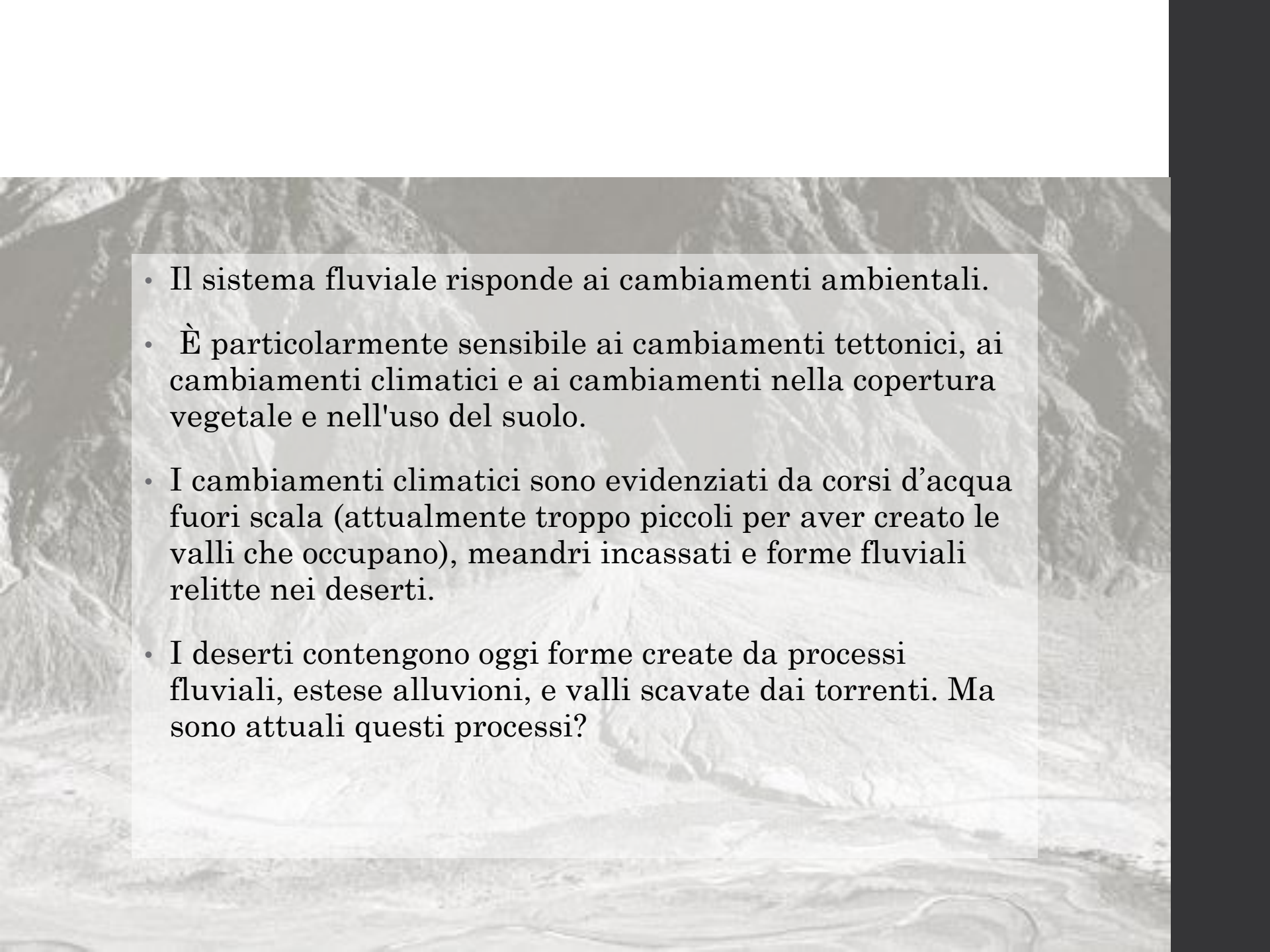
- Cambi di direzioni dei corsi d'acqua
- Rettificazione dei corsi d'acqua
- Aumento della navigabilità
- Estrazione di ghiaie dagli alvei

Ponte d'acqua di Magdeburg (Germania)



