

# BACINO IDROGRAFICO

## CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE DI UN BACINO IDROGRAFICO

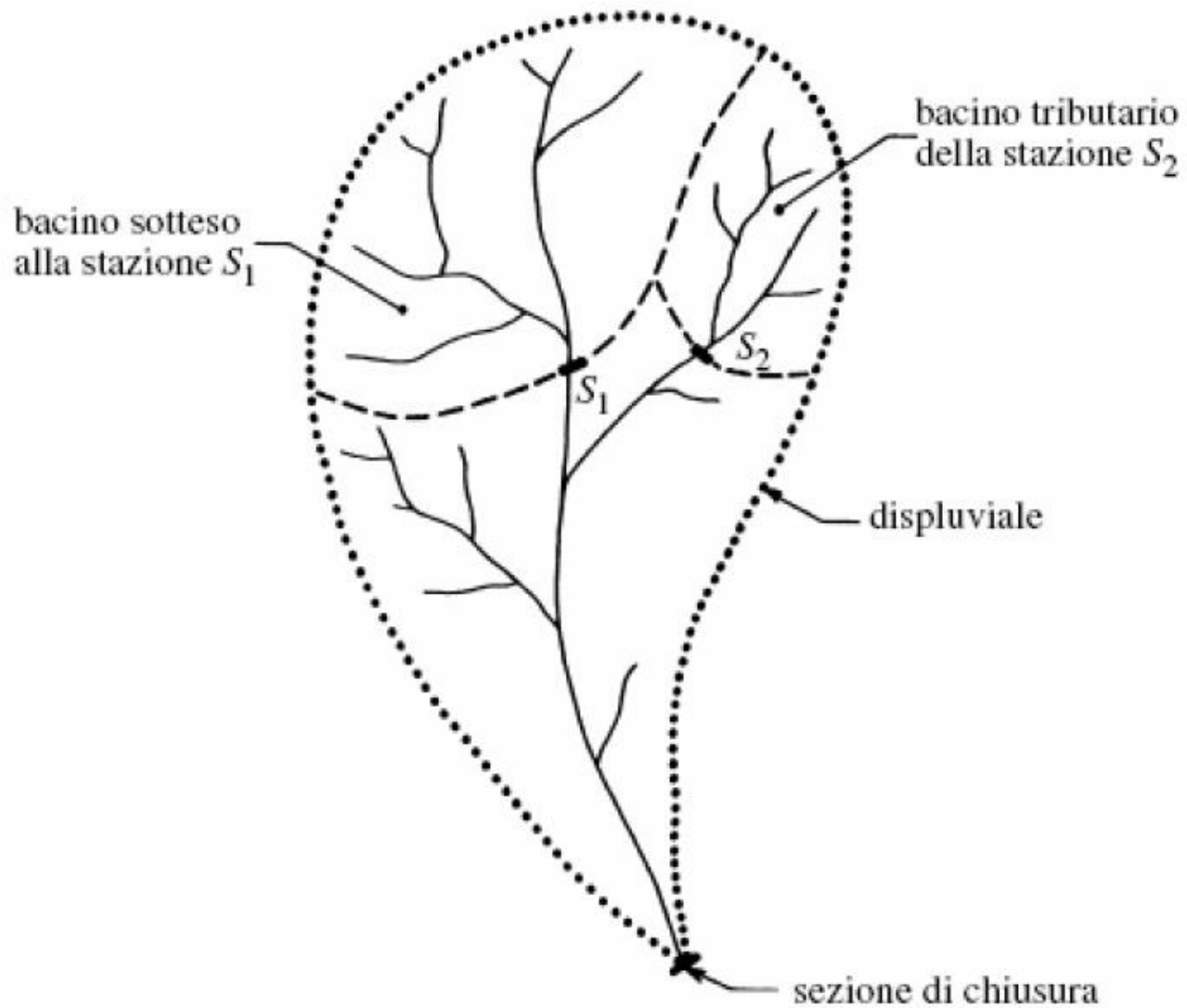
La caratterizzazione geomorfologica di un bacino idrografico può essere effettuata mediante:

- a. i parametri che ne descrivono la planimetria e l'altimetria
- b. i principali criteri di classificazione del reticolo idrografico
- c. le leggi morfologiche usate come indicatori della organizzazione dei bacini fluviali

Fissata una sezione del corso d'acqua, che si indica come sezione di chiusura del bacino, si definisce **bacino idrografico o imbrifero** relativo alla sezione considerata, il luogo dei punti della superficie terrestre che raccoglie le precipitazioni meteoriche che scorrendo in superficie raggiungono tale sezione.

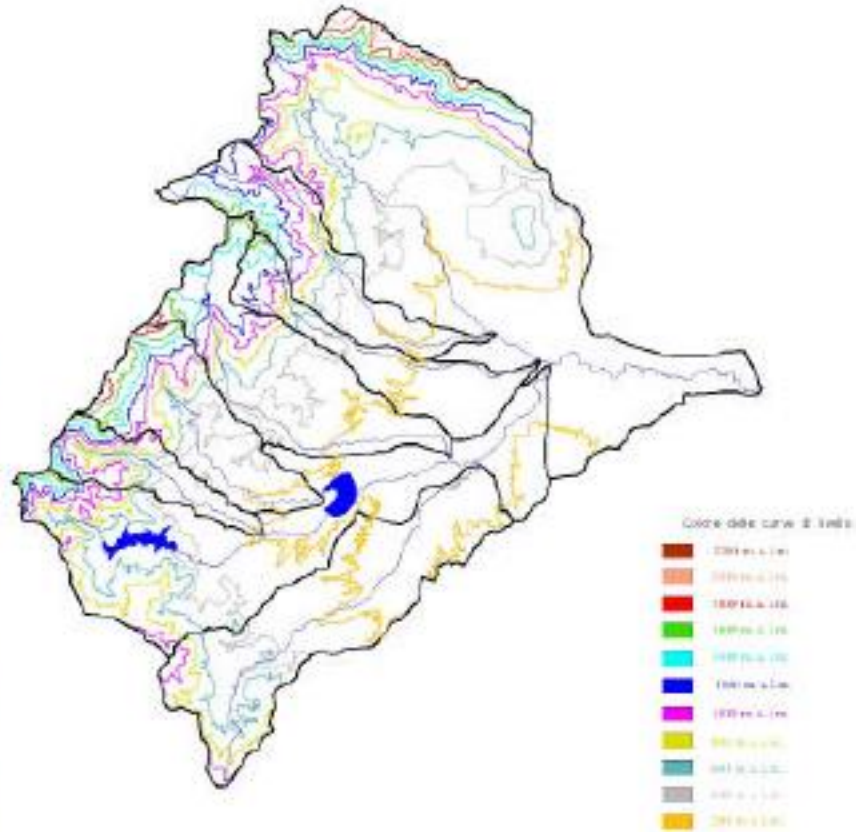
La delimitazione del bacino si effettua individuando su una carta topografica base il cosiddetto **spartiacque** sotteso dalla sezione di chiusura. Lo spartiacque individua il luogo dei punti da cui hanno origine le linee di massima pendenza che finiscono per raggiungere la sezione di chiusura e si traccia in base alle isoipse e alle teste dei canali del reticolo imponendo il passaggio per le vette e le selle.

# BACINO IDROGRAFICO

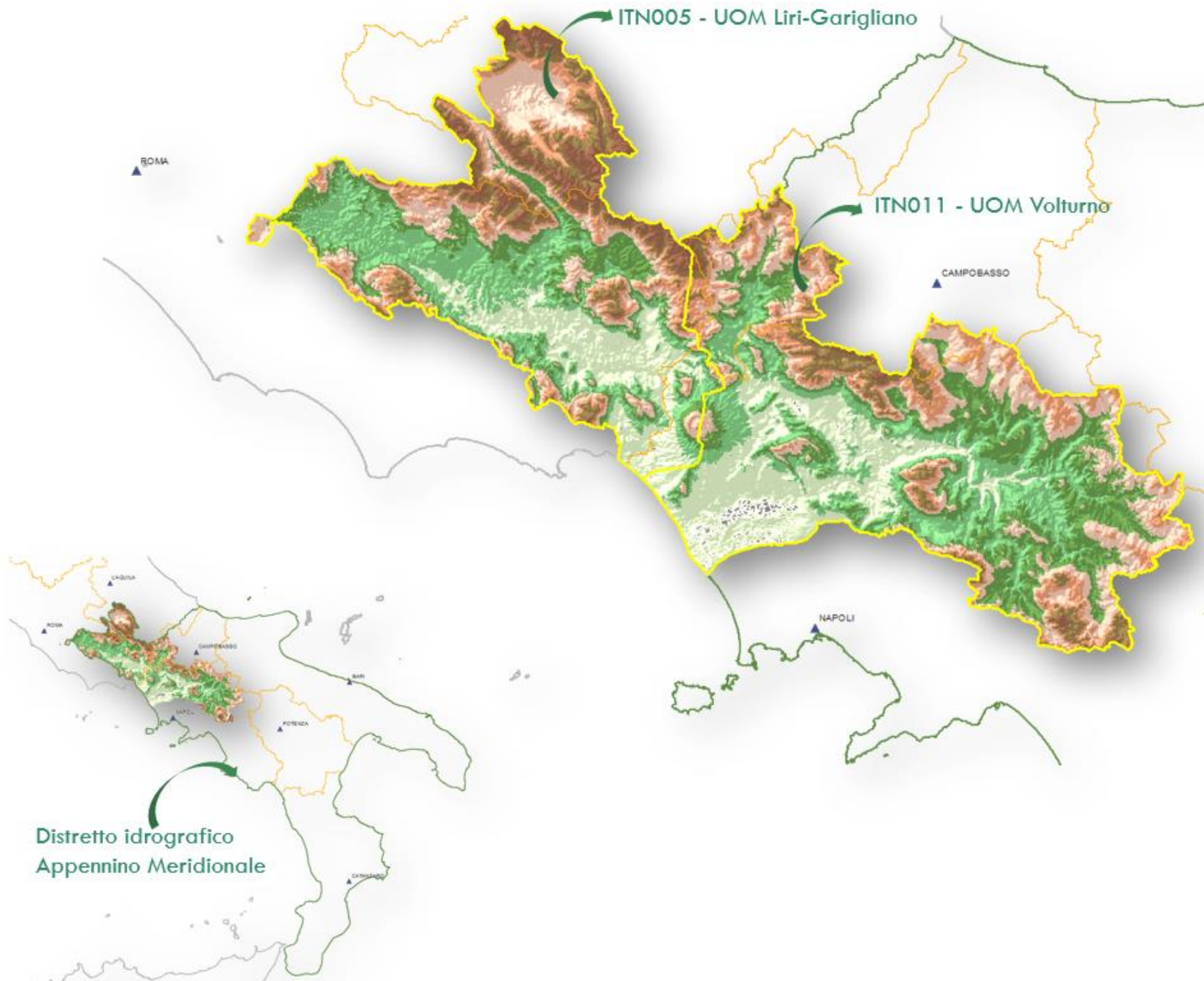


Schema di bacino idrografico.

# BACINO IDROGRAFICO



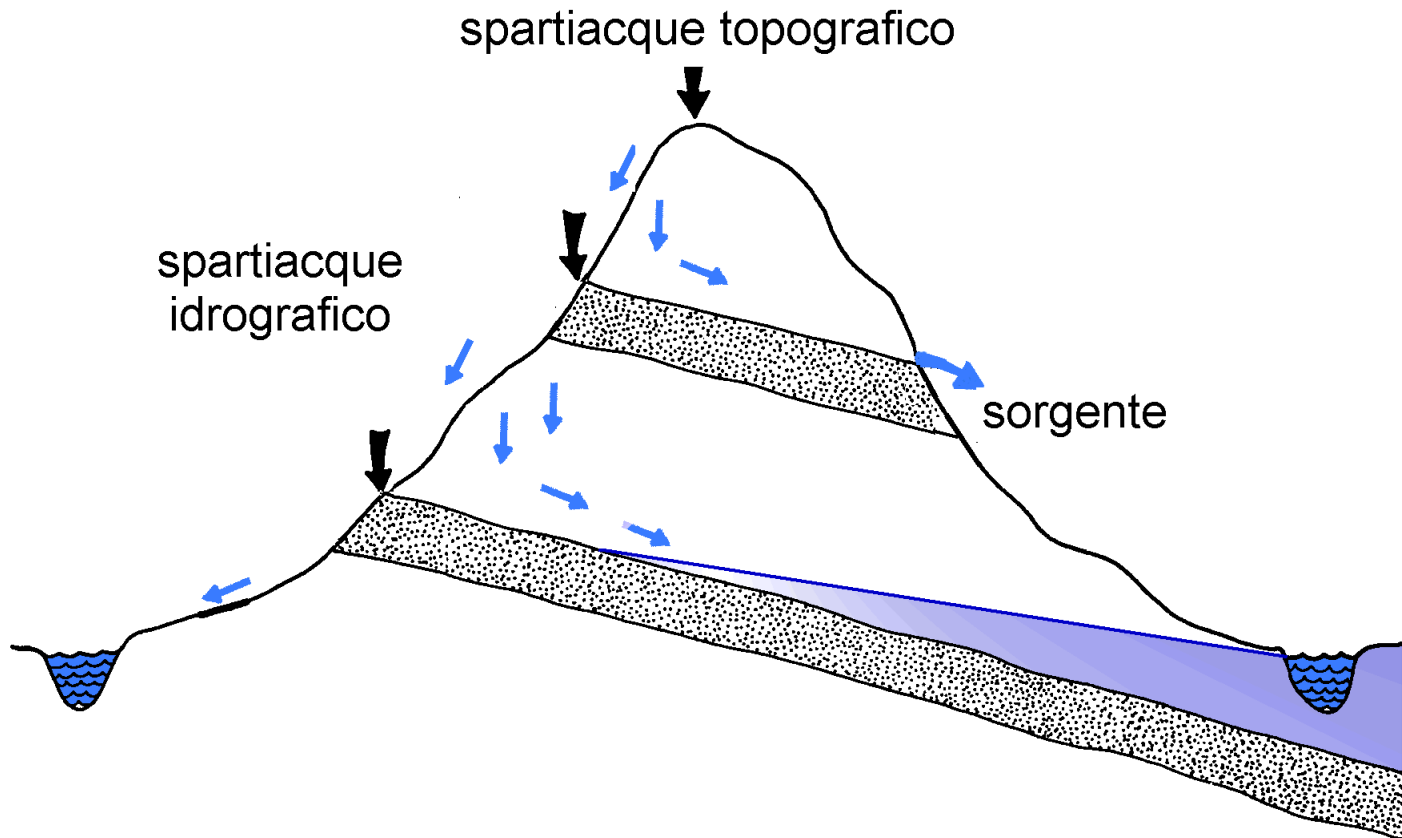
· Bacino del fiume Coscile ( e sottobacini principali) alla confluenza con il Crati.



