Stime delle portate di piena con metodi indiretti

Emanuele Baratti

Recapiti: DICAM – Costruzioni idrauliche
Mail: emanuele.baratti@unibo.it

Contenuto della presentazione

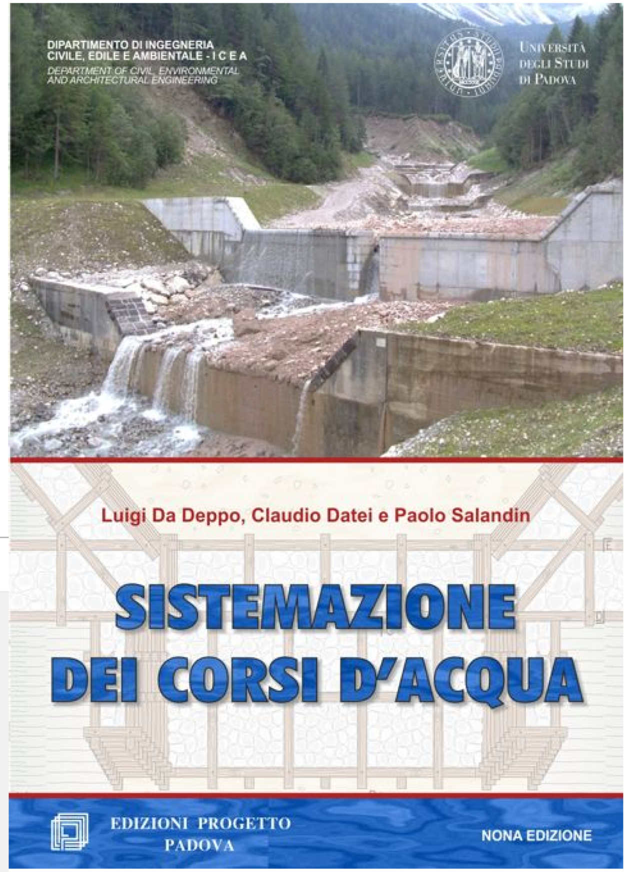
Premessa

- Materiale
- Ordini di grandezza

Metodi indiretti

- Formule empiriche
- Formula razionale
- Metodi regionali

Premessa - Materiale



Premessa - Ordini di grandezza

E' importante “aver un'idea” dell'ordine di grandezza della variabile che stiamo studiando. Serve, ad esempio, come verifica ai calcoli eseguiti. Serve per farsi un'idea di massima della dimensione tecnica dell'opera, del problema da analizzare.

Premessa - Ordini di grandezza

E' importante “aver un'idea” dell'ordine di grandezza della variabile che stiamo studiando. Serve, ad esempio, come verifica ai calcoli eseguiti. Serve per farsi un'idea di massima della dimensione tecnica dell'opera, del problema da analizzare.

Solitamente, riguardo alla portata di piena, gli “ordini di grandezza” sono espressi in portata specifica (l'area del bacino ha un impatto notevole sulla portata di piena).

Premessa - Ordini di grandezza

E' importante “aver un'idea” dell'ordine di grandezza della variabile che stiamo studiando. Serve, ad esempio, come verifica ai calcoli eseguiti. Serve per farsi un'idea di massima della dimensione tecnica dell'opera, del problema da analizzare.

Solitamente, riguardo alla portata di piena, gli “ordini di grandezza” sono espressi in portata specifica (l'area del bacino ha un impatto notevole sulla portata di piena).

Per bacini italiani, se si riferisce a:

- portata di piena associata ad un **Tr 100 anni**: 1-45 m^3/s per km^2
- portata di piena ordinaria (viene uguagliata o superata per un quarto dei giorni dell'anno): 0.1-5 m^3/s per km^2
- portata media: 0.01-0.5 m^3/s per km^2

Premessa - Ordini di grandezza

NOTA:

- non è un intervallo rigido. Ex il Po a Pontelagoscuro – Area ~70000 km^2, ha $Q_{(Tr=100)}$=~12000 m^3/s. Portata specifica 0.17 m^3/s per km^2).
- C'è una estrema variabilità (essa è fortemente correlata alle dimensioni nel bacino).
- Generalmente cresce al diminuire delle dimensioni del bacino. Infatti:
    - un bacino “grande” è poco probenga interessato contemporaneamente ed interamente da un evento meteorico. Un bacino “piccolo” invece, è più probabile che venga completamente interessato da un evento meteorico. Spesso accade che un bacino “grande” contribuisce “a pezzi” al deflusso alla sezione di chiusura. Un bacino grande interessato da una pioggia breve, non contribuisce mai interamente al deflusso nella sezione di chiusura.
    - inoltre, I bacini “grandi”, solitamente vengono messi in crisi da piogge molto prolungate nel tempo (generalmente “poco” intensi). Bacini piccoli invece vengono messi in crisi da eventi brevi (generalmente “più” intensi).

