

# Analisi Regionale di Frequenza delle piene

(VALUTAZIONE PROBABILISTICA DELLE PIENE)

# Schema concettuale della Protezione Idraulica del Territorio

PLANIFICAZIONE

Percezione / Identificazione

**Previsione** --> **pericolosità idrologica**  
pericolosità idraulica --> **Rischio**

Prevenzione – Azioni di Mitigazione

GESTIONE

Preannuncio/ Gestione dell'emergenza

La **valutazione delle portate e dei volumi di piena** rappresenta la parte fondamentale della fase di valutazione della **pericolosità idrologica** di un sito di interesse

## Obiettivi formativi:

- Conoscere i principali metodi proposti per la valutazione delle piene a scala regionale
- Conoscere la situazione italiana di disponibilità di dati e di metodi per la valutazione delle piene (potrebbe essere necessario doverli utilizzare)
- Saper mettere in pratica un'approccio alla stima regionale di quantili di piena mediante il metodo indice, ovvero:
  - Saper ricavare la portata indice almeno mediante l'applicazione della formula razionale
  - Saper utilizzare i metodi di stima ed i test necessari per la selezione del modello probabilistico della curva di crescita
- Saper individuare i principali strumenti utilizzabili per il calcolo di descrittori geo-morfo-climatici dei bacini idrografici

Lecture: Dispensa, Slides

Riferimenti: Hosking-Wallis (1997), Brath-Franchini (1998) De Michele-Rosso (2001)

# Stima Locale / Stima Regionale

- La determinazione della curva di distribuzione di probabilità con i soli dati della stazione di interesse (**STIMA LOCALE**) è possibile solo se la serie storica delle osservazioni è sufficientemente lunga. Benson (1968) consiglia  $n > T/2$ ;
- Il manuale inglese *FEH* consiglia una serie *station-year* con  $N > 5T$

**Table 5.3** Recommended methods for growth curve estimation: when  $T > 27$  years

Length of record	Site analysis	Pooled analysis <sup>†</sup>	Shorthand description
< 14 years	No	Yes	Pooled analysis
14 to $T$ years	For confirmation	Yes	Pooled analysis prevails
$T$ to $2T$ years	Yes	Yes <sup>‡</sup>	Joint (site and pooled) analysis
> $2T$ years	Yes	For confirmation <sup>†</sup>	Site analysis prevails

<sup>†</sup> Size of pooling-group chosen to provide  $5T$  station-years of record

<sup>‡</sup> Subject site excluded from pooled analysis

# Stima regionale

Se non si può applicare la stima locale si passa alla

## STIMA REGIONALE:

- Si basa sul presupposto che la carenza di informazione di una singola serie di osservazioni ai fini dell'estrapolazione statistica **sia colmata sostituendo lo spazio al tempo**. In tal modo, l'insieme delle osservazioni in una **regione omogenea** viene impiegato per costituire un campo di frequenze osservate di gran lunga superiore a quello coperto da una singola serie di osservazioni.
- Si considera quindi una **regione** molto ampia, supposta **omogenea**, si ipotizza una distribuzione, si stimano i parametri e poi si verifica l'ipotesi.
- Le tecniche di analisi regionale consistono nella ricerca dei legami esistenti tra caratteristiche climatiche e fisiografiche, misurabili nella regione che comprende il sito di interesse, ed i parametri connessi con la grandezza idrologica da stimare.