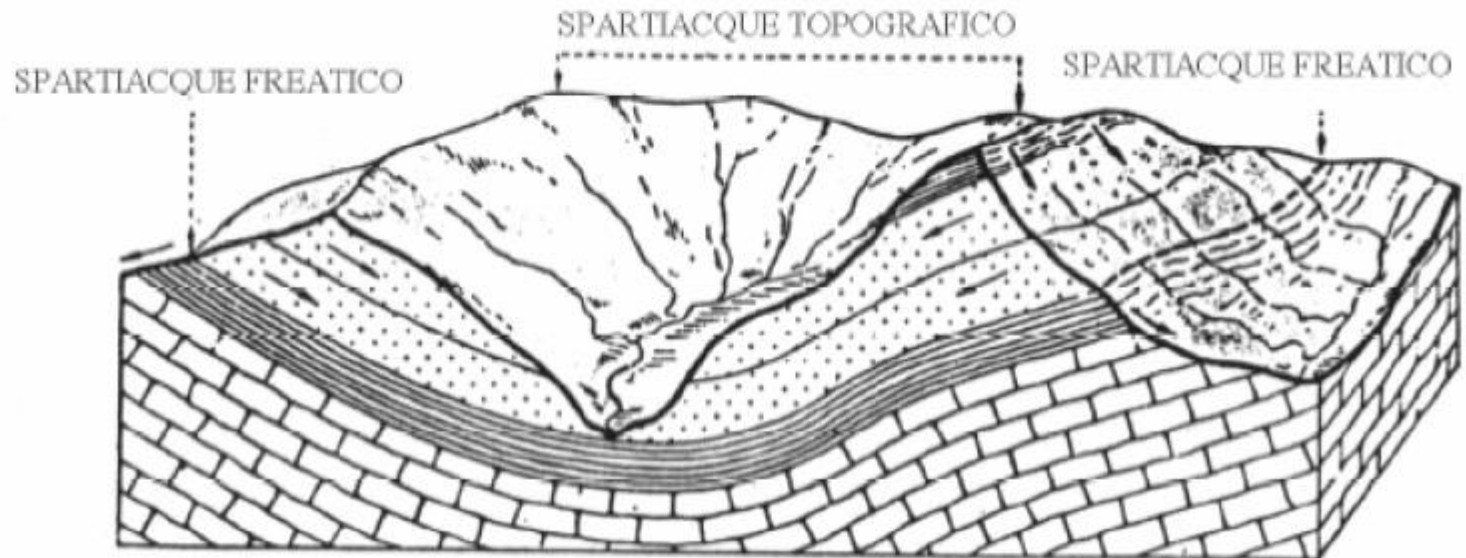
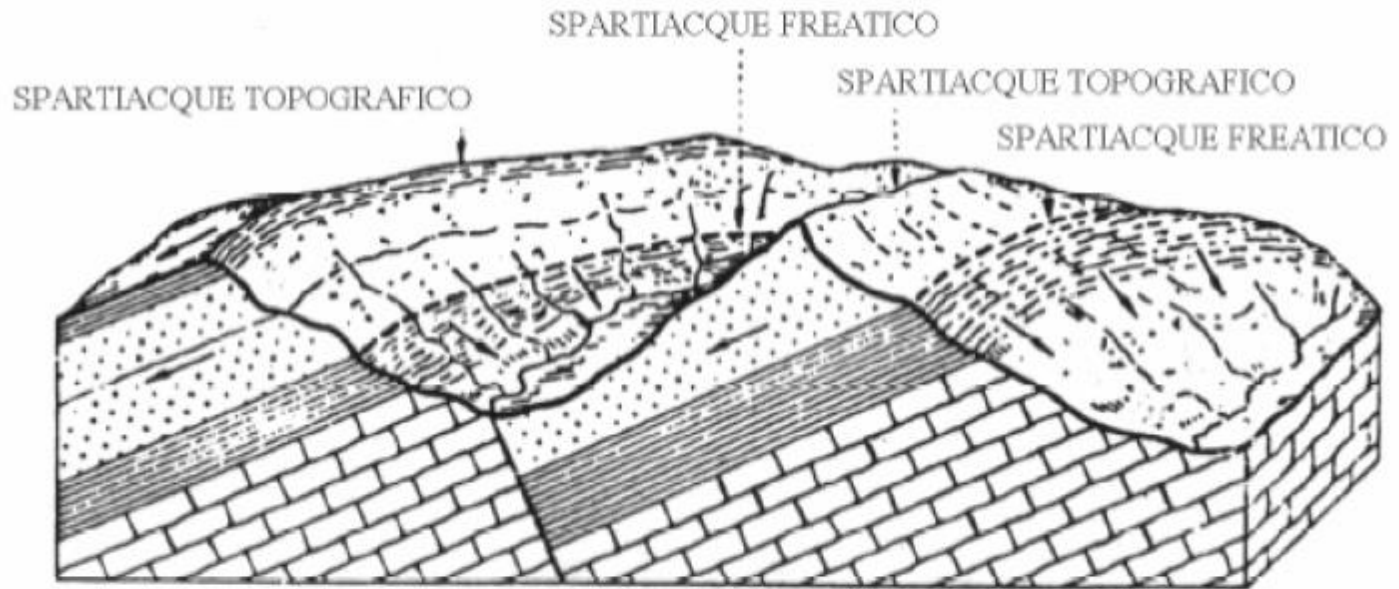
# BACINO IDROGRAFICO

La nozione di bacino idrografico, introdotta con riferimento allo scorrimento superficiale, si può estendere anche al caso dello scorrimento sotterraneo. In questo caso lo spartiacque non coincide sempre con quello identificato su base topografica, ma è necessario considerare il moto di filtrazione, prevalentemente orizzontale, dell'acqua nella zona satura al di sopra di uno strato di fondo impermeabile.

Il **bacino idrogeologico** (o **bacino idrografico sotterraneo**) risulta ovviamente più difficoltoso da delimitare.



# BACINO IDROGRAFICO



# BACINO IDROGRAFICO

Il moto dell'acqua nei bacini viene chiamato scorrimento.

Esso avviene per l'azione della forza di gravità.

Il **deflusso superficiale** osservato nell'alveo di un corso d'acqua può essere alimentato da tre tipi di scorrimento:

- **Scorrimento superficiale:** avviene sopra la superficie topografica lungo le linee di massima pendenza. Le velocità sono dell'ordine di  $10^{-1} \div 10^0 \text{ m s}^{-1}$ .
- **Scorrimento sotterraneo:** avviene nelle falde che si formano sopra strati impermeabili del sottosuolo. È alimentato dall'acqua che si è *infiltrata* ed ha *percolato* (verticalmente) sino alla falda. Il moto avviene in condizioni di  **saturazione** . Le velocità sono dell'ordine di  $10^{-4} \div 10^{-1} \text{ m s}^{-1}$  nelle sabbie e di  $10^{-10} \div 10^{-7} \text{ m s}^{-1}$  nelle argille.
- **Scorrimento ipodermico:** avviene nello strato più superficiale del sottosuolo, se questo presenta una permeabilità maggiore dello suolo sottostante. Il moto avviene in condizioni  **non sature** . Le velocità sono talvolta paragonabili a quelle dello scorrimento superficiale  $\Rightarrow$  difficoltà nel separare le due componenti

# BACINO IDROGRAFICO

Le caratteristiche morfologiche, geologiche e botaniche del bacino controllano la trasformazione degli afflussi meteorici in deflusso.

- **Caratteristiche morfometriche (o topografiche)**
  - dimensioni planimetriche
  - forma
  - rilievo
  - pendenza del bacino e dell'asta principale
  - (organizzazione del reticolo fluviale)
  - tempo di corrivazione, linee isocorrive, curva area-tempi
  - ritardo
- **Caratteristiche geologiche**
- **Caratteristiche botaniche**
- **Caratteristiche geografiche**
- **Caratteristiche indotte da modificazioni antropiche**

# BACINO IDROGRAFICO

## Caratteristiche planimetriche

Si tratta di grandezze che descrivono l'andamento planimetrico del bacino e pertanto possono essere misurate avendo a disposizione una carta topografica su cui è stato delimitato il bacino idrografico.

**Area  $A_b$ :** superficie della proiezione orizzontale del bacino idrografico

**Perimetro  $P$ :** lunghezza della proiezione orizzontale di tutto il contorno del bacino idrografico

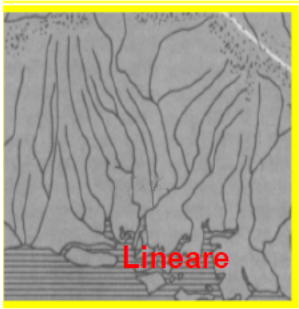
**Lunghezza dell'asta (fluviale) principale  $L_a$ :** misurata attraverso il "percorso idraulicamente più lungo" (ovvero temporalmente più lungo) partendo dallo spartiacque sino alla sezione di chiusura. L'asta (fluviale) principale identifica il percorso dell'acqua più importante, lungo il quale dovrebbero anche defluire le portate maggiori.

**$L$ :** lunghezza complessiva della rete di drenaggio (km);

**densità di drenaggio** =  $\frac{L}{A}$  (in km/km<sup>2</sup>).

## BACINO IDROGRAFICO

# Densità di drenaggio



### Influenzata da:

- Geologia
- Clima
- Topografia
- Uso del suolo

### Quantificabile con:

$$D_d = \Sigma(L)/A$$

dove:

$D_d$  = densità di drenaggio ( $\text{km km}^{-2}$ )

$L$  = estensione della rete (km)

$A$  = area del bacino ( $\text{km}^2$ )

### $D_d$ importante perchè:

- Riflette le caratteristiche del clima e del bacino
- Il flusso nei canali è più veloce che sui versanti
- Maggior è la densità, più rapida e 'completa' è la risposta del bacino alle precipitazioni

# BACINO IDROGRAFICO

Altri parametri caratterizzano la forma del bacino. I parametri proposti in genere sono strettamente legati tra loro e sostanzialmente misurano il grado di allungamento del bacino:

- $R_c$ : Rapporto di circolarità è il rapporto tra l'area  $A$  del bacino e l'area del cerchio di uguale

perimetro  $P$   $R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$ .

$R_c \rightarrow 1$  forma tondeggiante

- $F_f$ : Fattore di forma è il rapporto tra l'area  $A$  del bacino e il quadrato della lunghezza dell'asta principale  $L_p$ .

$$F_f = \frac{A}{L_p^2}$$

- $R_{all}$ : Rapporto di allungamento.  $R_{all} = \frac{2\sqrt{A}}{L_p\sqrt{\pi}}$  è il rapporto tra il diametro del cerchio di area  $A$  e la lunghezza dell'asta principale  $L_p$

- $\Phi$ : Coefficiente di Gravelius è il rapporto tra il perimetro  $P$  del bacino e il perimetro del cerchio di uguale area  $A$ .  $\Phi = \frac{P}{\sqrt{4\pi A}}$  (detto anche rapporto di uniformità)

$G \rightarrow 1$  forma tondeggiante

$1 < G < 1.25$  rotonda-ovale rotonda

$1.25 < G < 1.5$  ovale rotonda-ovale allungata

$1.5 < G < 1.75$  ovale allungata-rettangolare bislunga

$R_c$ : Rapporto di circolarità è il rapporto tra l'area  $A$  del bacino e l'area del cerchio di uguale

perimetro  $P$ .  $R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$ .

