

Morfometria dei bacini idrografici

Cos'è un bacino idrografico

Definizione

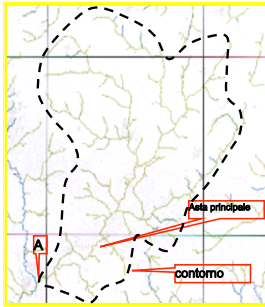
“...l'area che raccoglie la precipitazione in grado di produrre il deflusso superficiale che si ritrova come portata nella sezione di chiusura A”.

Nomenclatura

1. Bacino idrografico= area drenante sottesa dalla sezione idrica A
2. Contorno del bacino = limite di bacino= spartiacque superficiale
3. Rete idrografica= sistema di aste (tronchi) fluviali in un bacino
4. Aste fluviali = ‘blue lines’ sulle carte topografiche

Problemi

Lo spartiacque topografico e freatico possono risultare diversi



Morfometria dei bacini idrografici

Area bacino \neq Area lago



The screenshot displays a GIS application window. On the left, a map shows a river network in blue on a light gray background. A red arrow points to a specific location on the map, labeled '9500'. On the right, a legend titled 'Query...' lists various map features with checkboxes. The checked items are: National Grids, Land and Sea, Urban areas, Drainage paths, Lakes, Gazetteer search result, Place names (major cities), Place name, and Flood peak/event stations. The unchecked items are: NI Border and Gazetteer search result.

Query...

- ☐ NI Border
- ☒ National Grids
- ☒ Land and Sea
- ☒ Urban areas
- ☒ Drainage paths
- ☒ Lakes
- ☒ Gazetteer search result
- ☒ Place names (major cities)
- ☒ Place name
- ☒ Flood peak/event stations

9500

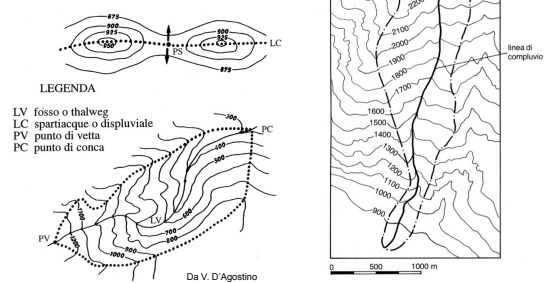
P.Claps

5

[illegible]