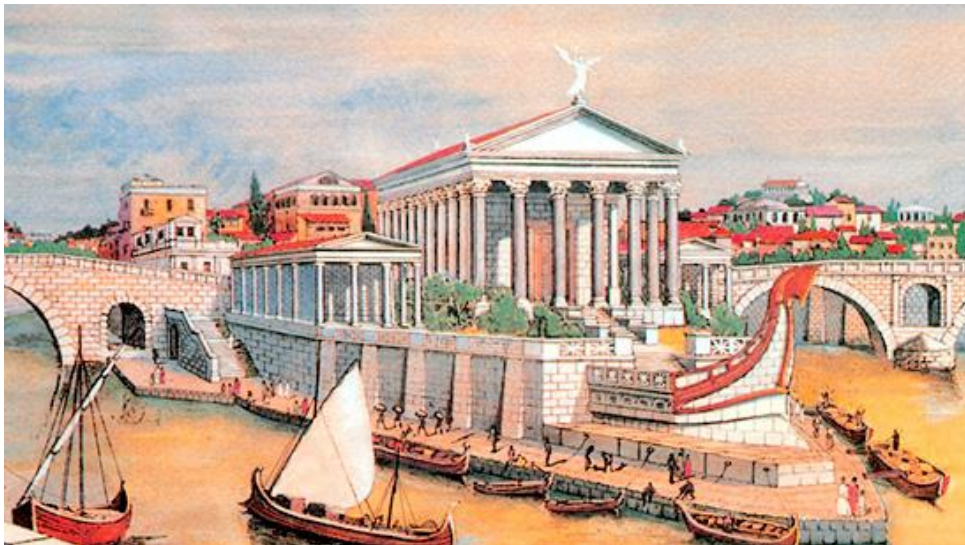
# Paesaggio fluviale del passato



- 
- Il sistema fluviale risponde ai cambiamenti ambientali.
  - È particolarmente sensibile ai cambiamenti tettonici, ai cambiamenti climatici e ai cambiamenti nella copertura vegetale e nell'uso del suolo.
  - I cambiamenti climatici sono evidenziati da corsi d'acqua fuori scala (attualmente troppo piccoli per aver creato le valli che occupano), meandri incassati e forme fluviali relitte nei deserti.
  - I deserti contengono oggi forme create da processi fluviali, estese alluvioni, e valli scavate dai torrenti. Ma sono attuali questi processi?

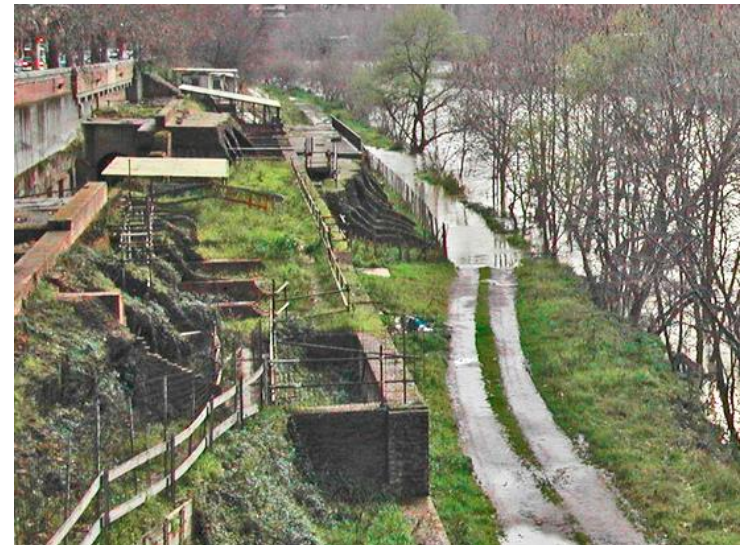
# Esempi archeologici

- I romani trasformarono i paesaggi fluviali in Europa e Nord Africa costruendo dighe, acquedotti e terrazze.
- Queste strutture ed i loro effetti rimangono più o meno evidenti sul territorio
- Una deviazione dell'acqua sul fiume Min nel Sichuan, in Cina, è in ancora in funzione dopo oltre 2.000 anni.



Ricostruzione isola Tiberina (Tevere)

<https://www.romanoimpero.com/2018/11/i-porti-romani-sul-fiume.html>



Porto di Testaccio (Tevere)

<https://www.romanoimpero.com/2018/11/i-porti-romani-sul-fiume.html>

# Porto fluviale di Aquileia



# Sedimentazione nell'area di Olimpia (Grecia)

- Vita-Finzi ha riconosciuto due cause di sedimentazione principali:
  - una sedimentazione antica prodotta in condizioni glaciali
  - una sedimentazione recente prodotta da episodi di erosione dall'epoca imperiale romana al Medioevo.
- Vita-Finzi ha attribuito entrambi questi eventi al mutare dei regimi climatici.
- Altri ricercatori hanno indicato le attività umane come la causa principale della sedimentazione più recente (Younger Fill, Macklin e Woodward 2009).