da Rosso, 2002

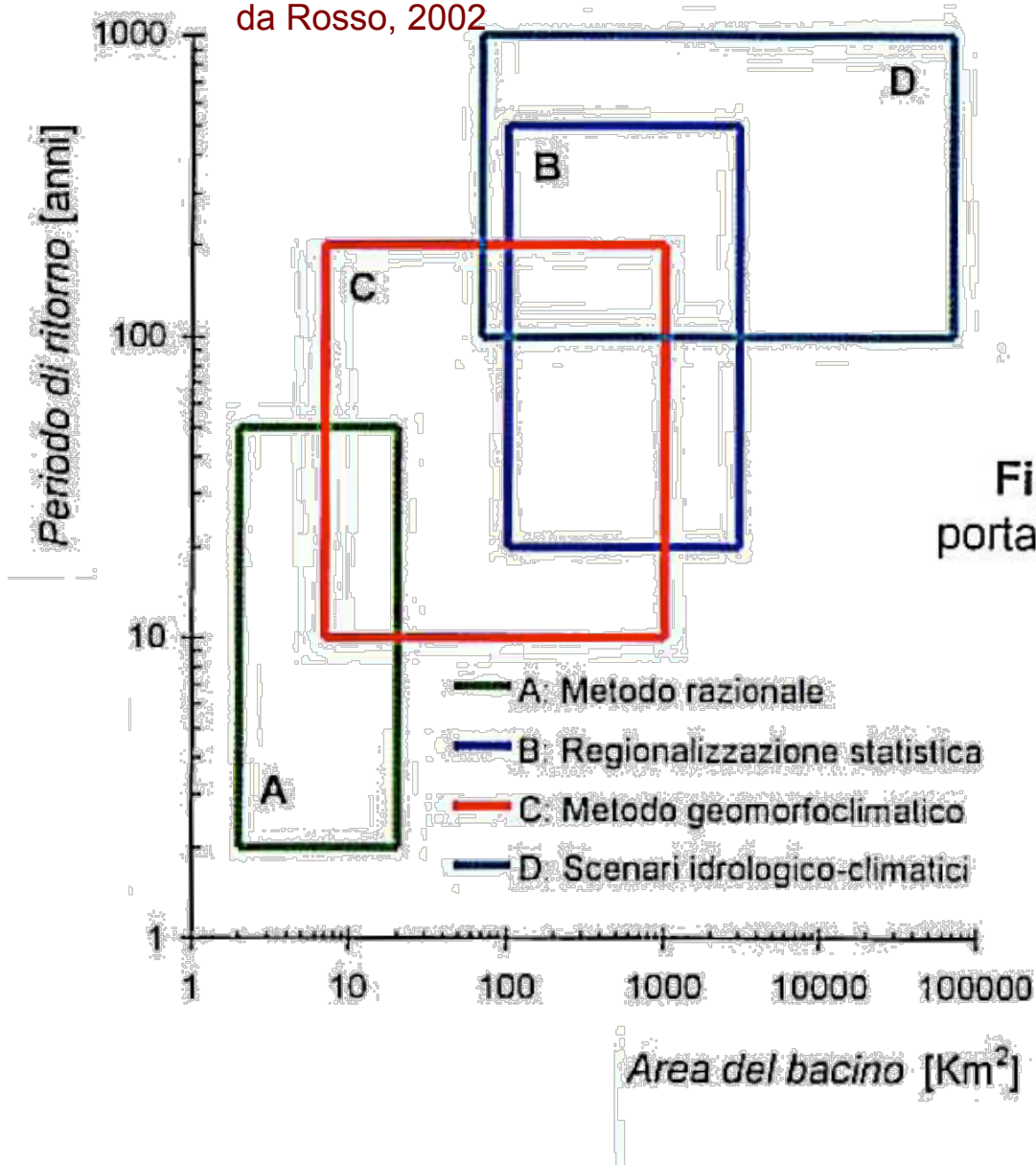


Fig. 3.2 Metodi di valutazione della portata al colmo di piena in relazione alle scale spazio-temporali.

Metodo considerato:  
Regionalizzazione Statistica

Metodo Standard:

## Metodo della piena indice (Darlymple, 1960)

Il metodo della **piena indice** scompone la variabilità della piena di progetto in due fattori, la piena indice e la curva di crescita:

$$Q(T) = Q_{indice} \cdot K(T)$$

$Q_{indice}$  è una grandezza locale, caratteristica del sito preso in esame (media o mediana).

$K(T)$  è una funzione che misura l'incremento degli eventi estremi per i diversi periodi di ritorno rispetto al valore indice.

# Misura di Eterogeneità in una Regione

(Hosking e Wallis, 1993)

In una regione omogenea, per definizione, i valori teorici degli L-moments sono costanti in tutti i siti. I valori osservati saranno tuttavia diversi a causa della variabilità campionaria.