$R_c \rightarrow 1$  forma tondeggiante

$$R_c = \frac{A}{\underbrace{A_{\text{cerchio di uguale perimetro } P}}_{A'}} = \frac{A}{\frac{P^2}{4\pi}} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Rapporto di CIRCOLARITÀ

$$A' = \pi R^2$$

$$P = 2\pi R \Rightarrow R = \frac{P}{2\pi} \Rightarrow A' = \pi R^2 = \pi \frac{P^2}{4\pi^2} = \frac{P^2}{4\pi}$$

# BACINO IDROGRAFICO

$\Phi$ : Coefficiente di Gravelius è il rapporto tra il perimetro  $P$  del bacino e il perimetro del

cerchio di uguale area  $A$ .  $\Phi = \frac{P}{\sqrt{4\pi A}}$  (detto anche rapporto di uniformità)

$G \rightarrow 1$  forma tondeggiante

$1 < G < 1.25$  rotonda-ovale rotonda

$1.25 < G < 1.5$  ovale rotonda-ovale allungata

$1.5 < G < 1.75$  ovale allungata-rettangolare bislunga

$$\Phi = \frac{P}{P_{\text{cerchio di uguale area } A}} = \frac{P}{P'} = \frac{P}{\sqrt{4\pi A}}$$

$$P' = 2\pi R$$

$$A = \pi R^2 \Rightarrow R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$P' = 2\pi R = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4\pi^2 A}{\pi}} = \sqrt{4\pi A}$$

$$\Phi = \frac{P}{\sqrt{4\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

# BACINO IDROGRAFICO

## Caratteristiche altimetriche

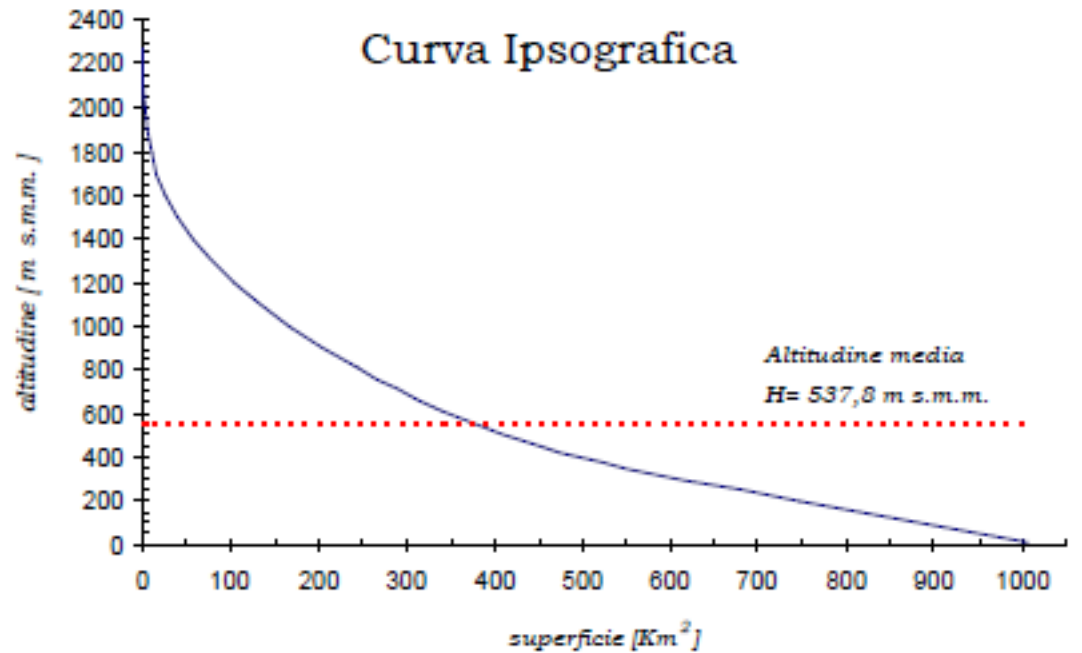
L'andamento altimetrico del bacino è descritto dalla **curva ipsografica**: si ottiene riportando, in un diagramma cartesiano, i punti le cui ordinate rappresentano la quota, riferita generalmente alla sezione di chiusura, e le cui ascisse indicano l'area del bacino che si trova al di sopra di tale quota (come in figura, o al di sotto). La differenza tra la quota del punto più elevato dello spartiacque e quella della sezione di chiusura è un parametro caratteristico del bacino che prende il nome di **rilievo** del bacino.

Dalla curva ipsografica si ricava facilmente l'**altezza media del bacino** definita come:

$$\bar{h} = \frac{1}{A} \int_0^A h dA$$

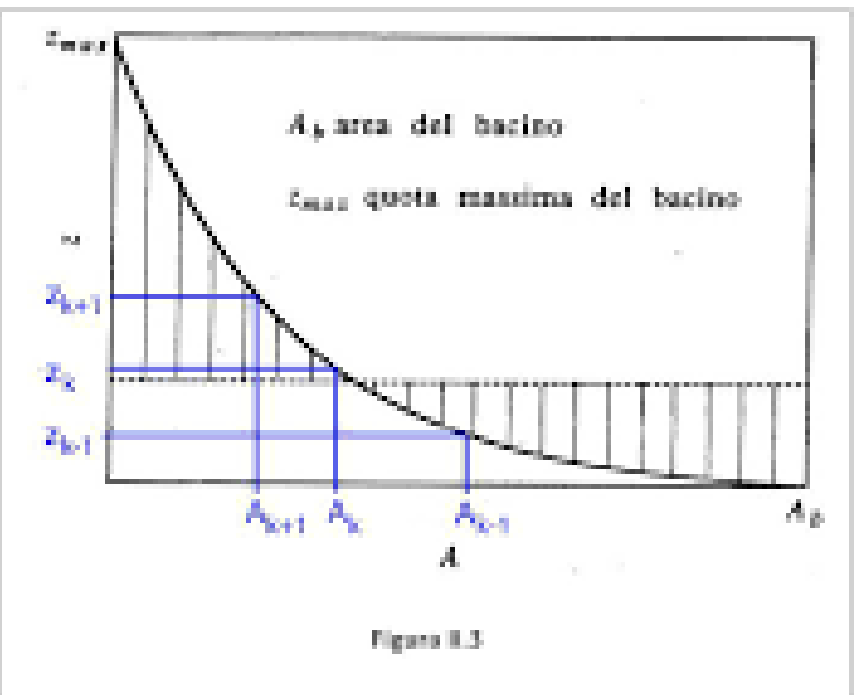
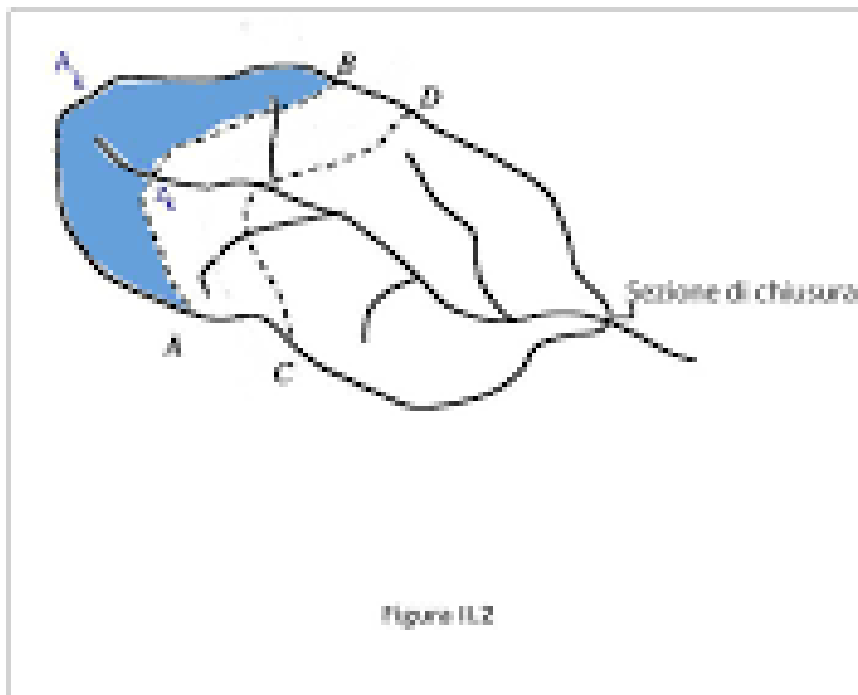
La linea tracciata nella figura in corrispondenza dell'altezza media coincide con la linea di compenso della curva ipsografica.

Il rettangolo di base A e altezza  $\bar{h}$  ha area equivalente a quella sottesa dalla curva ipsografica.

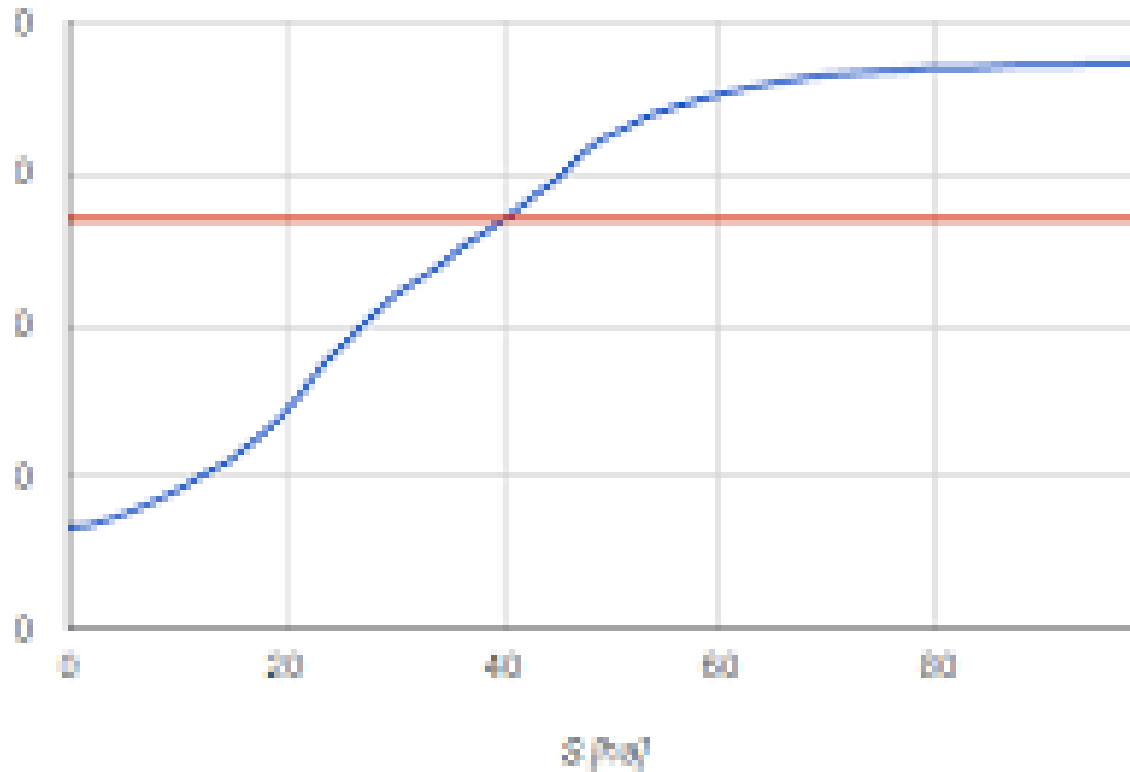


Curva ipsografica del bacino del fiume Coscile

# BACINO IDROGRAFICO



Cuna ipsografica

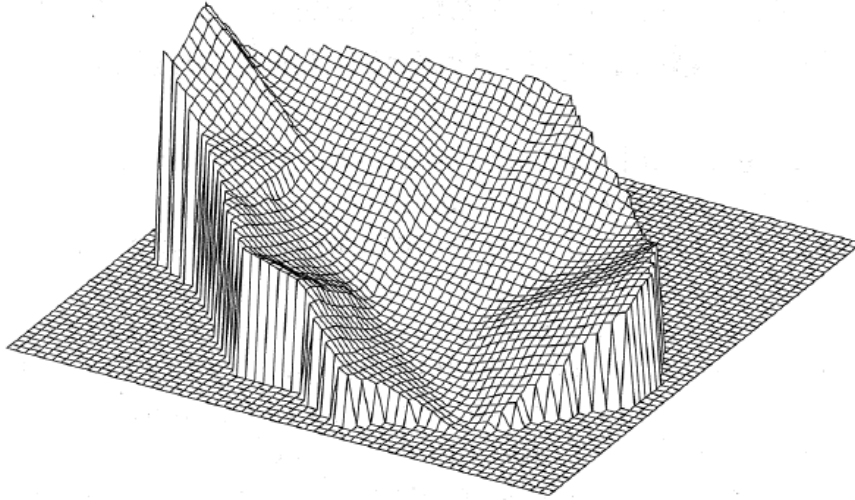


**BACINO  
IDROGRAFICO**

# BACINO IDROGRAFICO

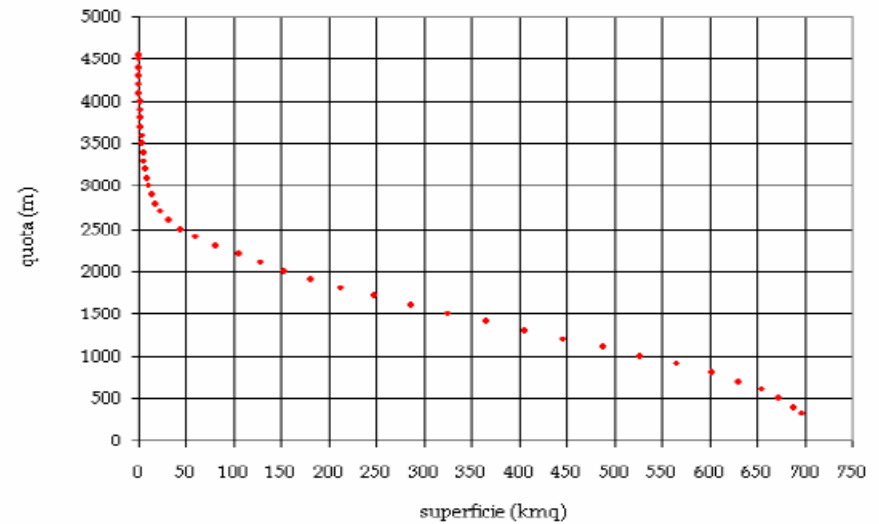
Modello Digitale del Terreno (DTM)

Curva ipsografica = Frequenza cumulata delle quote del bacino



## Curva ipsografica dal DTM

B29 Sesia a Borgosesia - Curva ipsografica



# BACINO IDROGRAFICO

Per caratterizzare la **pendenza media di un bacino idrografico** si utilizzano diversi metodi.