Morfometria dei bacini idrografici

Delimitazione del bacino idrografico

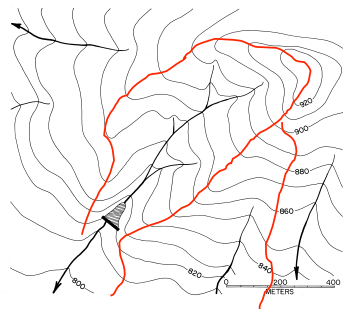


P Claps

7

Morfometria dei bacini idrografici

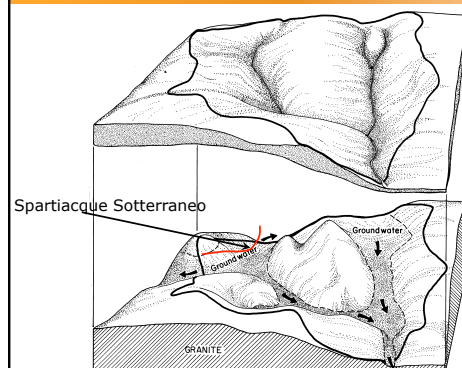
spartiacque superficiale



P Claps

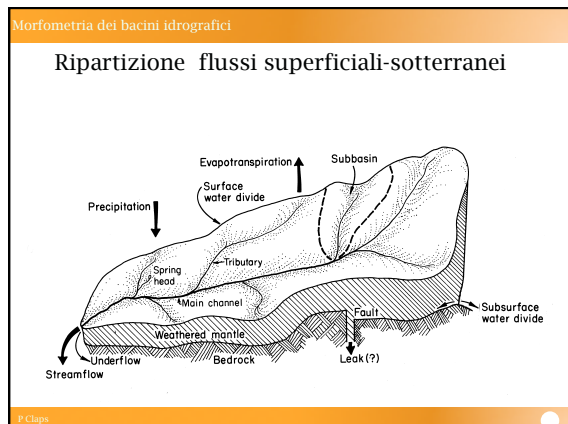
●

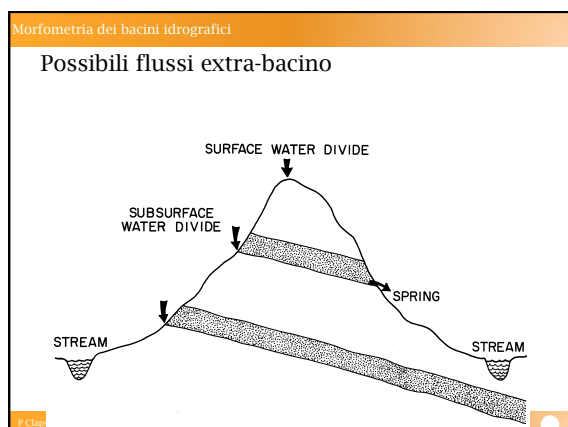
Morfometria dei bacini idrografici

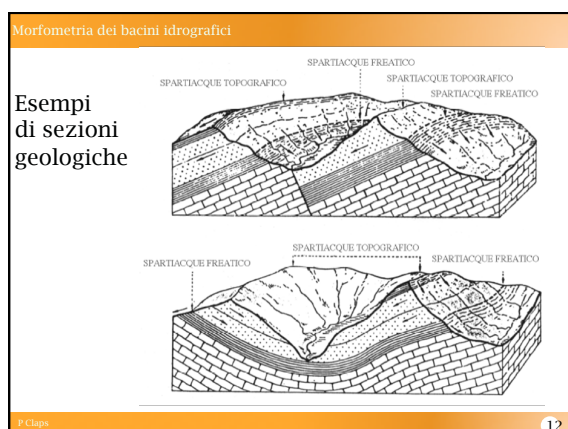


P Claps

●







Morfometria dei bacini idrografici

CURVA IPSOGRAFICA

$\alpha(z)$ = area elementare avente quota z

a = area cumulata progressiva

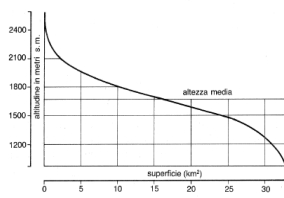
A = area totale del bacino

$$Z(a) = Z : \int_A \alpha(z \geq Z) = a$$

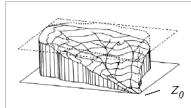
oppure

$$a(Z) = \int_A \alpha(z \geq Z)$$

Data la quota Z , fornisce l'area complessiva a posta a quota non inferiore a Z



Da V. D'Agostino



$$\text{Altitudine media } \bar{Z} = \frac{\sum_i Z_i A_i}{A}$$

$$\text{Altitudine media relativa } \bar{z} = Z - Z_0$$

P Claps

13

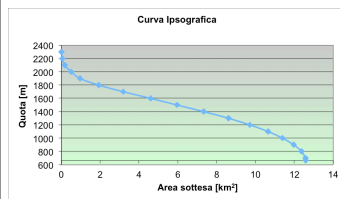
Morfometria dei bacini idrografici

CURVA IPSOGRAFICA DISCRETIZZATA

α_i = frazione di area compresa tra le curve di livello posto i e $i+1$ aventi quota Z_i e Z_{i+1}

a_i = area complessiva posta al di sopra della curva di livello di posto i .