Annual Report 2012: 195-198, Faculty of Materials- and Geo-Sciences, Technische Universität Darmstadt

## **What buried Olympia?**

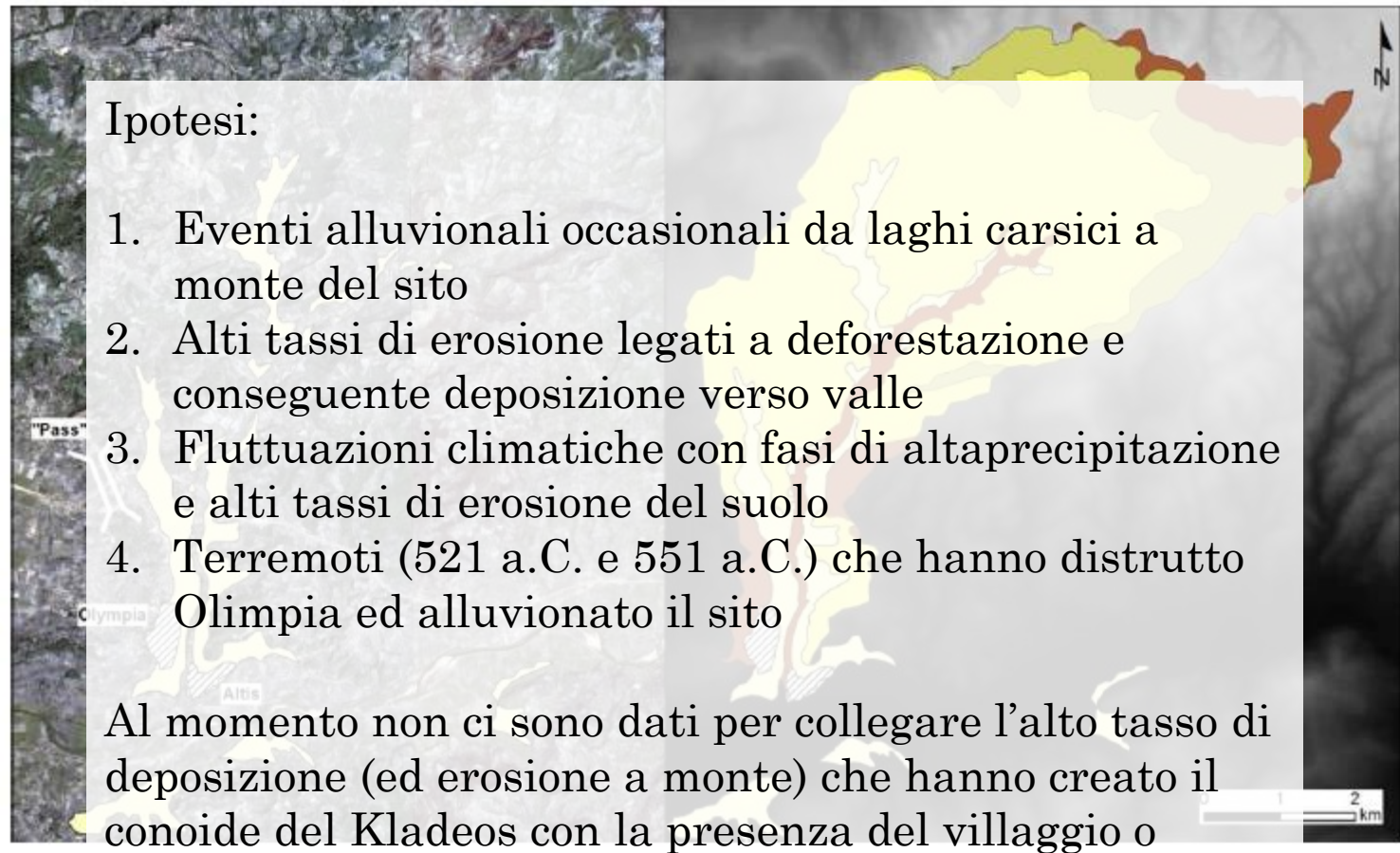
Andreas Hoppe, Rouwen Lehné, Marie Mohr & Ulrike Simons  
Institute of Applied Geosciences, Technische Universität  
Darmstadt