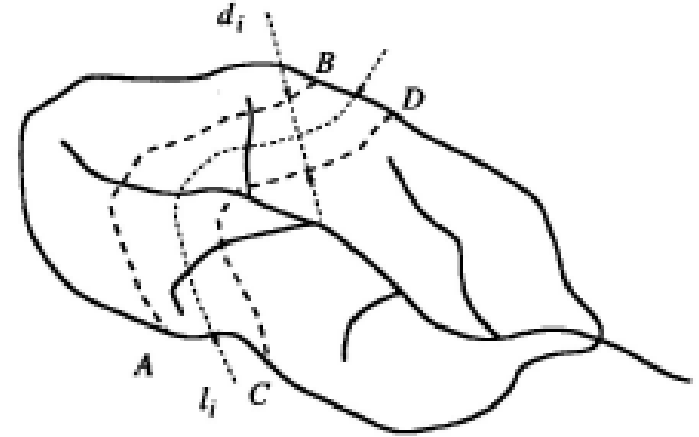
Un primo indice della pendenza media è quello desunto dal **metodo di Alvard-Horton**, che consiste nel misurare la lunghezza totale  $L$  delle curve di livello (con assegnata equidistanza  $\Delta z$ ) comprese nel bacino e quindi nel calcolare la pendenza media a mezzo della relazione, in cui  $A_b$  è la superficie del bacino:

$$i_b = \frac{\Delta z L}{A_b}$$

- $\Delta z$  differenza di quota fra le curve di livello
- $L$  lunghezza dello sviluppo totale delle curve di livello ( $\Delta z$  costante)
- $l_j$  lunghezza isoipsa  $j$ -esima
- $d_j$  distanza media fra isoipsa  $j$ -esima e  $(j + 1)$ -esima

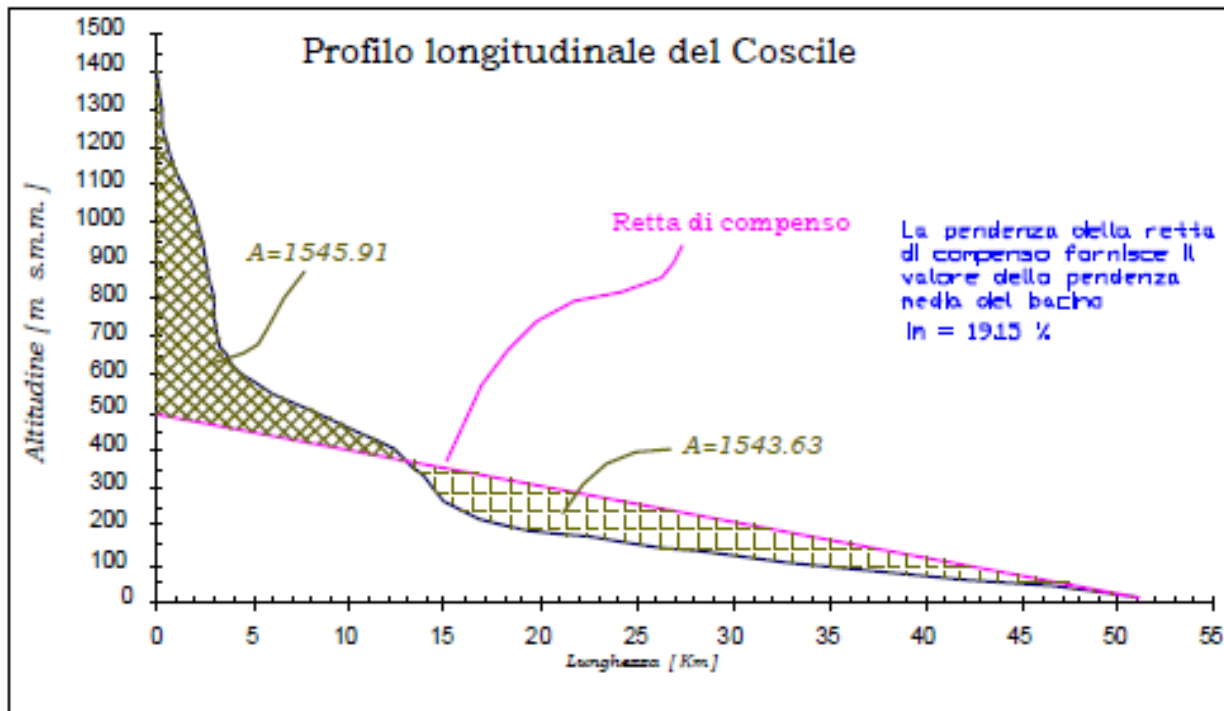
$$i_j = \frac{\Delta z}{d_j} = \frac{\Delta z l_j}{d_j l_j} = \frac{\Delta z l_j}{A_j}$$

$$i_m = \sum_j i_j \frac{A_j}{A_b} = \dots$$



# BACINO IDROGRAFICO

Un altro indice è la **pendenza della retta di compenso** tracciata, come indicato nella figura, su un grafico in cui è riportato il profilo longitudinale del corso d'acqua principale. La retta di compenso è tracciata in modo che le aree che restano al di sopra e al di sotto siano tra loro uguali.



Profilo longitudinale e retta di compenso del bacino del fiume Coscile

# BACINO IDROGRAFICO

## PENDENZA MEDIA DELL'ASTA PRINCIPALE

$$i_m = \frac{1}{L} \sum_k i_k l_k$$

Pendenza 'idraulicamente' media dell'asta principale (Taylor-Schwartz)

Si parte dalla formula di Chèzy:

$$v = k \sqrt{R i}$$

$$v \propto \sqrt{i}$$

$$t = \frac{L}{v} \propto \frac{L}{\sqrt{i}}$$

$$\frac{L}{\sqrt{i_m}} = \sum_k \frac{l_k}{\sqrt{i_k}}$$

$$\frac{1}{\sqrt{i_m}} = \frac{1}{L} \sum_k \frac{l_k}{\sqrt{i_k}}$$

Tratto	L (m)	Pendenza(%)	ik·lk	lk/sqr(ik)
1	300	0,02	6	2121,320
2	400	0,015	6	3265,986
3	300	0,01	3	3000,000
	1000		15	8387,307
			0,015	8,387
<b>Taylor-Schwartz</b>		<b>0,015</b>		
<b>imedia idraulica</b>		<b>0,014215265</b>		

# BACINO IDROGRAFICO

## Organizzazione del reticolo idrografico

### Caratteristiche topologiche

La descrizione bidimensionale del reticolo idrografico si basa essenzialmente sulla rappresentazione di quest'ultimo nel piano come un grafo le cui proprietà topologiche possono essere facilmente descritte e classificate. E' possibile dare alcune definizioni topologiche generali, indipendenti dallo schema ordinativo adottato:

- i nodi esterni, o sorgenti, sono i nodi da cui ha origine una sola asta, mentre i nodi interni, o giunzioni, sono costituiti dai punti in cui confluiscono più aste;
- i rami interni sono gli elementi della rete che collegano tra loro nodi interni; analogamente i rami esterni collegano una sorgente con un nodo interno immediatamente a valle;
- $\mu$ , **magnitudine della rete**, rappresenta il numero complessivo di sorgenti;
- $\delta$ , **distanza topologica di una sorgente dallo sbocco**, rappresenta il numero di rami compreso nel percorso che unisce tali punti;
- $\lambda$ , **diametro della rete**, rappresenta la distanza topologica massima;
- $i$ , **livello topologico di un ramo**, rappresenta la distanza topologica del nodo di monte dallo sbocco.

# BACINO IDROGRAFICO

Il reticolo schematizzato in figura è caratterizzato da  $\mu = 5$  e  $\lambda = 4$ . E' possibile dedurre, che **il numero di rami interni della rete è pari a  $\mu - 1$**  e, pertanto, **il numero complessivo di rami nella rete è  $2\mu - 1$** . Ciò è vero se si assume che in un nodo interno non concorrano più di tre rami (due in entrata ed uno in uscita).

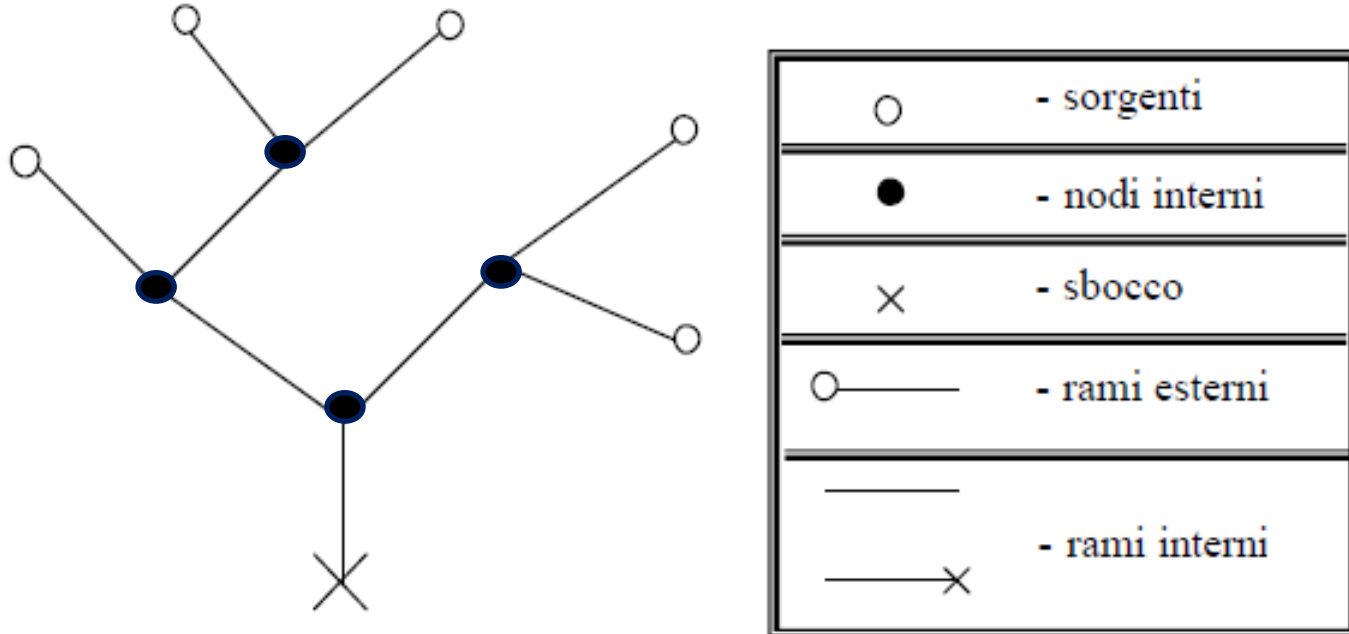


Figura 5 – Rappresentazione topologica del reticolo idrografico

# BACINO IDROGRAFICO

Una descrizione sintetica del reticolo idrografico così schematizzato è la funzione di ampiezza topologica, che ha dimostrato avere importanti implicazioni sulla forma e il picco degli idrogrammi.

La **funzione di ampiezza topologica  $N(i)$**  indica il numero di rami caratterizzati da un certo livello  $i$ . Per il bacino schematizzato in figura 5 la funzione di ampiezza è riportata nella figura 6.

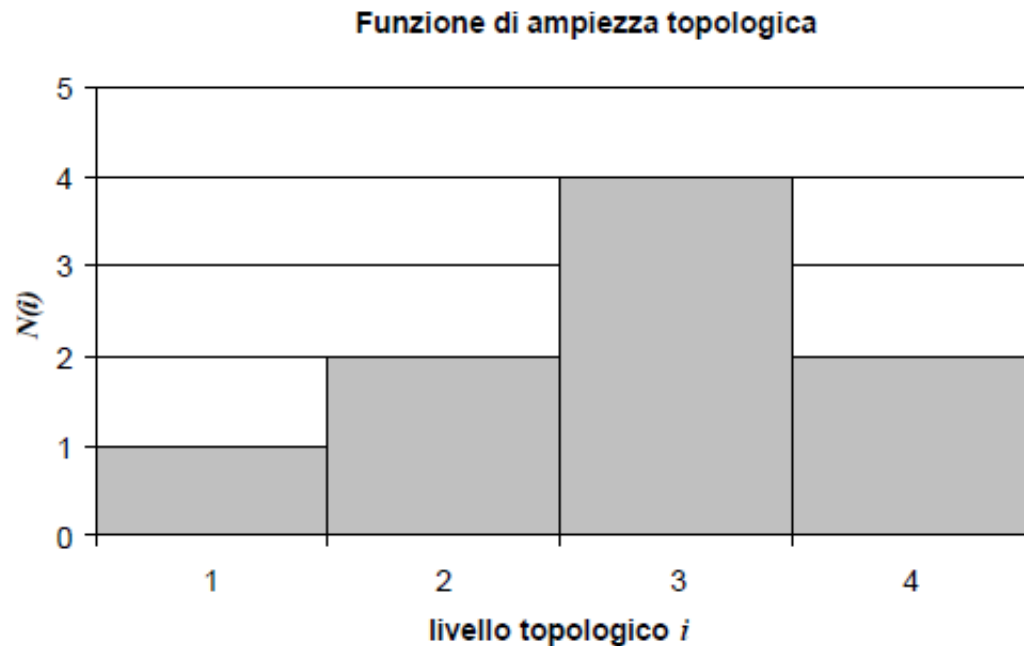
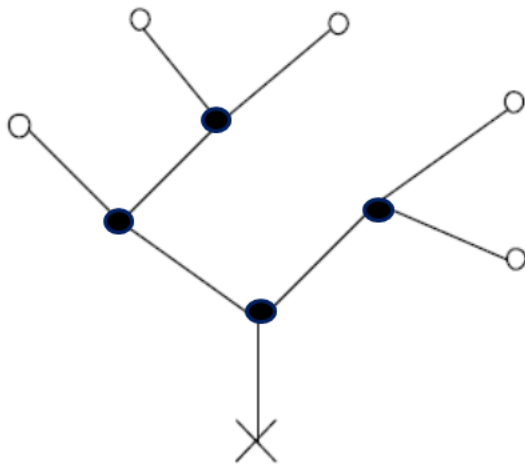


Figura 6 – Funzione di ampiezza topologica del reticolo di figura 5

# BACINO IDROGRAFICO

## Sistemi di ordinamento di Strahler e di Shreve

**Robert Elmer Horton** fu il primo ad introdurre in modo sistematico l'analisi geomorfologica quantitativa dei reticoli idrografici e dei bacini di drenaggio ad essi associati. La base di tale analisi consiste nella **gerarchizzazione**, ovvero nell'**ordinamento degli elementi costitutivi del reticolo secondo regole prefissate**.