K = max indice posizione isoipsa



$$a_i = \sum_{j>i} \alpha_j$$

$$Z(a_i) = Z_i : \sum_{j>i} \alpha_j = a_i$$

QUOTA MEDIA DEL BACINO

$$\bar{Z} = \frac{1}{A} \int_Z \alpha(z) z$$

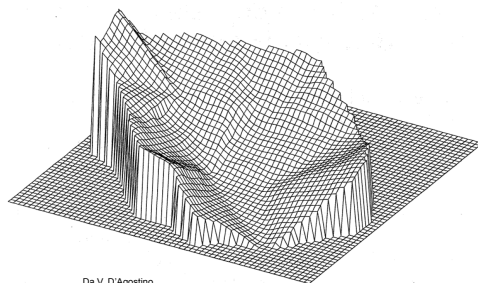
$$\bar{Z} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^{K-1} \alpha_j \frac{z_j + z_{j+1}}{2}$$

P Claps

14

Morfometria dei bacini idrografici

Modello Digitale del Terreno (DTM)



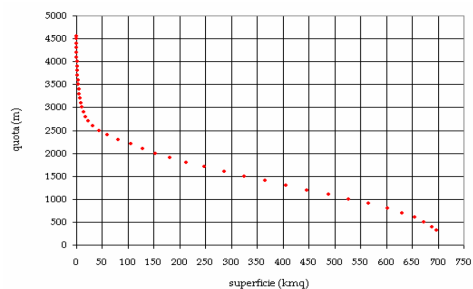
Da V. D'Agostino

P Claps

15

Morfometria dei bacini idrografici

Curva ipsografica dal DTM

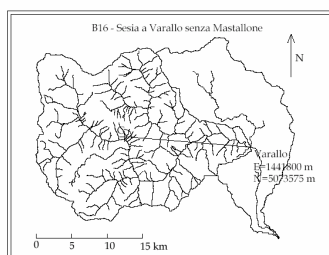


P. Claps

16

Morfometria dei bacini idrografici

Sesia a Borgosesia e sottobacini chiusi a Varallo

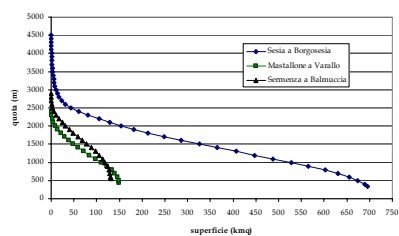


P. Claps

17

Morfometria dei bacini idrografici

curve ipsografiche del bacino alpino del Sesia

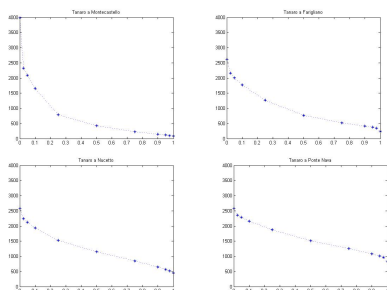


P. Claps

18

Morfometria dei bacini idrografici

Curve ipsografiche



P. Claps

19

Morfometria dei bacini idrografici

CURVA IPSOGRAFICA ADIMENSIONALE (IPSOMETRICA)

 $\Delta Z = Z_{max} - Z_{min} = Z_{max} - Z(A)$ = rilievo del bacino

 $\zeta = \frac{Z - Z_{min}}{\Delta Z}$ = quota relativa (compresa tra 0 e 1)

 La curva è riferita all' area relativa a/A (compresa tra 0 e 1) $\zeta\left(\frac{a}{A}\right) = \frac{Z(a) - Z(A)}{\Delta Z}$

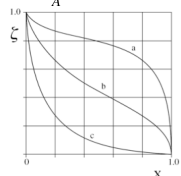
 INTEGRALE IPSOMETRICO: $H = \int_{\zeta=0}^1 \zeta(x) dx$ $x(z) = \frac{a(z)}{A}$ = area elementare avente quota z
 $H > 0.6$ Stadio Giovanile (a)