Metodi indiretti

Metodi diretti si basano sull'analisi dei dati (e.g. serie storica dei dati di portata media giornaliera, massimi annuali, etc.).

Si utilizzano I metodi indiretti quando non si hanno dati a disposizone o quando I dati a disposizione non sono sufficienti per poter adottare (in modo “sensato”) I metodi diretti.

Formule empiriche

Approccio utilizzato soprattutto in passato (oggi poco utilizzato)

Nel dopoguerra, soprattutto a causa della forte crescita economica, il problema della stima della Q al colmo di piena in sezioni non strumentate si è presentato in maniera importante.

==> sviluppo delle formule empiriche.

Formule empiriche

Approccio utilizzato soprattutto in passato (oggi poco utilizzato)

Nel dopoguerra, soprattutto a causa della forte crescita economica, il problema della stima della Q al colmo di piena in sezioni non strumentate si è presentato in maniera importante.

==> sviluppo delle formule empiriche.

Idea di base: **si hanno a disposizione dati in sezioni strumentate** (circa 30-50 anni di dati a disposizione)**. Come si può stimare la Q piena nelle sezioni non strumentate?**

==> Nelle sezioni strumentate, cerchiamo di trovare una relazione/delle regolarità tra la stima della Q piena ed alcune caratteristiche del bacino (ad esempio l'area).

==> Se esiste questa relazione, allora nelle sezioni non strumentate, possiamo estenderla/utilizzarla anche per sezioni non strumentate.

==> FORMULE EMPIRICHE

Formule empiriche

Non danno alcuna specifica sul Tr delle portate che si ottengono, nè indicazioni sulla forma o I volumi dell'idrogramma di piena.

Tuttavia, poichè tali formule
- sono state dedotte in via cautelativa
- si basavano sulla disponibilità dati di circa 50 anni

==> si riferiscono ad un Tr di circa 100 anni

Approccio che venne adottato da diversi autori, in diverse regioni d'Italia. Esistono diverse formule, che danno risultati differenti e con elevata incertezza. Al giorno d'oggi possono essere utilizzate per ottenere indicazioni piuttosto che valori su cui fondare la progettazione.

Formule empiriche

Formula di Whistler (1919)

$$q_{max} = \frac{1538}{S + 259} + 0.054$$

S in km^2

Nota:

- q max è in m^3/s per km^2 (portata specifica di piena)
- è del 1919
- l'unica variabile significativa/q dipende solamente dalla superficie del bacino
- non è dimensionalmente omogenea (come la maggior parte delle formule empiriche, utilizza dei coefficienti correttivi assieme ad "altre grandezze caratteristiche del bacino" (in questo caso S), per stimare la portata specifica al colmo
- Scimemi, nel 1928, gli ha riconosciuto un'applicabilità per bacini Italiani di area compresa fra 1000 e 12000 km^2.
- al crescere di S cala la q

Formule empiriche

Formula di Scimemi (1928):

$$q_{max} = \frac{600}{S+10} + 1$$

S in km^2

Nota:

- q max è in m^3/s per km^2 (portata specifica di piena)
- è del 1928
- l'unica variabile significativa/q dipende solamente dalla superficie del bacino
- non è dimensionalmente omogenea (come la maggior parte delle formule empiriche, utilizza dei coefficienti correttivi assieme ad “altre grandezze caratteristiche del bacino” (in questo caso S), per stimare la portata specifica al colmo
- applicabile per bacini con $S \leq 1000$ km^2
- al crescere di S cala la q di piena

Formule empiriche

Formula di Forti (1920):

$$q_{max} = 3.25 \frac{500}{S+125} + 1$$

S in km^2
$S \leq 1000\ km^2$ esposti a precipitazioni massime di circa 400 mm in 24 ore

$$q_{max} = 2.35 \frac{500}{S+125} + 0.50$$

S in km^2
$S \leq 1000\ km^2$ esposti a precipitazioni massime di circa 200-250 mm in 24 ore