**Arthur Newell Strahler** nel 1952 ha ripreso e modificato le proposte di Horton in senso puramente topologico, suggerendo una procedura di ordinamento che si basa sulle seguenti regole:

1. gli elementi che hanno origine da sorgenti sono definiti canali del primo ordine;
2. quando si uniscono due rami di ordine  $\omega$  si origina un ramo di ordine  $(\omega + 1)$ ;
3. quando si uniscono due rami di ordine differente, il segmento di canale immediatamente a valle ha il più alto ordine di quelli confluenti;
4. due o più rami in successione, aventi medesimo ordine, formano canali del loro stesso ordine;
5. l'ordine del bacino è pari a quello del canale con il più alto ordine  $\Omega$ .

# BACINO IDROGRAFICO

In base alle regole precedenti risulta che un canale di ordine  $\omega > 1$  può essere composto da più rami interni: è possibile, infatti, in base alla regola 3, che avvengano delle giunzioni senza che il canale cambi di ordine.

Il sistema di ordinamento di **Ronald L. Shreve**, introdotto nel 1967, attribuendo una variazione d'ordine ad ogni giunzione, fa riferimento esplicitamente ai rami (o link) piuttosto che ai canali, e introduce il termine di **magnitudine** riferita ad ogni ramo. In questo sistema l'ordine viene attribuito ai diversi link secondo le seguenti regole:

- ✓ ogni sorgente ha magnitudine 1;
- ✓ quando si uniscono due rami di magnitudine  $\mu_1$  e  $\mu_2$  il ramo a valle ha magnitudine pari a  $\mu_1 + \mu_2$ .

Sulla base di tale classificazione la magnitudine  $\mu_i$  di ogni ramo viene a rappresentare il numero di sorgenti “a monte” del ramo medesimo, mentre  $2\mu_i - 1$  rappresenta il numero di rami che vi afferiscono. La quantità di informazioni idrologiche che scaturisce dalla classificazione di Shreve risulta, quindi, per certi versi maggiore di quella ottenibile attraverso la numerazione per canali di Strahler.

# BACINO IDROGRAFICO

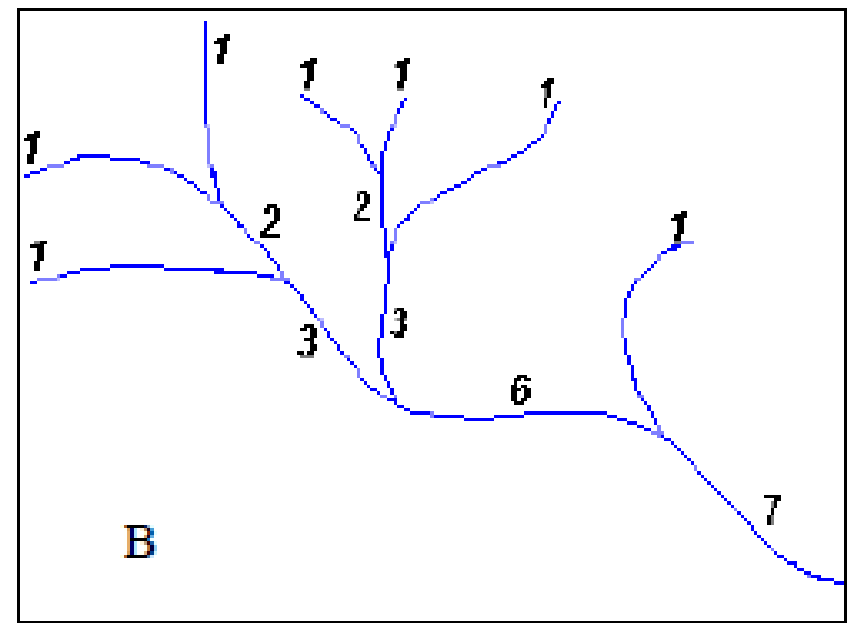
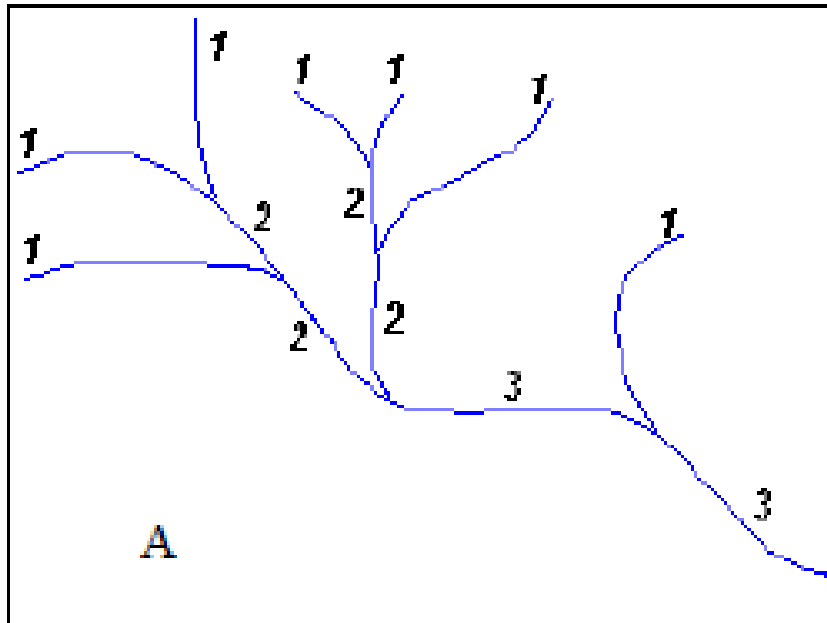
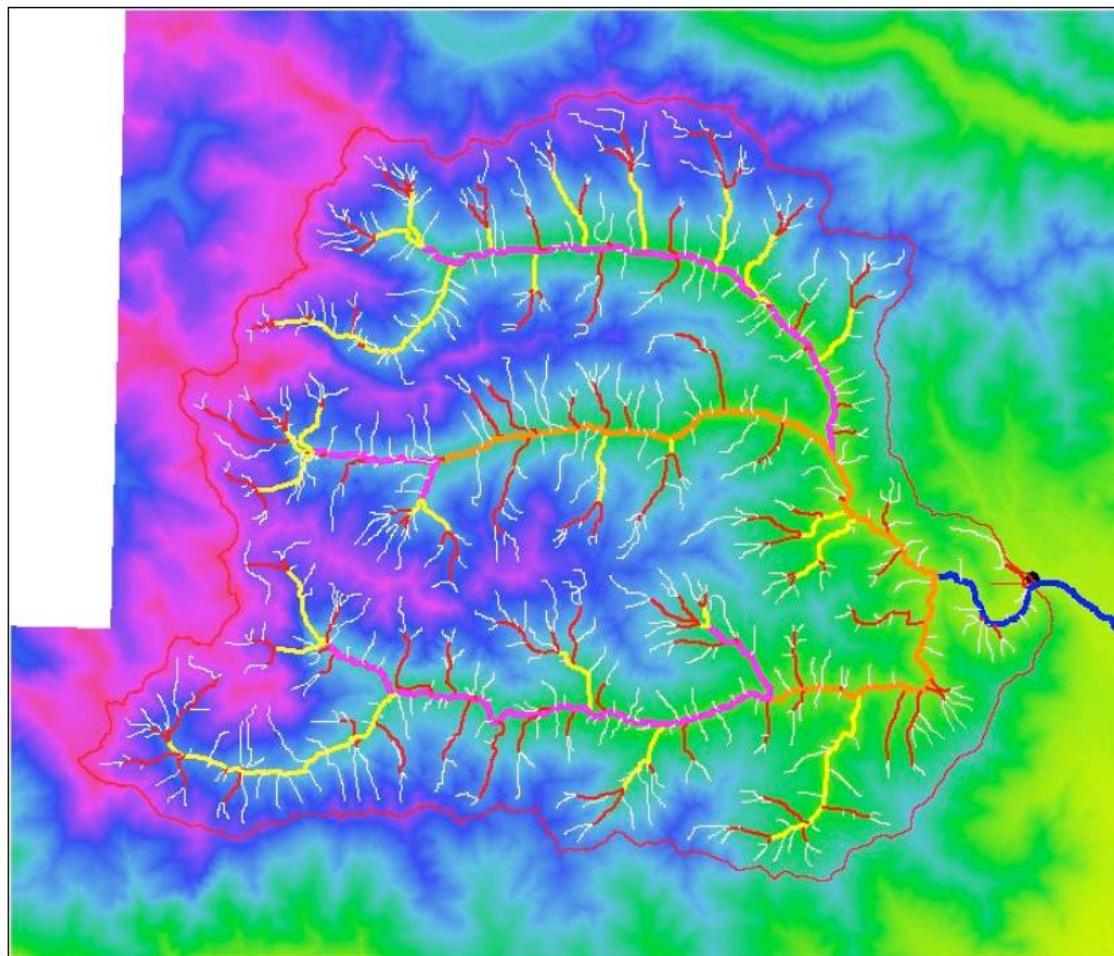


Figura 7 – Sistemi di ordinamento proposti da: A Strahler, B Shreve.

# BACINO IDROGRAFICO



*Classificazione secondo Horton – Strahler del reticolo idrografico.*

# BACINO IDROGRAFICO

## Leggi empiriche

Sulla base dello schema di ordinamento di Strahler, Horton e successivamente Schumm (1956) hanno proposto alcune leggi empiriche che mostrano come **le reti di drenaggio presentino una organizzazione gerarchica di tipo sistematico.**

Tali leggi derivano dalla osservazione che lo sviluppo del reticolo idrografico avviene secondo una struttura ad albero che presenta alcuni caratteri di regolarità, non solo nella geometria, ma anche nelle relazioni tra alcune grandezze che caratterizzano il canale.

## Legge del numero dei canali.

Horton parte dall'ipotesi che il rapporto di biforcazione:

$$R_B = \frac{N_\omega}{N_{\omega+1}}$$

sia costante.

In generale, per  $1 \leq \omega \leq \Omega$ , è possibile ottenere  $N_\omega$ , numero di canali di ordine  $\omega$ , come :

$$N_\omega = R_B^{\Omega-\omega}$$

Numero globale di rami all'interno di una rete di drenaggio:

$$\sum_{i=1}^{\Omega} N_i = \frac{R_B^{\Omega} - 1}{R_B - 1}$$

# BACINO IDROGRAFICO

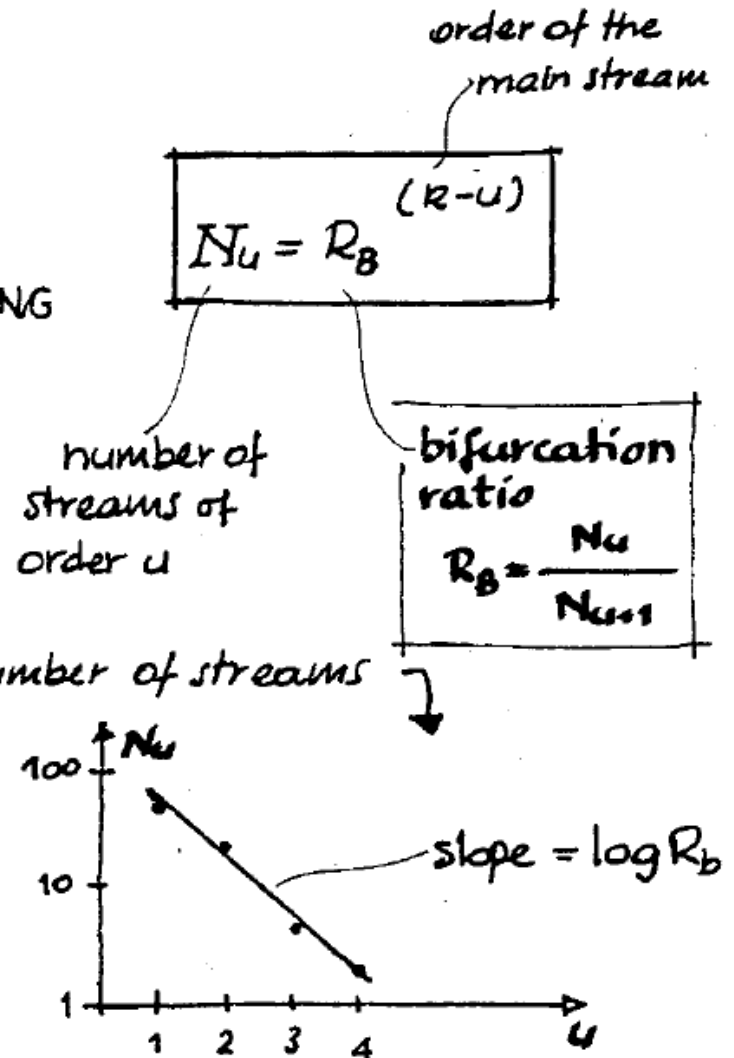
## 1st HORTON'S Law of STREAM NUMBERS

THE NUMBER OF STREAMS OF A FLUVIAL SYSTEM ARE DESCRIBED FOR EACH ORDER BY A GEOMETRIC SERIES GROWING ACCORDING TO A CONSTANT *bifurcation ratio*,  $R_B$

minimum theoretical value 2

typical values 3 ÷ 5

ESTIMATION OF  $R_B$   $\Leftrightarrow$  counting the number of streams



# BACINO IDROGRAFICO

## Legge delle lunghezze dei canali

Horton parte dall'ipotesi che il rapporto di lunghezza dei canali

$$R_L = \frac{\bar{L}_{\omega+1}}{\bar{L}_{\omega}}$$

sia costante.