 $0.4 < H < 0.6$ stadio Maturo (b)

 $H < 0.4$ Stadio Senile (c)

RAPPRESENTAZIONE MATEMATICA (STRAHLER)

$$\zeta\left(\frac{a}{A}\right) = \zeta(x) = \left(\frac{1-x}{1-x_0}\right)^z$$

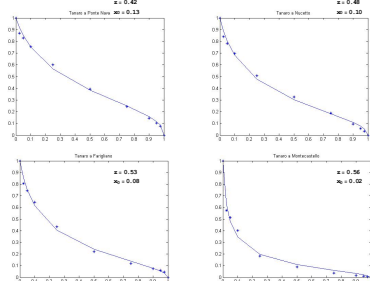


P. Claps

20

Morfometria dei bacini idrografici

Curve ipsometriche



P. Claps

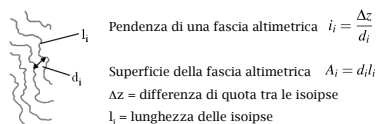
21

Morfometria dei bacini idrografici

PENDENZA MEDIA DEL BACINO

Metodo di Alvard-Horton

La pendenza media di bacino i_m risulta dalla media pesata delle pendenze locali.



$$i_i = \frac{\Delta z}{d_i} = \frac{l_i \Delta z}{l_i d_i} = \frac{l_i \Delta z}{A_i} \quad i_m = \sum_i i_i \frac{A_i}{A} = \frac{\Delta z}{A} \sum_i l_i$$

Se si ha a disposizione un DEM si possono generare automaticamente le pendenze delle singole celle e da queste calcolare il valore medio

P. Claps

22

Morfometria dei bacini idrografici

PENDENZA MEDIA DELL'ASTA PRINCIPALE

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

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

Si parte dalla formula di Chézy:

$$v = k \sqrt{Ri} \quad v \propto \sqrt{i}$$

$$t = \frac{L}{v} \propto \frac{L}{\sqrt{i}} \quad \frac{L}{\sqrt{i_m}} = \sum_k \frac{l_k}{\sqrt{i_k}}$$

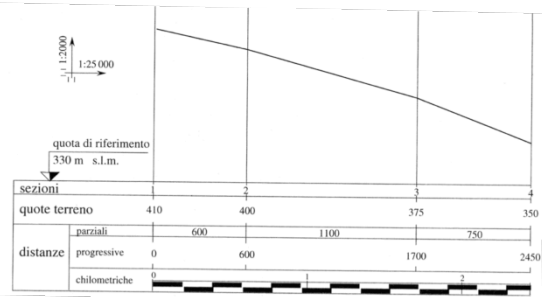
$$\frac{1}{\sqrt{i_m}} = \frac{1}{L} \sum_k \frac{l_k}{\sqrt{i_k}}$$

P. Claps

23

Morfometria dei bacini idrografici

PROFILO LONGITUDINALE DELL'ASTA PRINCIPALE



Da V. D'Agostino

P. Claps

24

Morfometria dei bacini idrografici

INDICI DI FORMA DEL BACINO

I fattori di forma di un bacino sono degli indici adimensionali che forniscono un'idea approssimativa della forma planare del bacino idrografico. Essi sono essenzialmente funzione dell'area A , del perimetro P e della lunghezza dell'asta principale L .

Rapporto di circolarità :

$$R_c = \frac{A_b}{A_c(P)} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Esprime il rapporto tra la superficie A del bacino e l'area di un cerchio avente perimetro P uguale a quello del bacino:

$$\frac{A}{\pi R^2} = \frac{4\pi A}{(2\pi R)^2} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

(R è il raggio del cerchio equivalente).

P Claps

25

Morfometria dei bacini idrografici

Coefficiente di uniformità (o di compattezza - di Gravelius):

$$C_u = \frac{P_b}{P_c(A)} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

È il rapporto tra il perimetro P del bacino ed il perimetro di un cerchio con area uguale al bacino in esame:

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

Indica il grado di irregolarità del contorno del bacino.