Nota:
- q max è in m^3/s per km^2 (portata specifica di piena)
- è del 1920
- le varibili significative sono la superficie del bacino e le precipitazioni massime (novità!!)
- non è dimensionalmente omogenea
- applicabile per bacini con $S \leq 1000\ km^2$
- al crescere di S cala la q di piena

Formule empiriche

Formula di Pagliaro (1936):

$$q_{max} = \frac{2900}{S+90} + 1 \qquad \text{S in km}^2$$

Nota:
- q max è in m^3/s per km^2 (portata specifica di piena)
- è del 1936
- l'unica variabile significativa/q dipende solamente dalla superficie del bacino
- non è dimensionalmente omogenea
- applicabile per bacini con $20 \leq S \leq 1000\ km^2$
- al crescere di S cala la q di piena

Formule empiriche

Formula di Gherardelli-Marchetti (1955):

$$q_{max} = q_{100}\left(\frac{S}{100}\right)^{-2/3}$$

S in km^2

Nota:

- formula ampliamente utilizzata (perchè si basa su un elevato numero di dati + gli autori hanno introdotto una dipendenza dalla collocazione geografica)
- q_{100} rappresenta un valore regionale. Gli autori hanno fornito I valori di q100 per ogni regione italiana. q_{100} si riferisce alla portata di piena di un bacino con estensione pari a 100 km^2 (da NON confondere con $Q_{Tr=100\ anni}$)
- La variabilità di q_{100} è data dalle differenti condizioni climatiche, geo-morfologiche, topografiche dei bacini, delle regioni (aspetti chiave delle trasformazii afflussi-deflussi).
- S/100 rapporto delle aree (S=area del bacino. 100 è l'area del bacino di riferimento)
- al crescere di S cala la q di piena

Formule empiriche

Formula di Giandotti:

Qmax è espresso in m^3/s

$$Q_{max} = 0.277\lambda\phi \frac{a t_c^{\,n-1}}{k} S$$

ϕ coefficiente di afflusso [/] [0-1]

kt_c tempo di base dell'idrogramma di piena K è [/] (tempo che intercorre da quando un onda di piena si origina a quando si esaurisce)

λ fattore di forma dell'onda di piena [/] (dipende dalla collocazione geografica, è tabulato)

a, n parametri della linea segnalatrice (curva di possibilità pluviometrica; dipende dalla collocazione geografica; a ed n sono tabulati)

t_c tempo di corrivazione [ore]

S superficie del bacino [km^2]

Formule empiriche

Formula di Giandotti:

Qmax è espresso in m^3/s

$$Q_{max} = 0.277 \lambda \phi \frac{a t_c^{\,n-1}}{k} S$$

Tipo di Superficie	Φ
Superficie pavimentata	0.7-0.9
Strade in terra	0.4-0.6
Superficie erbosa	0.1-0.7
Aree residenziali	0.3-0.7
Boschi	0.1-0.3
Terreni coltivati	0.2-0.6

ϕ coefficiente di afflusso [/] [0-1]

kt_c tempo di base dell'idrogramma di piena K è [/] (tempo che intercorre da quando un onda di piena si origina a quando si esaurisce)

λ fattore di forma dell'onda di piena [/] (dipende dalla collocazione geografica, è tabulato)

a, n parametri della linea segnalatrice (curva di possibilità pluviometrica; dipende dalla collocazione geografica; a ed n sono tabulati)

t_c tempo di corrivazione [ore]

S superficie del bacino [km^2]

Formule empiriche

Formula di Giandotti:

Qmax è espresso in m^3/s

Al numeratore ho un intensità di pioggia, con Tr assegnato (attraverso la curva di possibilità pluviometrica)

$$Q_{max} = 0.277\lambda\phi\frac{at_c^{\,n-1}}{k}S$$

- ϕ coefficiente di afflusso [/] [0-1]
- kt_c tempo di base dell'idrogramma di piena K è [/] (tempo che intercorre da quando un onda di piena si origina a quando si esaurisce)
- λ fattore di forma dell'onda di piena [/] (dipende dalla collocazione geografica, è tabulato)
- a, n parametri della linea segnalatrice (curva di possibilità pluviometrica; dipende dalla collocazione geografica; a ed n sono tabulati)
- t_c tempo di corrivazione [ore]
- S superficie del bacino [km^2]

Formule empiriche

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H}} \quad [\text{ore}]$$

L [km] lunghezza dell'asta principale del corso d'acqua
H [m slm] altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura
H [m slm] quota della sezione considerata
S in km^2

Tc (tempo di corrivazione): tempo che occorre ad una goccia d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura seguendo il percorso idraulicamente più lungo.