$\bar{L}_{\omega} = \frac{1}{N_{\omega}} \sum_{i=1}^{N_{\omega}} L_{\omega i}$  è la lunghezza media delle aste di ordine  $\omega$ .

Se si considera una rete di ordine  $\Omega$ , per esempio con  $\Omega=4$ , si ha

$$\bar{L}_2 = R_L \cdot \bar{L}_1$$

$$\bar{L}_3 = R_L \cdot \bar{L}_2 = R_L \cdot R_L \cdot \bar{L}_1 = R_L^2 \bar{L}_1$$

$$\bar{L}_4 = R_L^3 \bar{L}_1$$

Per  $1 \leq \omega \leq \Omega$ ,

$$\bar{L}_{\omega} = R_L^{\omega-1} \bar{L}_1$$

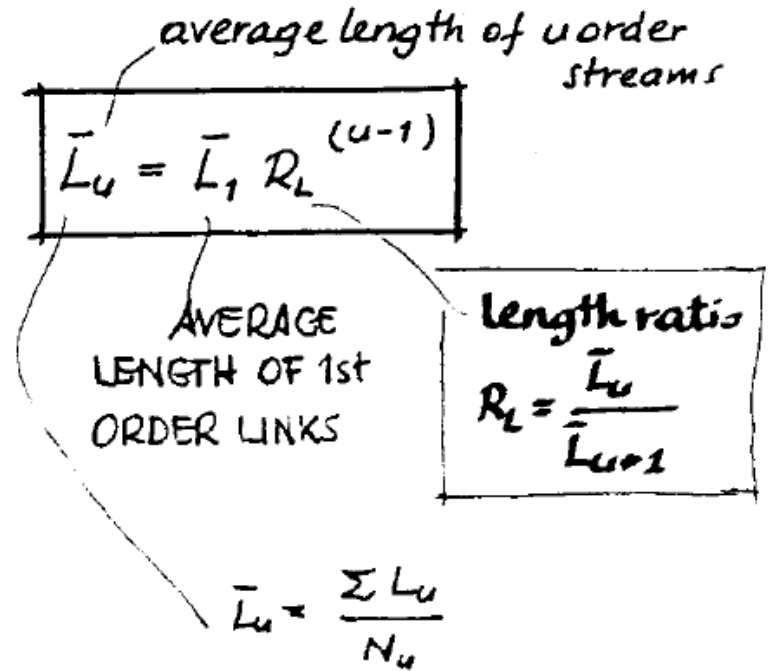
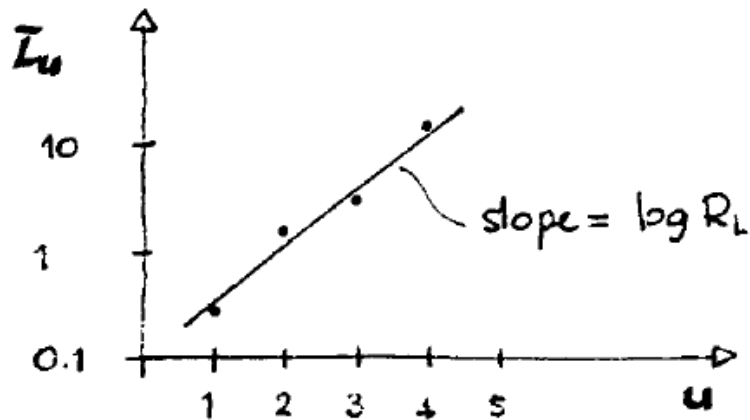
in cui  $\bar{L}_1$  è la lunghezza media dei canali di ordine 1.

# BACINO IDROGRAFICO

## 2nd HORTON'S law of STREAM LENGTH

THE AVERAGE LENGTHS OF STREAMS OF A FLUVIAL SYSTEM ARE DESCRIBED BY A GEOMETRIC SERIES GROWING ACCORDING TO A CONSTANT length ratio,  $R_L$

ESTIMATION OF  $R_L \Rightarrow \log \bar{L}_u \text{ vs. } u$



# BACINO IDROGRAFICO

## Legge delle aree dei canali (o legge di Schumm [1956])

Analogamente alle precedenti leggi di Horton, Schumm individua una relazione valida per le aree dei canali:

$$R_A = \frac{\bar{A}_{\omega+1}}{\bar{A}_{\omega}} = \text{cost.}$$

in cui  $R_A$  si definisce come rapporto delle aree e  $\bar{A}_{\omega}$  è l'area media dei sottobacini di ordine  $\omega$ . Tale area è definita come:

$$\bar{A}_{\omega} = \frac{1}{N_{\omega}} \sum_{i=1}^{N_{\omega}} A_{\omega i}$$

dove  $A_{\omega i}$  è l'area totale che contribuisce al deflusso in un canale di ordine  $\omega$  e nei suoi affluenti

Se si considera una rete di ordine  $\Omega$ , per esempio con  $\Omega=4$ , si ha

$$\bar{A}_2 = R_A \cdot \bar{A}_1$$

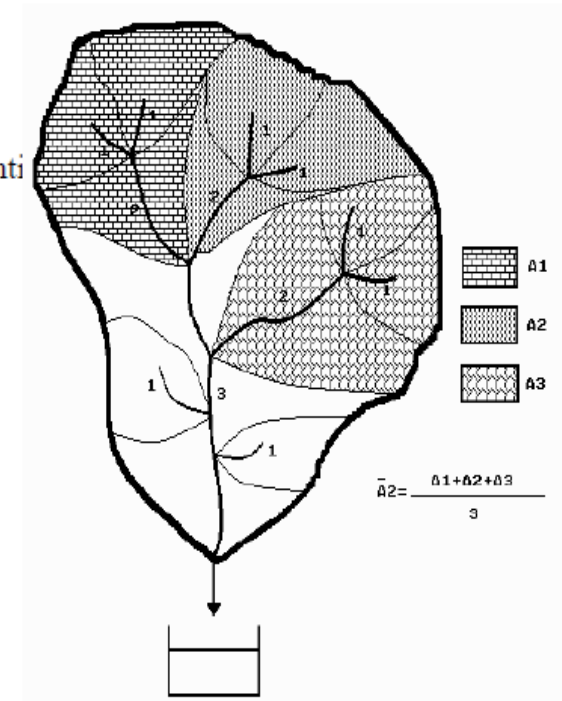
$$\bar{A}_3 = R_A \cdot \bar{A}_2 = R_A \cdot R_A \cdot \bar{A}_1 = R_A^2 \bar{A}_1$$

$$\bar{A}_4 = R_A^3 \bar{A}_1$$

In generale, per  $1 \leq \omega \leq \Omega$ , si ha:

$$\bar{A}_{\omega} = R_A^{\omega-1} \bar{A}_1$$

in cui  $\bar{A}_1$  è l'area media drenata dai canali di ordine 1.



# BACINO IDROGRAFICO

## 3rd HORTON'S law of STREAM AREAS

(SCHUMM, 1956)

THE AVERAGE AREAS DRAINED BY STREAMS OF SUCCESSIVE ORDERS ARE DESCRIBED BY A GEOMETRIC SERIES GROWING ACCORDING TO A CONSTANT *areal ratio*,  $R_A$

$$\bar{A}_u = \bar{A}_1 R_A^{(u-1)}$$

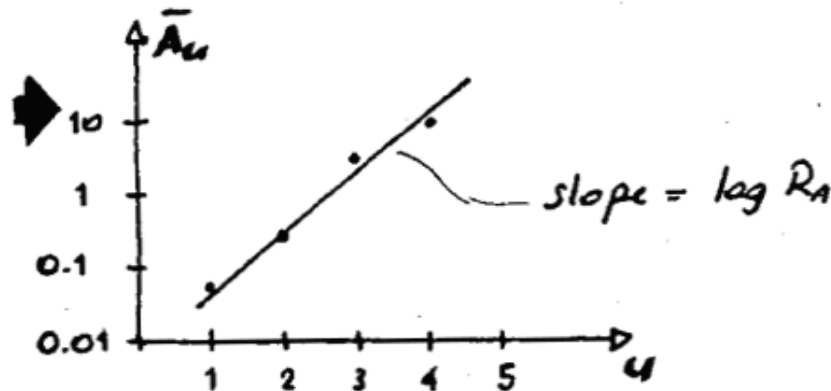
average area drained by order  $u$  streams

average area of 1st order basins

$$R_A = \frac{\bar{A}_u}{\bar{A}_{u-1}}$$

areal ratio

ESTIMATION OF  $R_A$

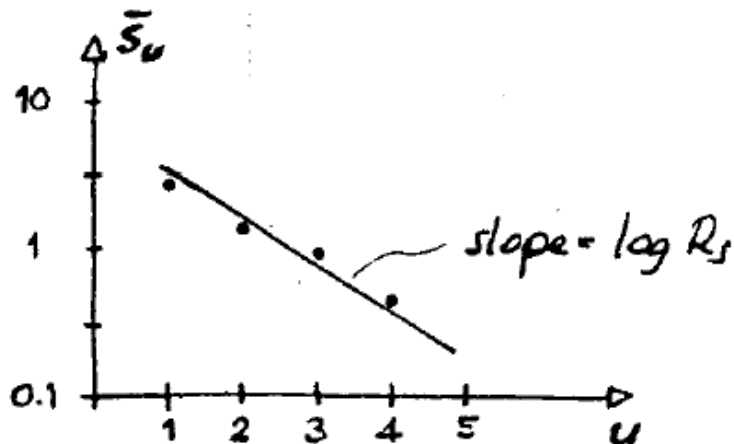


# BACINO IDROGRAFICO

## Law of STREAM SLOPES

THE AVERAGE SLOPES OF STREAMS OF SUCCESSIVE ORDERS ARE DESCRIBED BY A GEOMETRIC SERIES GROWING ACCORDING TO A CONSTANT *slope ratio*,  $R_s$