P Claps

26

Morfometria dei bacini idrografici

Fattore di forma:

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

Indica approssimativamente il grado di sinuosità dell'asta principale. Corrisponde alla differenza tra la forma attuale e quella di un quadrato.

Rapporto di allungamento

$$R_a = \frac{P_c(A)}{L} = \frac{2\sqrt{A}}{L\sqrt{\pi}}$$

È il rapporto tra il diametro del cerchio di area A :

$$D = 2\frac{\sqrt{A}}{\sqrt{\pi}}$$

e la lunghezza dell'asta principale L .

P Claps

27

Morfometria dei bacini idrografici

Densità di drenaggio:

E' data dal rapporto:

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \left[\frac{\text{km}}{\text{km}^2} \right]$$

L = lunghezza totale della rete di drenaggio [km]

A = area del bacino [km²]

Lunghezza media dei versanti:

Per densità di drenaggio costante, un tratto di alveo di lunghezza L_c drena mediamente una superficie $S_c = \frac{L_c}{D}$

Tale superficie è approssimabile con due falde simmetriche di larghezza L_v , per cui

$$S_c = 2L_v \cdot L_c \iff L_v = \frac{1}{2D}$$

P. Claps

28

Morfometria dei bacini idrografici

Densità di drenaggio

Dendritica



Parallela



Radiale

Influenzata da:

- Geologia
- Clima
- Topografia
- Uso del suolo

Quantificabile con:

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

dove:

D_d = densità di drenaggio (km km⁻²)

L = estensione della rete (km)

A = area del bacino (km²)

D_d importante perchè:

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

P. Claps

29

Morfometria dei bacini idrografici

La Densità di Drenaggio non è un rapporto adimensionale, poiché rappresenta il numero di chilometri di reticolo drenante per ogni chilometro quadrato di superficie di bacino. l'unità di misura è pertanto il km⁻¹.

A differenza dei fattori di forma, risente della scala di osservazione alla quale si va ad analizzare il bacino per ricavarne le caratteristiche fisiche e morfologiche.

Mentre infatti i valori della superficie, del perimetro e della lunghezza dell'asta principale sono pressoché invarianti in funzione della scala utilizzata, il valore della lunghezza totale del reticolo risente notevolmente di essa.

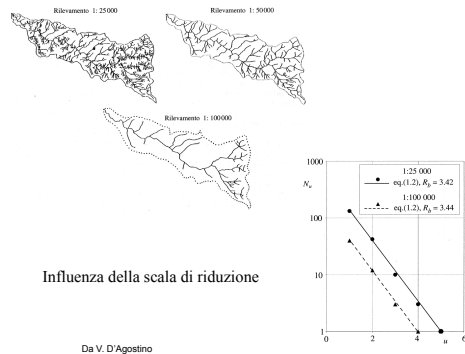
Maggiore è il dettaglio cartografico di riferimento, maggiore è anche il dettaglio con cui vengono individuati tutti i rami drenanti sul territorio: la somma delle lunghezze di tutti questi rami risulta in questo modo alquanto variabile.

La validità del parametro rimane comunque inalterata ai fini del confronto tra i valori riscontrati in diversi sottobacini osservati alla stessa scala.

P. Claps

30

Morfometria dei bacini idrografici



P. Claps

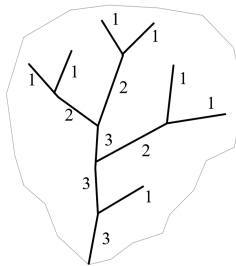
31

Morfometria dei bacini idrografici

SCHEMI DI GERARCHIZZAZIONE DEI RETICOLI IDROGRAFICI

LO SCHEMA ORDINATIVO DI HORTON-STRAHLER

Horton [1945]; Strahler [1952,1964]



Numero d'ordine:

1. Le sorgenti danno origine a canali (o rami) di ordine 1;
2. Quando due canali di ordine i si congiungono, il canale emissario è di ordine $j=i+1$;
3. Quando due canali di ordine i e j si uniscono, il canale emissario assume l'ordine maggiore tra i due
4. L'ordine Ω del bacino idrografico è quello del canale di ordine massimo.