Nota:
- è un tempo caratteristico del bacino
- da un punto di vista tecnico viene molto utilizzato (tutt'oggi). Da un punto di vista fisico non esiste (deflusso superficiale, deflusso profondo, asta principale, etc.. Non esistendo, non si riesce a misurare). E' tuttavia un parametro tecnico ampiamente utilizzato.
- Giandotti associa la Qmax al Tc, non ad un tempo qualsiasi.

Formule empiriche

Formula di Giandotti

Il ragionamento di Giandotti “parte dalle piogge”:
al numeratore ho un intensità di pioggia, con un Tr assegnato (attraverso la curva di possibilità pluviometrica), la moltiplico per l'area del bacino ==> portata di pioggia.
Non tutta la pioggia che interessa il bacino la ritrovo alla sezione di chiusura (evapotraspirazione, infiltrazione) ==> uso il coeff di afflusso; utilizzo anche un fattore di forma dell'ona di piena; utilizza un fattore k che permette di correggere il tempo di corrivazione rispetto al tempo di base dell'onda di piena

- Q dipende sia dal clima (curva di possibilità pluviometrica)
- Q dipende dalla collocazione geografica (ad esempio, il tempo di base, così come il fattore di forma dell'onda di piena, dipendono dal corso d'acqua)
- Q dipende da Φ

- 0.277 fattore di conversione per le unità di misura

Curve di possibilità pluviometrica

Le curve di probabilità pluviometrica esprimono la relazione fra le altezze di precipitazione h e la loro durata t, per un assegnato valore del tempo di ritorno Tr.

In pratica non ci si limita mai ad una curva sola, ma si considera un fascio di curve, ciascuna delle quali corrisponde ad un valore diverso del tempo di ritorno.

L'altezza di precipitazione h presa in considerazione è quella massima annuale relativa alla durate in esame.

Diverse formule sono utilizzate per descrivere questa relazione. In Italia viene generalmente utilizzata una legge di potenza monomia del tipo:

$$h_{t,T}=at^n \qquad (1)$$

dove h = altezza di precipitazione; t = durata della precipitazione; a ed n sono coefficienti che dipendono dal tempo di ritorno.

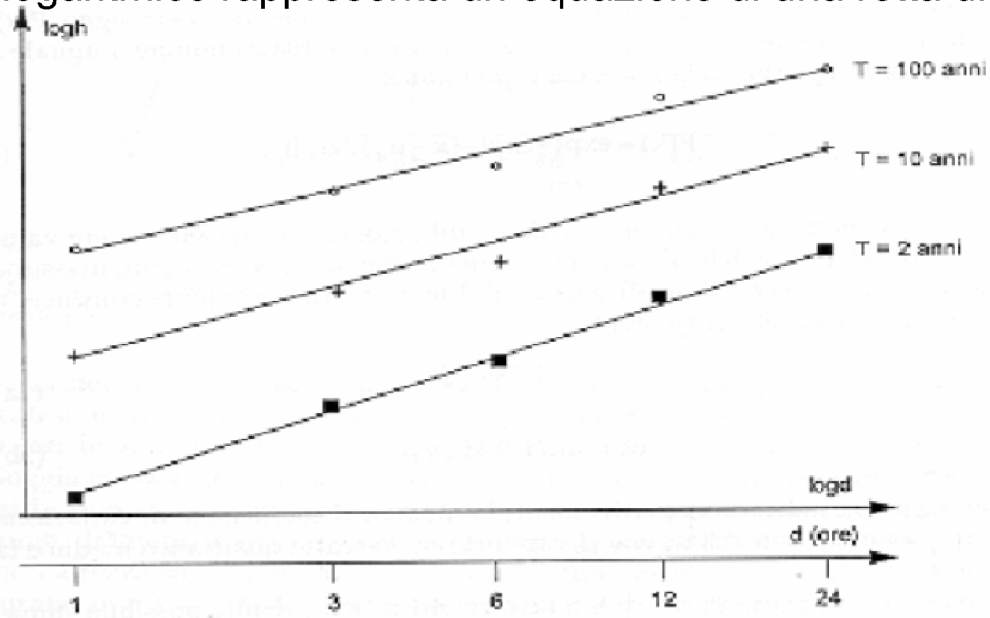
Per la determinazione delle suddette curve ci si basa sull'analisi delle curve di frequenza (CDF), costruite per le serie storiche dei massimi annuali delle piogge di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore, adattando a ciascuna di esse, attraverso la stima dei parametri, un predefinito modello probabilistico (TCEV, Gumbel, etc.).