ESTIMATION OF  $R_s$  ↓



average slope of u-th order streams

$$\bar{S}_u = \bar{S}_1 R_s^{(u-1)}$$

average slope of 1st order streams

slope ratio

$$R_s = \frac{\bar{S}_u}{\bar{S}_{u-1}}$$

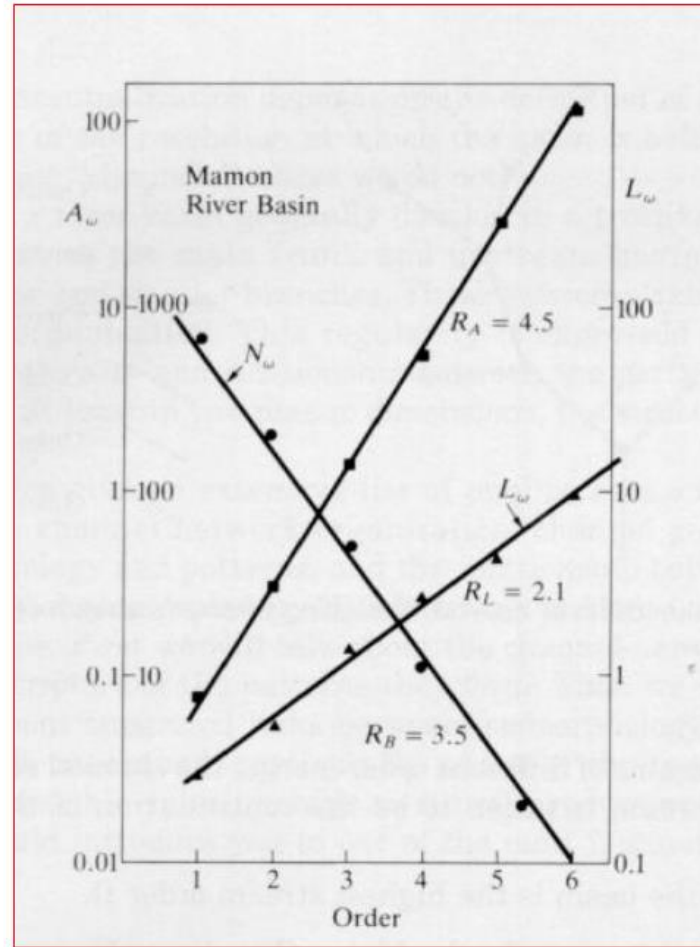
$$\bar{S}_u = \frac{H_u}{L_u}$$

average elevation

average length

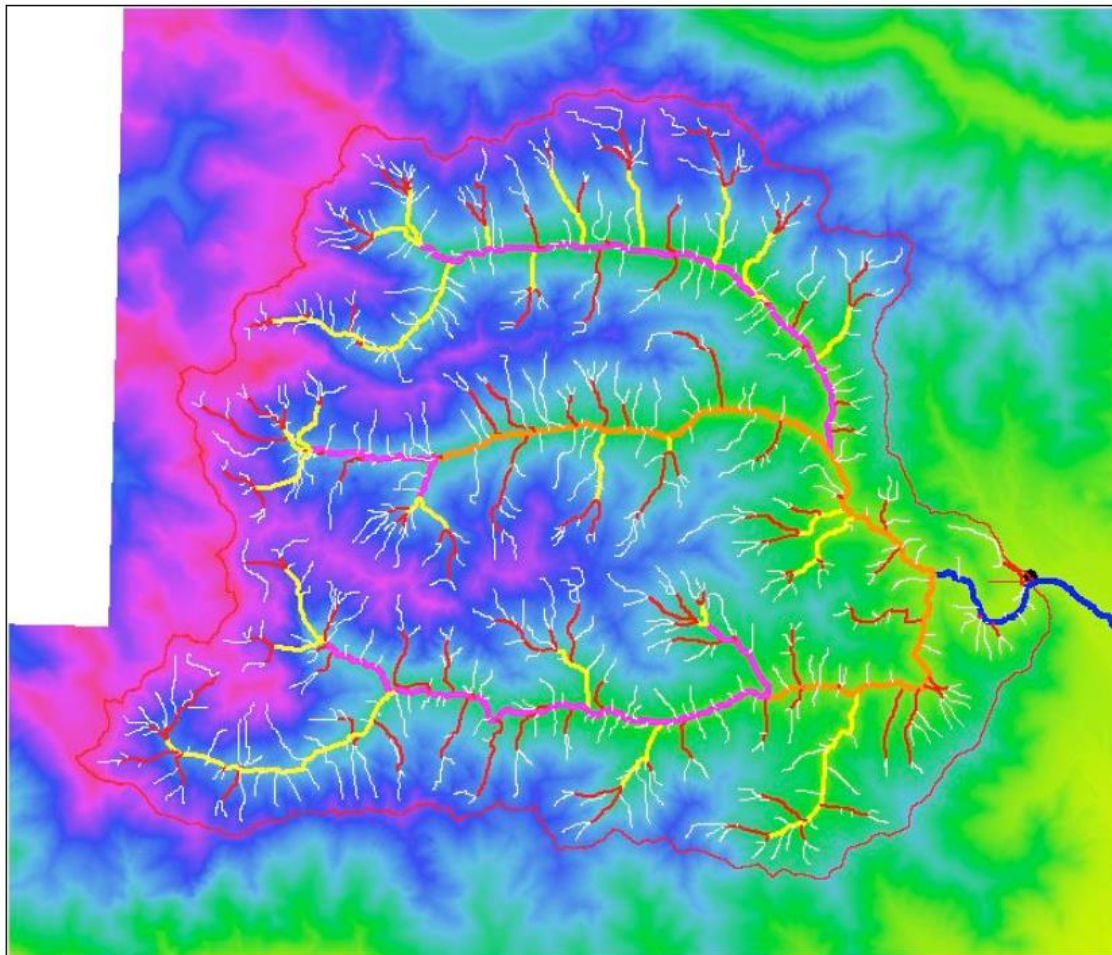
# BACINO IDROGRAFICO

I valori di  $R_B$ ,  $R_L$ ,  $R_A$  possono essere determinati per un certo bacino riportando, in un diagramma semilogaritmico, i valori di  $N_\omega$ ,  $\overline{L_\omega}$ ,  $\overline{A_\omega}$  su  $\omega$  e determinando le rette di migliore adattamento con il metodo dei minimi quadrati. Le pendenze di tali rette di interpolazione sono pari a  $\log R_B$ ,  $\log R_L$ ,  $\log R_A$ .



Nei sistemi reali sono stati trovati per  $R_B$ ,  $R_L$  e  $R_A$  i seguenti intervalli di variazione:  $[2.5 \div 5]$ ,  $[1.5 \div 3]$ ,  $[3.5 \div 6]$ .

# BACINO IDROGRAFICO



*Classificazione secondo Horton – Strahler del reticolo idrografico.*

# BACINO IDROGRAFICO

Il reticolo idrografico è dunque del sesto ordine.

Il **rapporto di biforcazione** (dalla prima legge di Horton) è calcolabile tramite la seguente formula, in cui  $N_i$  è la numerosità dell' $i$ -esimo ordine di aste:

$$R_b = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

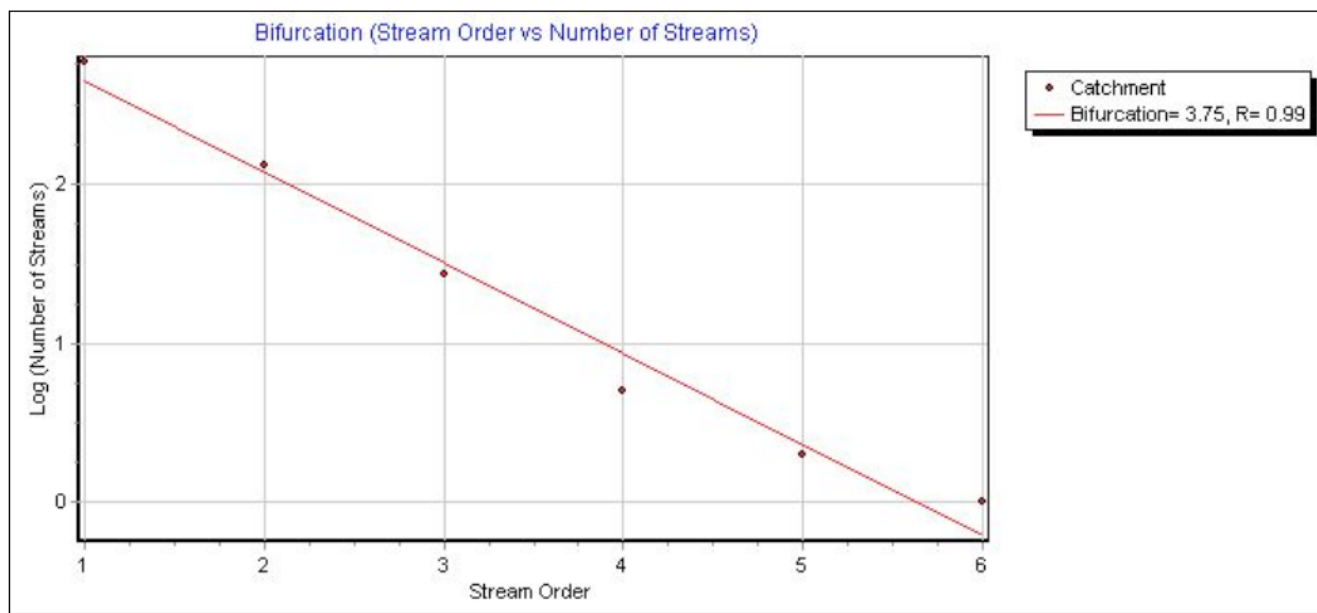
e si mantiene abbastanza costante al variare dell' $i$ -esimo ordine se la rete idrografica è piuttosto regolare. Un metodo per ricavare il rapporto di biforcazione medio del bacino è sfruttare la legge logaritmica:

$$N_{\Omega-i} = R_b^i \rightarrow \log(N_{\Omega-i}) = \log(R_b) \cdot i$$

attraverso un opportuno grafico(fig.1.5):

$$R_b = 3,75$$

Il numero delle aste di ordine  $i$  è dunque 3.75 volte il numero di aste di ordine successivo.



*Fig. 1.5 - Rapporto di biforcazione del reticolo idrografico.*

Il numero totale di aste, secondo Horton, è invece:

$$\sum_{i=1}^{\Omega} N_i = \frac{R_b^{\Omega} - 1}{R_b - 1} = 1011$$

La **densità di drenaggio** è un indice che dà informazioni sulle cause e sugli effetti dei fenomeni idrologici: si presume che ad un'alta densità di drenaggio corrisponda una scarsa, se non nulla, permeabilità della formazione geologica costituente il bacino; inoltre, essa costituisce un fattore peggiorativo delle condizioni di piena (maggiore è la diffusione del flusso canalizzato, minore è il tempo di corrivazione).

$$D = \frac{\sum l_j}{A}$$

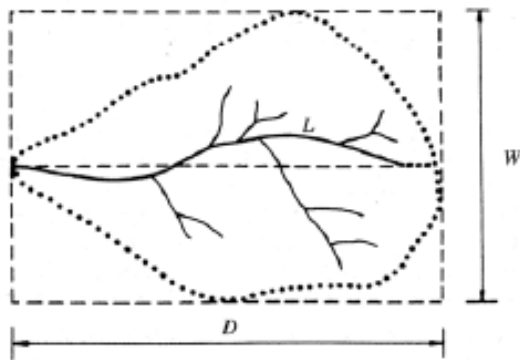
dove:

- $l_j$  = lunghezza di ogni asta di qualsiasi ordine;
- $A$  = area.

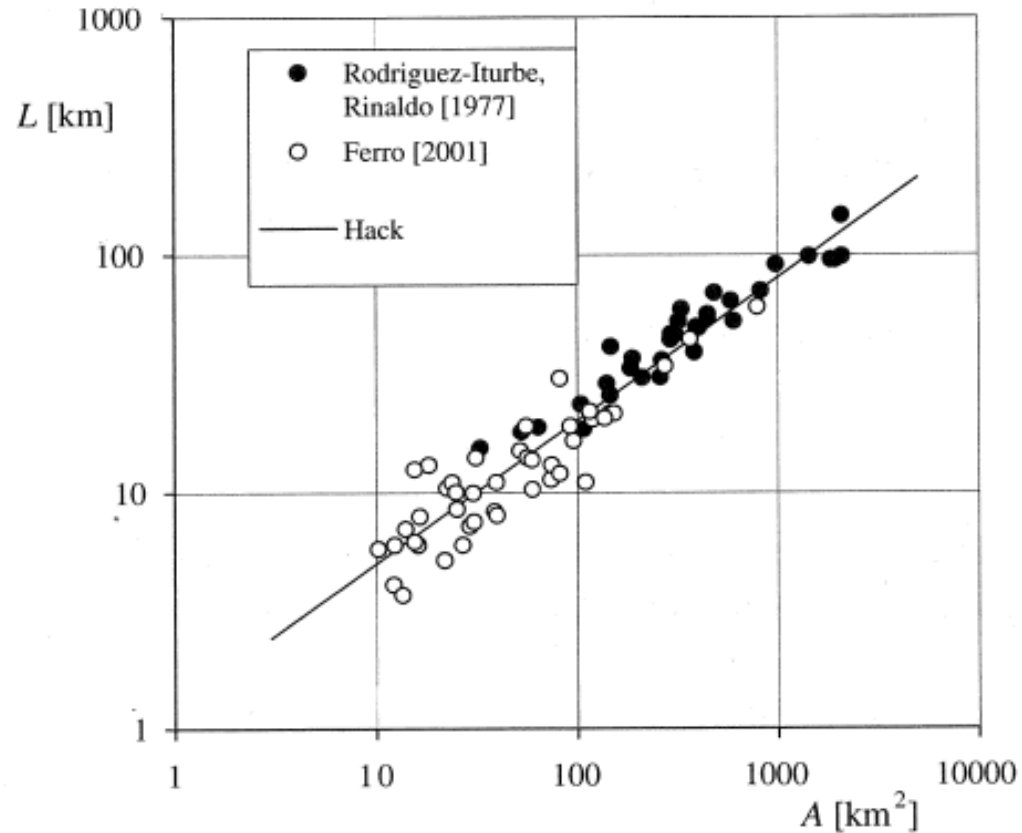
$$D = 1,4684 \text{ Km}^{-1}$$

# BACINO IDROGRAFICO

Al crescere di  $A$ :  
- aumenta sinuosità  
- aumenta  $D/W$



Legge di Hack



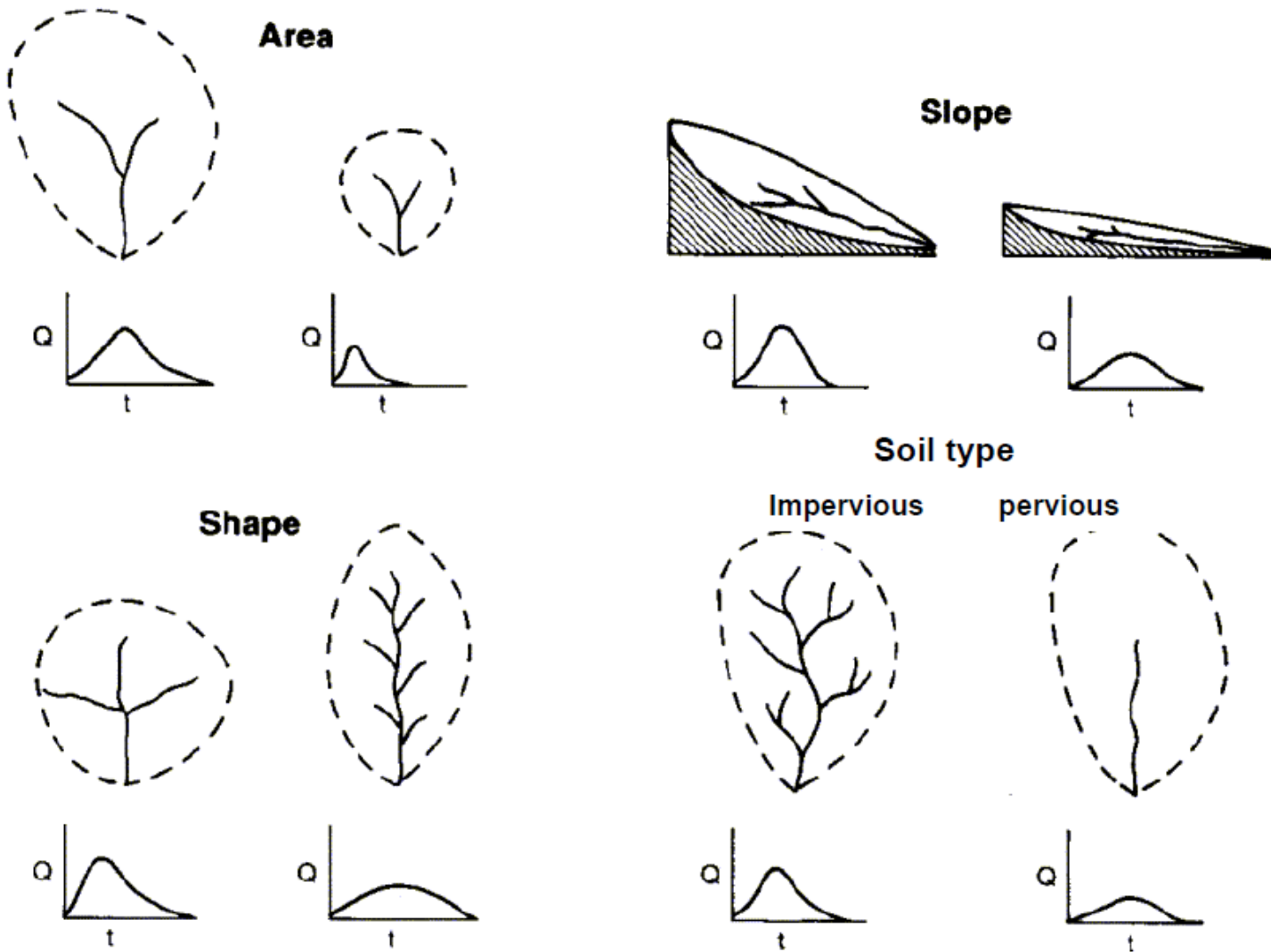
$$L = \alpha A^{\beta}$$

$$\beta \cong 0.6 \quad \alpha \cong 1.4 \quad \text{Hack (1957)}$$

La **legge di Hack** descrive un effetto geometrico: l'area del bacino cresce più lentamente del quadrato della lunghezza del corso d'acqua principale. In altri termini, i bacini idrografici diventano sempre più allungati all'aumentare della loro superficie  $A$ .