P. Claps

32

Morfometria dei bacini idrografici

LEGGI DI HORTON

Prima legge di Horton (numero delle aste)

La successione $\{N_1, N_2, \dots, N_\Omega\}$ del numero delle aste di diverso ordine segue una serie geometrica inversa:

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

R_B = rapporto di biforcazione ($3 < R_B < 5$)

$$N_i = R_B^{\Omega-i}$$

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

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

P. Claps

33

Morfometria dei bacini idrografici

Ordine u	N_u	R_b
1	5966	
2	1529	3.9
3	378	4.0
4	68	5.7
5	13	5.3
6	3	4.3
7	1	3.0
media		4.37

Rapporto di biforcazione:

$$R_u = \frac{N_{u-1}}{N_u}$$

Il rapporto di biforcazione si mantiene quasi costante

$$\bar{R}_k = \sum_{u=2,k} \frac{R_u}{k}$$

 k = ordine del bacino

I legge di Horton:

$$N_u = \bar{R}_b^{(k-u)}$$

Da V. D'Agostino

P. Claps

34

Morfometria dei bacini idrografici

Seconda legge di Horton (lunghezze)

La successione $\{L_1, L_2, \dots, L_\Omega\}$ della lunghezza delle aste di diverso ordine segue una serie geometrica diretta.

$$\frac{\bar{L}_i}{\bar{L}_{i-1}} = R_L$$

 R_L = rapporto delle lunghezze ($1.5 < R_L < 3.5$) \bar{L}_i = lunghezza media delle aste di ordine i

$$\bar{L}_i = \bar{L}_1 \cdot R_L^{i-1}$$

In base a questa relazione, la lunghezza dell'asta hortoniana principale L_Ω risulta:

$$L_\Omega = \bar{L}_1 \cdot R_L^{\Omega-1}$$

P. Claps

35

Morfometria dei bacini idrografici

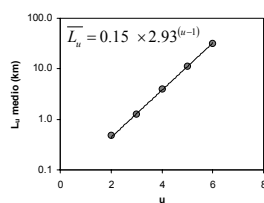
Lunghezza cumulata:

$$L_u^* = \sum_{u=1}^u L_u$$

$$\bar{L}_u = \bar{L}_1 \cdot \bar{R}_L^{(u-1)}$$

II legge di Horton:

u	L_u (km)	R_L	teorica
1	0.15	-	
2	0.48	3.200	0.44
3	1.29	2.688	1.29
4	4.00	3.101	3.77
5	11.30	2.825	11.06
6	32.20	2.850	32.39
media		2.933	



Da V. D'Agostino

P. Claps

36

Morfometria dei bacini idrografici

Terza legge di Horton (pendenze)

E' analoga alla prima legge:

$$\frac{\bar{J}_{i-1}}{\bar{J}_i} = R_J$$

R_J = rapporto delle pendenze ($1.5 < R_J < 3$)

\bar{J}_i = valor medio delle pendenze J_i dei canali di ordine i

$$J_i = J_0 R_J^{0-i}$$

P. Claps

37

Morfometria dei bacini idrografici

Legge delle aree (Schumm)

Ha formulazione analoga a quella della seconda legge di Horton:

$$\frac{\bar{A}_i}{\bar{A}_{i-1}} = R_A$$

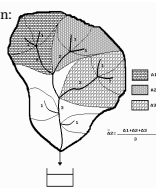
R_A = rapporto delle aree ($3 < R_A < 6$)