Hosking e Wallis ritengono  $V$ , la **varianza campionaria di  $L$ -cv**, ( $t=L_2/L_1$ ), il parametro più significativo ai fini della individuazione delle regioni omogenee.

$V$  viene calcolata come media quadratica pesata sul numero di osservazioni nelle  $k$  diverse stazioni ( $t^R$  è il valore medio pesato regionale degli  $t_i$ ):

$$t^R = \frac{\sum_{i=1}^k n_i t^{(i)}}{\sum_{i=1}^k n_i} \quad V = \left\{ \sum_{i=1}^k n_i (t^{(i)} - t^R)^2 / \sum_{i=1}^k n_i \right\}^{1/2}$$



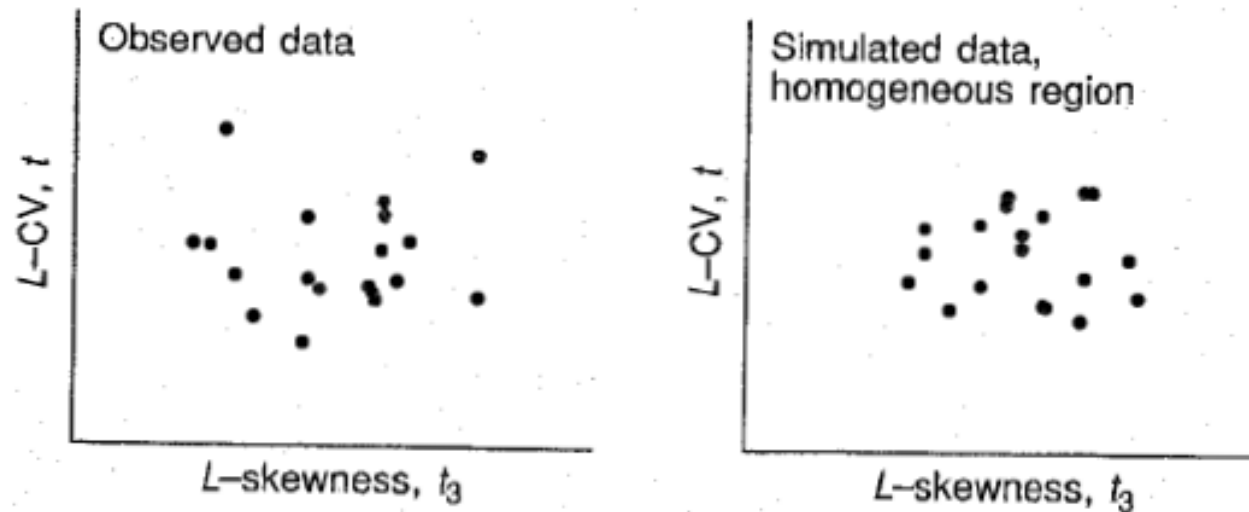


Fig. 4.1. Definition sketch for heterogeneity.

Confronto tra la dispersione degli L-momenti adimensionali del gruppo di stazioni con la dispersione attesa per un gruppo omogeneo (dovuta alla sola variabilità campionaria)

Mediante la **generazione ripetuta di dati** appartenenti ad una regione omogenea, con serie generate, da una distribuzione Kappa, di lunghezza pari a quelle osservate, si possono calcolare media e deviazione standard di  $V$  e, conseguentemente, l'indice

$\Theta_{HW1}$  (*Misura di eterogeneità*)

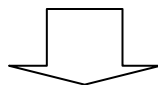
$$\theta_{HW_1} = \frac{V - \mu_V}{\sigma_V}$$

$V$	<i>Varianza campionaria di L-CV</i>
$\mu_V$	<i>Media delle <math>V</math> generate</i>
$\sigma_V$	<i>Varianza delle <math>V</math> generate</i>

$\Theta_{HW1} < 1$ :	REGIONE OMOGENEA
$1 < \Theta_{HW1} < 2$ :	REGIONE POSSIBILMENTE ETEROGENEA
$\Theta_{HW1} > 2$ :	REGIONE CERTAMENTE ETEROGENEA