Curve di possibilità pluviometrica

Dalle curve di frequenza, fissato il periodo di ritorno T (tipicamente 10, 20, 50, 100, 200, 1000 anni) e per ogni durata è possibile, quindi, ricavare il valore $h_{t,T}$. I valori così determinati vengono riportati su un diagramma (h, t) ed interpolati mediante delle curve caratterizzate dalla espressione (1).

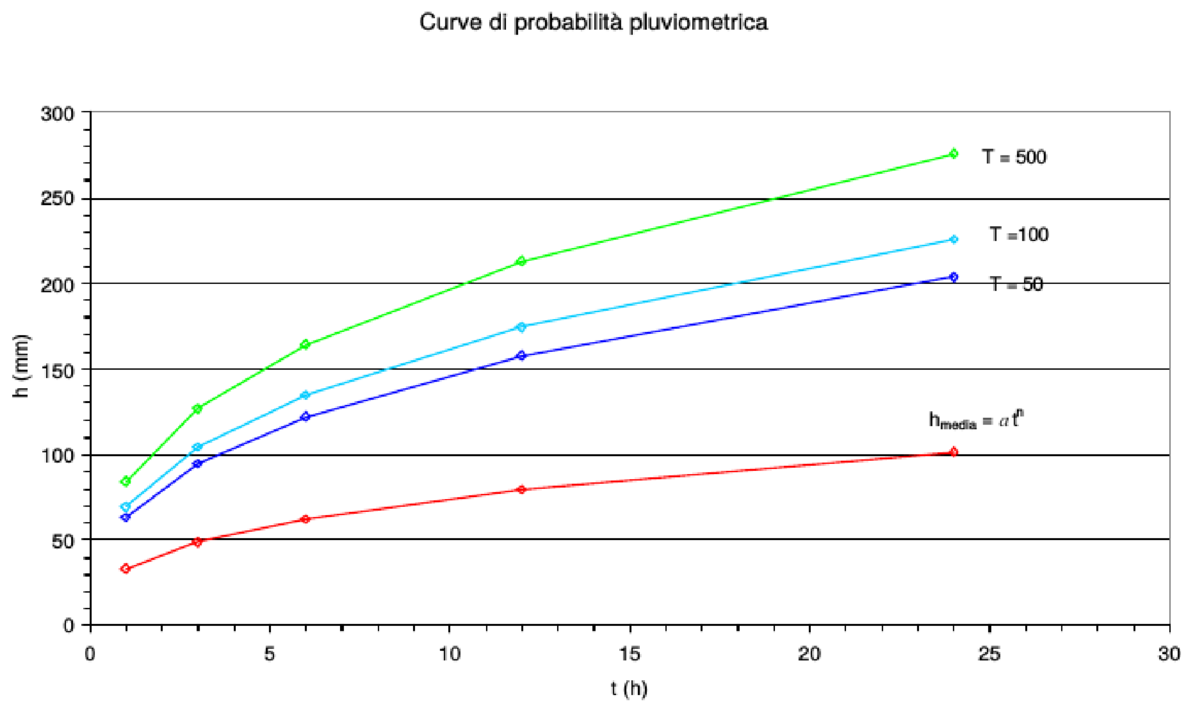
Per la stima dei parametri a ed n di ciascuna curva conviene considerare la trasformata logaritmica dei valori delle precipitazioni e delle durate ed applicare il metodo dei minimi quadrati.

Passando ai logaritmi, infatti, la (1) diventa un'espressione lineare: $\log h = \log a + n \log t$ (nel piano bilogaritmico rappresenta un equazione di una retta di intercetta A e coefficiente angolare n)



Note diverse coppie di valori (h,t) riferite ad uno stesso Tr, i coefficienti A ed n possono essere determinati attraverso un interpolazione ai minimi quadrati.