# BACINO IDROGRAFICO

## Caratteristiche della risposta idrologica



# BACINO IDROGRAFICO

## TEMPI CARATTERISTICI DEL BACINO

**Tempo di corrivazione:** si può definire, ed associare ad ogni punto del bacino, il tempo impiegato da una goccia che cade in quel punto a raggiungere la sezione di chiusura. (questo tempo viene considerato una costante dipendente solo dal punto e non dalle condizioni di moto).

**Tempo di corrivazione del bacino:** è il tempo impiegato da una goccia che cade nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura. È il massimo tempo di corrivazione fra tutti i punti del bacino.

# BACINO IDROGRAFICO

Formule per il calcolo del tempo di corrivazione del bacino  $t_c$  [ore]:

• **Soil Conservation Service:**  $t_c = 0.00227(1000L_a)^{0.8} [(1000/CN) - 9]^{0.7} i_b^{-0.5}$

• **Ventura:**  $t_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A_b}{i_m}}$

• **Pasini:**  $t_c = \frac{0.108}{\sqrt{i_m}} (A_b L_a)^{1/3}$

• **Giandotti:**  $t_c = \frac{4\sqrt{A_b} + 1.5L_a}{0.8\sqrt{z_m - z_0}}$

• **Viparelli:**  $t_c = \frac{L_a}{3.6V}$

$A_b$  = area bacino [km<sup>2</sup>]

$L_a$  = lunghezza dell'asta principale del bacino [km]

$V$  = velocità media di scorrimento superf. [m/s]: si può porre 1 ÷ 1.5 m/s

$z_m$  = quota media del bacino [m.s.l.m.]

$z_0$  = quota della sezione di chiusura del bacino [m.s.l.m.]

$i_m$  = pendenza media dell'asta principale del bacino [-]

$i_b$  = pendenza media percentuale del bacino [-]

$CN$  = Curve Number del Soil Conservation Service [-], compreso fra 0 e 100

# BACINO IDROGRAFICO

**Linee isocorrive**: luogo dei punti aventi lo stesso tempo di corrivazione. Il tracciamento delle linee isocorrive richiederebbe il calcolo e la determinazione del tempo di corrivazione per ogni punto del bacino. Si ricorre a metodi semplificati.

**Metodo 1 (Viparelli, 1961)**. Le isocorrive si considerano coincidenti con le curve di livello. Il tempo di corrivazione di ciascuna isocorriva è proporzionale alla differenza di quota fra la isoipsa corrispondente e la sezione di chiusura. La costante di proporzionalità è  $t_c / \Delta z_{max}$ , dove  $t_c$  è il tempo di corrivazione del bacino e  $\Delta z_{max}$  il rilievo.

**Metodo 2**. Tempo di corrivazione proporzionale alla distanza fra il punto considerato e la sezione di chiusura. Le isocorrive sono archi di cerchio con centro nella sezione di chiusura.

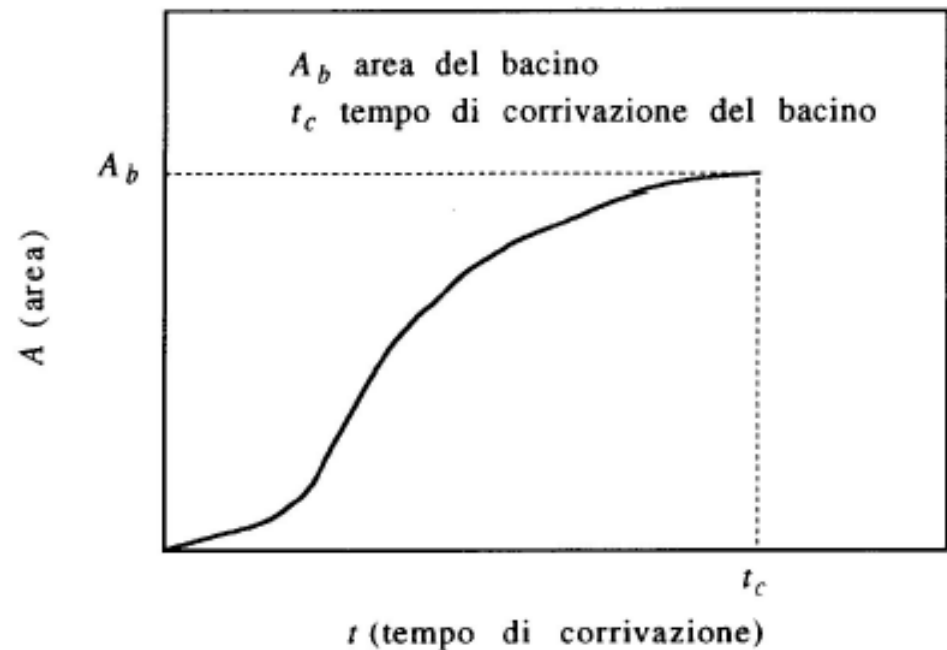
**Metodo 3**. Tempo di corrivazione proporzionale alla lunghezza del percorso compiuto dalla goccia d'acqua che cade nel punto per raggiungere la sezione di chiusura.

# BACINO IDROGRAFICO

Curva area-tempi: caratterizza il comportamento cinematico del bacino. È una curva monotona crescente.

*Ascissa*: i diversi tempi di corrivazione dei punti del bacino. L'intervallo delle ascisse è compreso fra 0 e il tempo  $t_c$  di corrivazione del bacino.

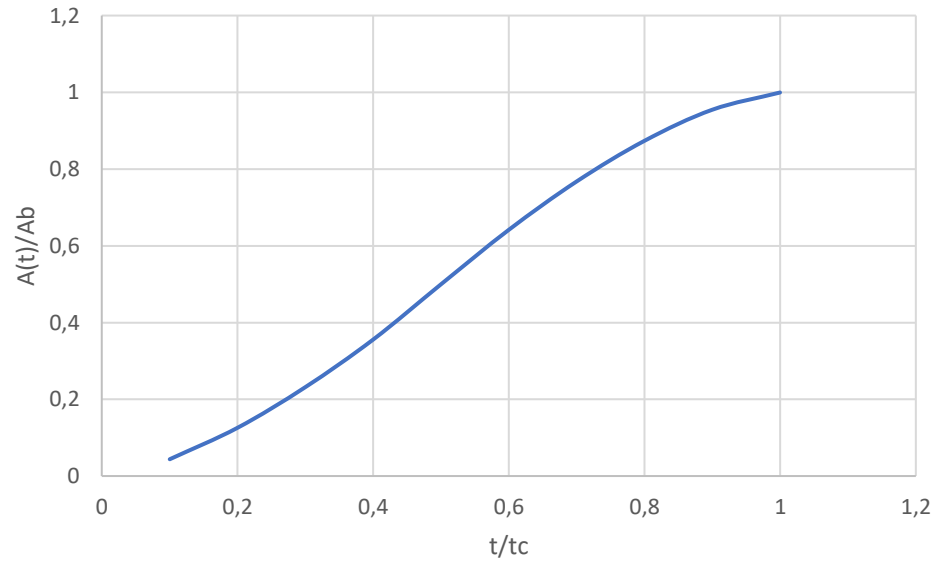
*Ordinata*: le aree del bacino aventi tempi di corrivazione minori o uguali ai corrispondenti tempi letti in ascissa.



Forma standard adimensionale (HEC-HMS):

$$\frac{A(t)}{A_b} = \begin{cases} \sqrt{2} \left( \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} & \text{per } t \leq t_c/2 \\ 1 - \sqrt{2} \left( 1 - \frac{t}{t_c} \right)^{1.5} & \text{per } t > t_c/2 \end{cases}$$

<b>HEC - Hydrologic Engineering Centre</b>		
<b>t/tc</b>	<b>A(t)/Ab</b>	
<b>0,1</b>	<b>0,044</b>	
<b>0,2</b>	<b>0,126</b>	
<b>0,3</b>	<b>0,232</b>	
<b>0,4</b>	<b>0,356</b>	
<b>0,5</b>	<b>0,5</b>	
<b>0,6</b>	<b>0,642</b>	
<b>0,7</b>	<b>0,768</b>	
<b>0,8</b>	<b>0,874</b>	
<b>0,9</b>	<b>0,955</b>	
<b>1</b>	<b>1</b>	

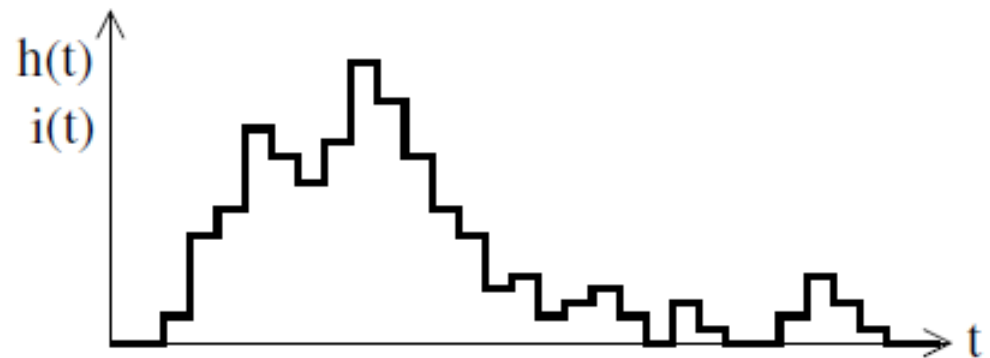


# BACINO IDROGRAFICO

**Ritardo del bacino**: è l'intervallo di tempo fra i baricentri dello ietogramma di pioggia e l'idrogramma dei deflussi di piena nella sezione di chiusura.

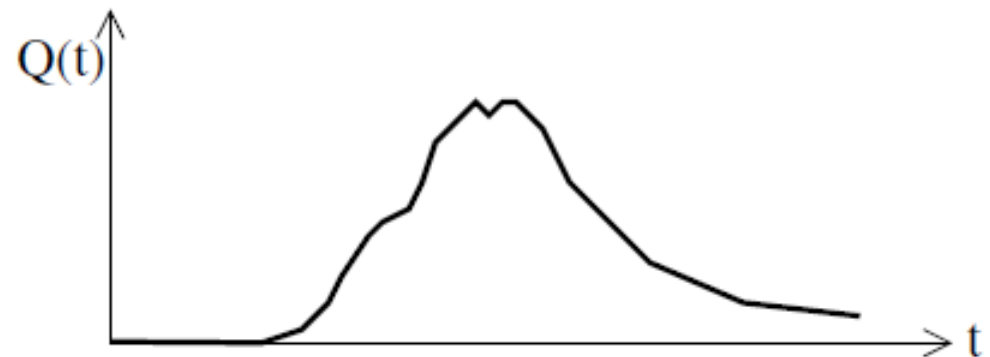
## Ietogramma:

grafico delle altezze o intensità di precipitazione in funzione del tempo.



## Idrogramma:

grafico delle portate (o altezze) di deflusso in funzione del tempo.



# BACINO IDROGRAFICO

## Altre caratteristiche dei bacini

Le **caratteristiche geologiche** (suoli permeabili/impermeabili, rocce compatte o sciolte) influenzano i seguenti processi:

- infiltrazione
- scorrimento sotterraneo
- trasporto solido

Le **caratteristiche della vegetazione** influenzano i seguenti processi:

- infiltrazione (aumenta con la vegetazione)
- ripartizione fra scorrimento superficiale e sotterraneo
- evapotraspirazione
- resistenza all'erosione (trasporto solido)

Le **caratteristiche geografiche** influenzano i seguenti processi:

- climi continentali e marittimi
- regimi di precipitazione
- evaporazione e evapotraspirazione (quota e latitudine)

# BACINO IDROGRAFICO

La geomorfologia fluviale studia i processi di evoluzione del bacino, in particolare:

- evoluzione della morfologia dei bacini e degli alvei
- trasporto solido (carico di fondo, carico sospeso e misto)
- stabilità dei corsi d'acqua
- ... interrimento dei serbatoi.