## *Problemi:*

La selezione iniziale e le procedure per la successiva ridefinizione delle aree da sottoporre a verifica di omogeneità non sono ben definite



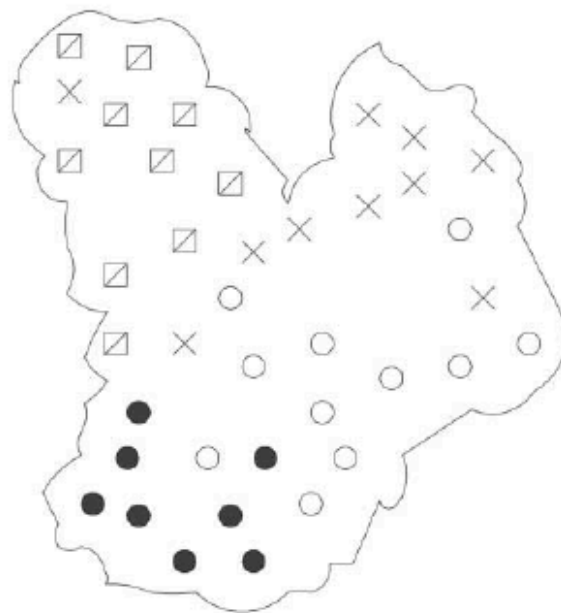
Esistono elevati margini di soggettività

# Metodi di selezione delle regioni

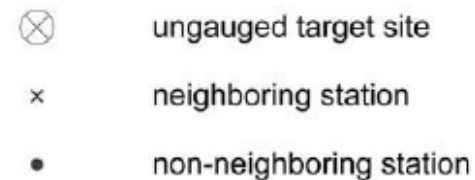
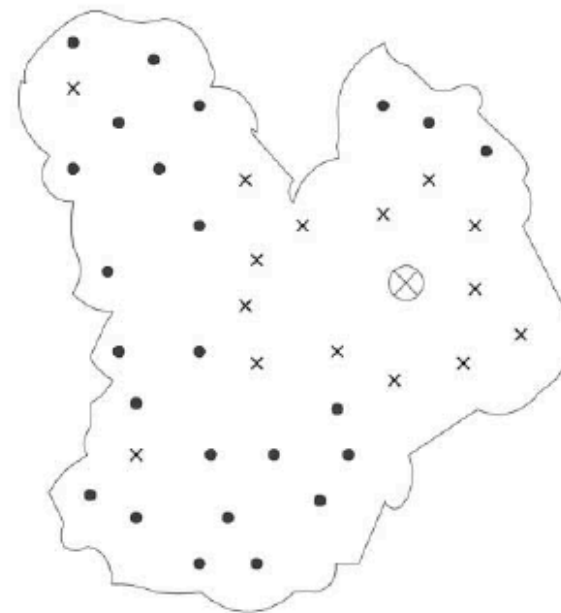
- Regioni piogge=Regioni piene (*VAPI standard*)
- Omogeneità idrografica
- Regioni climaticamente omogenee
- Omogeneità non geografica ma per caratteri morfo-climatici (ROI-cluster analysis)
- ...
- Non Regioni, ma legami tra caratteri morfo-climatici e L-momenti (Spatially Smooth Estimation Method, SSEM; es. ARPIEM)



Continuità geografica



Non-geografica  
Cluster analysis



Non-geografica  
ROI (Region Of Influence)

Fig. 1. Approaches for the delineation of homogeneous regions.