\bar{A}_i = valor medio delle aree A_i drenate dai c canali di ordine i

$$\bar{A}_i = \bar{A}_1 \cdot R_A^{i-1}$$

Relazione di Schumm [1956]

\bar{L}_w = lunghezza media dei tratti di ordine w $\bar{L}_w \cong \bar{A}_w^{0.55}$



P. Claps

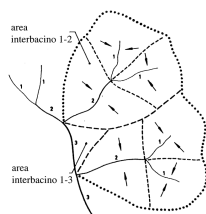
38

Morfometria dei bacini idrografici

Rapporto di area

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

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



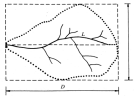
Da V. D'Agostino

P. Claps

39

Morfometria dei bacini idrografici

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



Legge di Hack

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

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

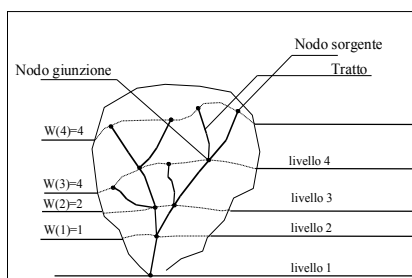
Da V. D'Agostino

P. Claps

40

Morfometria dei bacini idrografici

SCHEMA ORDINATIVO DI SHREVE [1966, 1967]



Il numero dei segmenti esterni, indicato con n , è detto magnitudine M della rete. Poiché si assume che in una giunzione si uniscano non più di due segmenti, si ha $M=2n-1$.

P. Claps

41

Morfometria dei bacini idrografici

SCHEMA ORDINATIVO DI SHREVE [1966, 1967]

Nello schema proposto da Shreve [1966, 1967], si considera il reticolo idrografico come un albero trivalente, composto da nodi e tratti, essendo i tratti o segmenti compresi fra due nodi successivi ed i nodi definibili in due tipi: sorgente e giunzione.

Data la distinzione dei nodi fra sorgenti e giunzioni, i segmenti che compongono la rete si distinguono fra interni ed esterni.

I segmenti esterni sono compresi tra una sorgente e la prima giunzione a valle; quelli interni sono invece compresi tra due successive giunzioni o tra la sezione di chiusura e la prima giunzione a monte di questa.

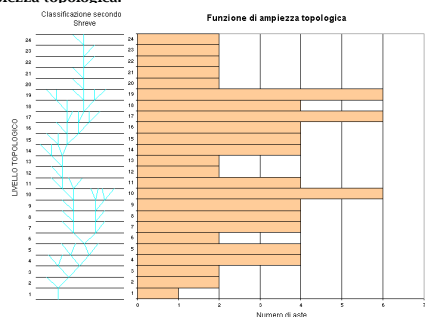
La distanza topologica di un segmento dalla sezione di chiusura è pari al numero di segmenti che bisogna attraversare per giungervi; tutti i segmenti che hanno la stessa distanza topologica appartengono allo stesso livello topologico. La massima distanza topologica all'interno della rete ne costituisce il diametro d . La funzione di larghezza $W(x)$ della rete fornisce il numero dei segmenti che appartengono ad ogni livello x .

P. Claps

42

Morfometria dei bacini idrografici

Classificazione del reticolo secondo Shreve e la relativa funzione di ampiezza topologica.

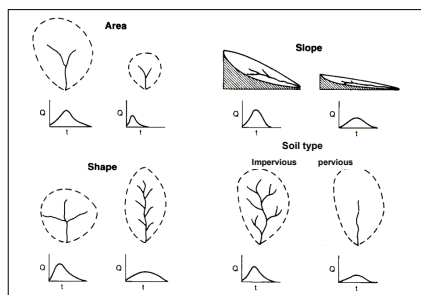


P Claps

43

Morfometria dei bacini idrografici

Caratteristiche della risposta idrologica



P Claps

44