Curve di possibilità pluviometrica



Formula razionale

$Q=\Phi\ i\ S$ (anche espressa con C I A) $[m^3/s]$

NOTA:

- E' simile alla formula di Giandotti (si introduce intensità i pioggia, l'area e coeff. Di riduzione della portata di pioggia)
- Φ esprime la riduzione della portata al colmo rispetto all'intensità di pioggia (che si può esprimere attraverso le curve di possibilità pluviometrica). Φ varia moltissimo. Da Φ dipende fortemente la Qmax (e quindi I costi dell'opera)
- i intensità di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino

Se associo ad i un valore estratto dalla curva di possibilità pluviometrica (cioè associato ad un Tr), Q rappresenta la portata di massima piena di tempo di ritorno assegnato.

$Q=\Phi\ a t_c^{n-1}\ S$

Ipotesi:
- tutta l'area del bacino contribuisce al deflusso nella sezione di chiusura
- la durata di pioggia che produce la massima portata è pari al tempo di corrivazione del bacino

Formula razionale

$Q=\Phi$ i S (anche espressa con C I A)   [m^3/s]

NOTA:

- E' simile alla formula di Giandotti (si introduce intensità i pioggia, l'area e coeff. di riduzione della portata di pioggia)
- Φ esprime la riduzione della portata al colmo rispetto all'intensità di pioggia (che si può esprimere attraverso le curve di possibilità pluviometrica). Φ varia moltissimo. Da Φ dipende fortemente la Qmax (e quindi I costi dell'opera)
- i intensità di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino

Tipo di Superficie	
Superficie pavimentata	0.7-0.9
Strade in terra	0.4-0.6
Superficie erbosa	0.1-0.7
Aree residenziali	0.3-0.7
Boschi	0.1-0.3
Terreni coltivati	0.2-0.6

Formula razionale

$Q = \Phi\ i\ S$ (anche espressa con C I A) $[m^3/s]$

NOTA:

- E' simile alla formula di Giandotti (si introduce intensità i pioggia, l'area e coeff. Di riduzione della portata di pioggia)
- Φ esprime la riduzione della portata al colmo rispetto all'intensità di pioggia (che si può esprimere attraverso le curve di possibilità pluviometrica). Φ varia moltissimo. Da Φ dipende fortemente la Qmax (e quindi I costi dell'opera)
- i intensità di pioggia pari al tempo di corrivazione del bacino

Se associo ad i un valore estratto dalla curva di possibilità pluviometrica (cioè associato ad un Tr), Q rappresenta la portata di massima piena di tempo di ritorno assegnato.

$Q = \Phi\ a t_c^{n-1}\ S$

Ipotesi:

- tutta l'area del bacino contribuisce al deflusso nella sezione di chiusura
- la durata di pioggia che produce la massima portata è pari al tempo di corrivazione del bacino

Formula empiriche

Q_{max}=f(S,
precipitazioni massime,
q_{100} (collocazione geografica, condizioni climatiche, geo-morfologiche, topografiche dei bacini),
Φ, L, Tc, I, etc..)

Metodi regionali

Sono I metodi tecnicamente praticabili più avanzata. Sono l'evoluzione delle formule empiriche.

Le formule empiriche cercano di stabilire una relazione tra q piena e caratteristiche del bacino

$Q_{max}=f(S, \Phi, L, T_c, i, etc..)$

Coi metodi regionali cerchiamo altre caratteristiche peculiari per descrivere il bacino ed I suoi legami con la Q al colmo e, contestualmente, ridurre l'incertezza della stima di Q.

Sono metodi validi ed applicabili su una porzione del territorio (la regione di territorio per la quale sono stati messi a punto)

Metodi regionali

I metodi regionali si applicano su una regione omogenea:
Bisogna individuare delle zone (i.e. raggruppamento di bacini) che dal punto di vista dei fenomeni di piena abbiano delle caratteristiche simili, il più possibile omogenee.

I metodi regionali si basano su tecniche statistiche per stabilire se la distribuzione delle portate al colmo di diversi bacini hanno delle caratteristiche in comune. In altre parole, le regioni omogenee hanno delle distribuzioni di probabilità del colmo di piena statisticamente “simili”.

Attraverso questi metodi, all'interno di una regione omogenea, posso estrapolare I valori di Q in sezioni non strumentate.

Vi è una letteratura molto ampia a riguardo. Esistono diversi metodi, che danno risultati differenti.