# Regioni piogge=Regioni piene

Esempio:

## *La procedura di VALutazione delle Piene in Italia*

- La procedura VAPI è basata sull'impiego della distribuzione TCEV (che si riduce a Gumbel in alcuni casi)
- Il progetto, condotto dal gruppo GNDICI-CNR, si è proposto di realizzare una semplice metodologia, valida su tutto il territorio nazionale, per una rapida valutazione delle massime portate di piena, corrispondenti ad assegnati periodi di ritorno, per i corsi d'acqua italiani.
- Nell'ambito del progetto sono stati preparati in maniera strettamente coordinata distinti Rapporti Regionali sulla Valutazione delle Piene.
- Il progetto, ove possibile, ha applicato una procedura standard, al fine di valutare in maniera omogenea la portata al colmo temibile

# VAPI NAZIONALE

Schema standard di  
applicazione

Sottozone Idrometriche  
Omogenee  
(per K[T] piene)

=

Sottozone  
Pluviometriche  
Omogenee  
(K[T] uniforme)



## Perché la TCEV?

Si sceglie un modello probabilistico “Regionale” in base a un gran numero di serie. Si possono riscontrare due casi:

1. Nella regione è valida la distribuzione del valore estremo del 1° tipo (legge di Gumbel).
2. Nella regione è necessario utilizzare distribuzioni a 3 o più parametri



## Test di asimmetria

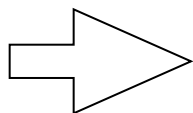
Il numero di serie con asimmetria elevata, non spiegata dalla legge di Gumbel, è significativo?

Il coefficiente di asimmetria medio per campioni di numerosità limitata (30-49) è pari al valore teorico atteso  $E[g]$  della legge di Gumbel?

$$E[g] \approx 0,8 \div 0,9$$

## Test del valore massimo osservato in n anni

Nella regione sono stati osservati un numero significativo (maggiore del 5%) di piene straordinarie, cioè di valori per cui il test del massimo valore non è rispettato usando la legge di Gumbel?



In Italia il modello semplice di Gumbel non è generalmente accettabile

## Distribuzione del valore estremo a doppia componente (TCEV)

### Ipotesi:

- Le massime piogge/portate sono generate da due differenti tipi (meccanismi) di eventi (Ordinario e Straordinario), che generano massimi annuali secondo la legge di Gumbel.
- Distribuzione del massimo di  $k$  variabili “eterogenee”  $Z_i$ , originariamente distribuite secondo una miscela di due esponenziali:

$$P_z(Z) = \vartheta(1 - e^{-\alpha_1 z}) + (1 + \vartheta)(1 - e^{-\alpha_2 z})$$

dove:

$\vartheta$ : rapporto della componente ordinaria rispetto al totale.

$E[Z_1] = \frac{1}{\alpha_i}$ : valore medio della grandezza della componente  $i$ .

2) Ognuna delle componenti ha frequenza di accadimento poissoniana, con  $\text{par } E[k_i] = \Lambda_i$