# Il sito di Olimpia (Grecia)

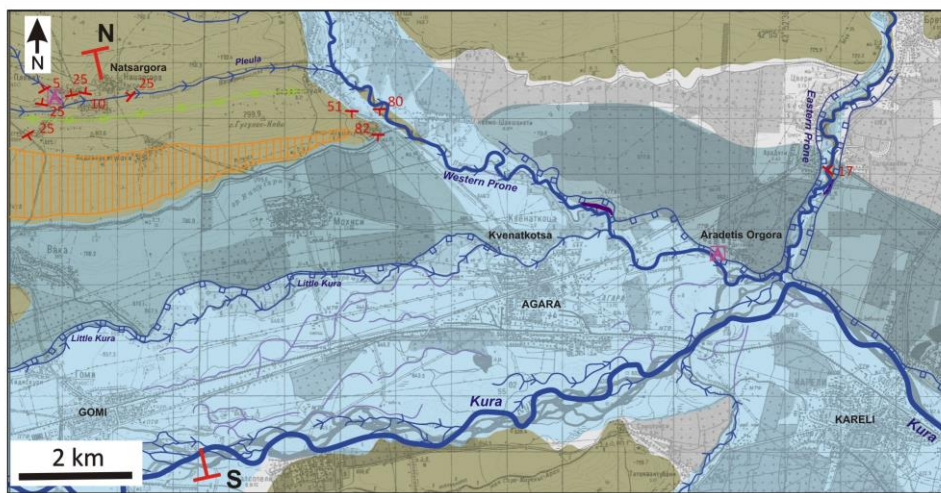
Ipotesi:

1. Eventi alluvionali occasionali da laghi carsici a monte del sito
2. Alti tassi di erosione legati a deforestazione e conseguente deposizione verso valle
3. Fluttuazioni climatiche con fasi di altaprecipitazione e alti tassi di erosione del suolo
4. Terremoti (521 a.C. e 551 a.C.) che hanno distrutto Olimpia ed alluvionato il sito
















Al momento non ci sono dati per collegare l'alto tasso di deposizione (ed erosione a monte) che hanno creato il conoide del Kladeos con la presenza del villaggio o variazioni climatiche



# Aradetis Orgora (Georgia)



## Legend

	Alluvial (Holocene - present)		Glacis
	Colluvial (Holocene)		Terrace edge
	Alluvial (Late Pleistocene - Holocene)		bedding
	Alluvial (Pleistocene)		Profile
	Sandstones and marls (Miocene - Pliocene)		Trace of anticline
			Archaeological site
	Main tributary		Abandoned channel
	Secondary stream		Kura river

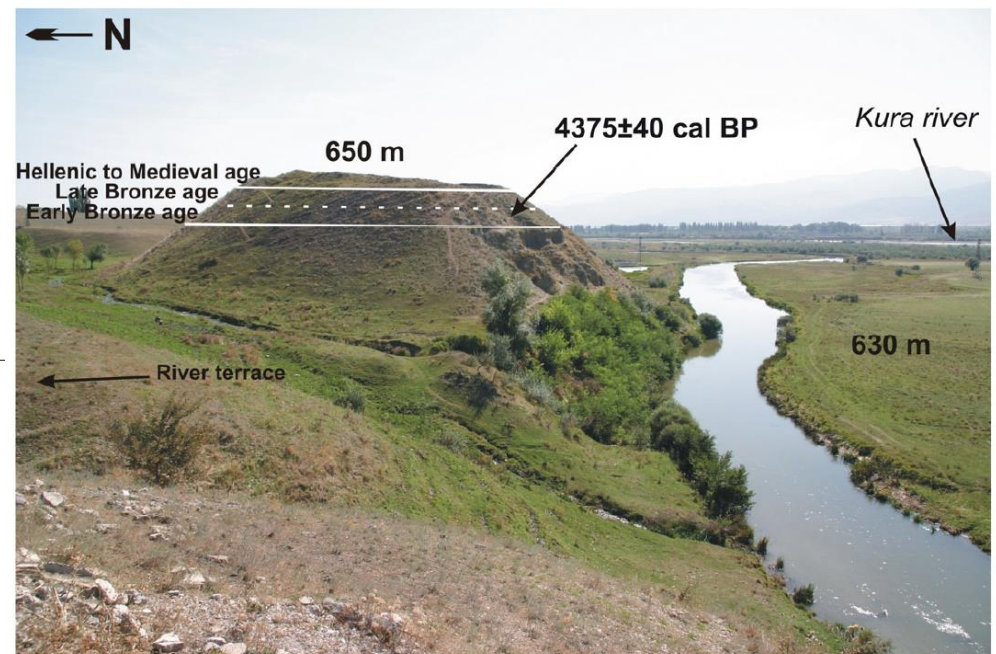


Fig. 3 - The archaeological site of Aradetis Orgora. A) Stratigraphic sequence of the Aradetis Orgora mound; B) View of the settlement of Aradetis Orgora built above the natural mound (terrace of the Kura).

Grazie dell'attenzione