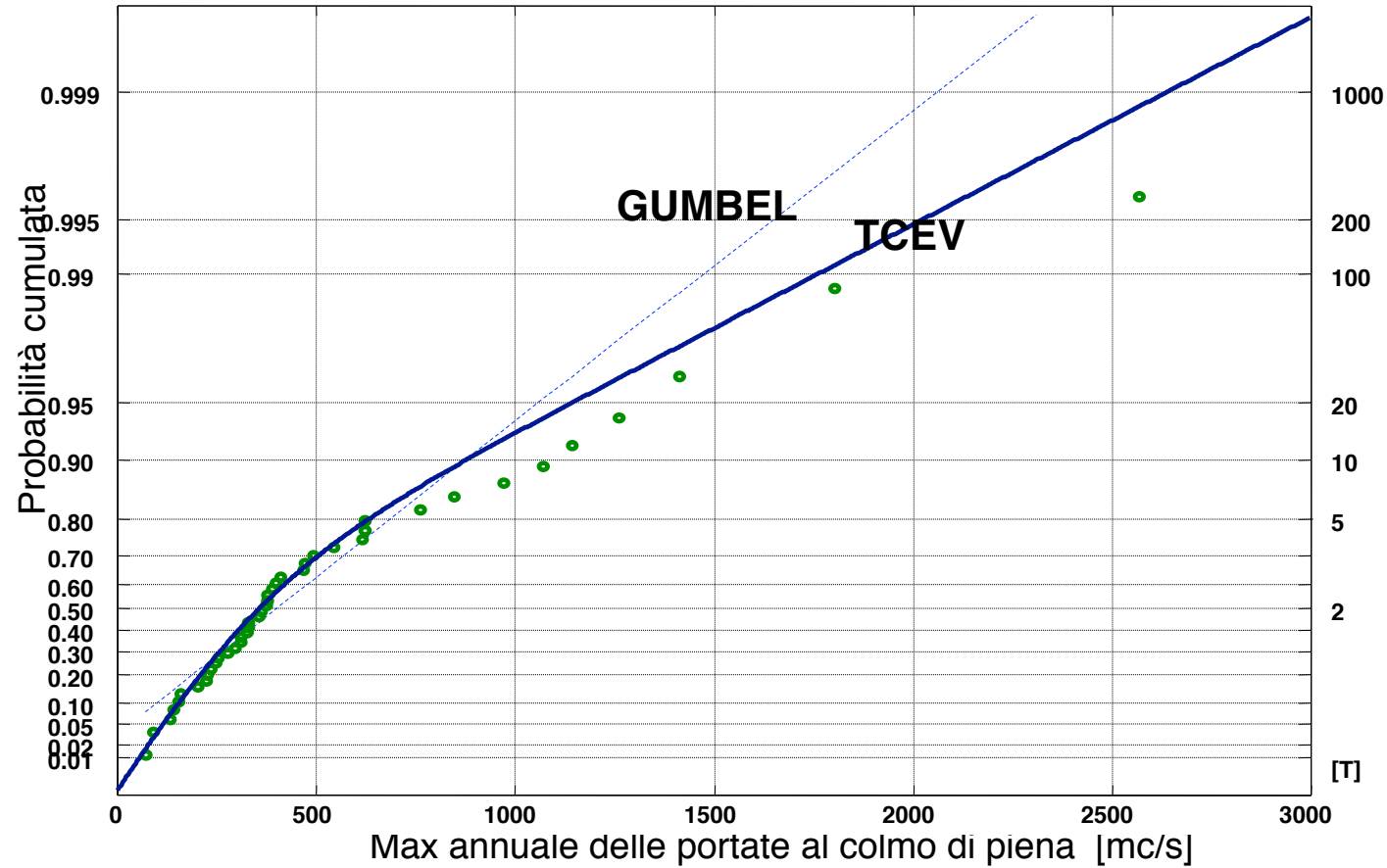
Il numero totale di eventi indipendenti  $k_1 + k_2$  è ancora distribuito secondo Poisson.

$$E[k_1 + k_2] = \Lambda_1 + \Lambda_2 = \Lambda$$

Distribuzione del massimo annuale: (Prodotto di due funzioni di Gumbel.)

$$F_x(x) = \exp[-\Lambda_1 e^{-\alpha_1 x}] \exp[-\Lambda_2 e^{-\alpha_2 x}] \quad \textbf{TCEV}$$

# Orco a Pont Canavese (Cuorgné)



# Procedura Vapi

3 livelli di informazione su diverse scale regionali

Stima della *Curva di Crescita*  $K(T)$ .

**1° livello:** Stima dei parametri  $\alpha_2$   $\Lambda_2$  della componente straordinaria.

- Non si possono stimare da una singola serie, e nemmeno da poche serie di dati. Occorre considerare una regione molto ampia (zona), Esempio: l'Italia, escluso il Po e i bacini alpini. Ampiezza indicativa  $10^4 \text{ km}^2$

**2° livello:** Stima di  $\Lambda_1$  (componente ordinaria).

- Regione meno ampia (sottozona,  $> 10^3 \text{ km}^2$ ), omogenea riguardo a  $\Lambda_1$ .
- Buona stima di  $\Lambda_1$  anche da una serie di dati sufficientemente lunga (locale)



Curva di crescita nella regione omogenea

**3° livello:** Stima della *piena indice*  $m(X)$ .

- La piena media annua varia molto da bacino a bacino in funzione dei parametri climatici e fisiografici caratteristici del bacino (anche una serie di dati breve può fornirne una buona stima)

# Omogeneità idrografica

Esempio:

Applicazione del VAPI alla  
Regione Basilicata

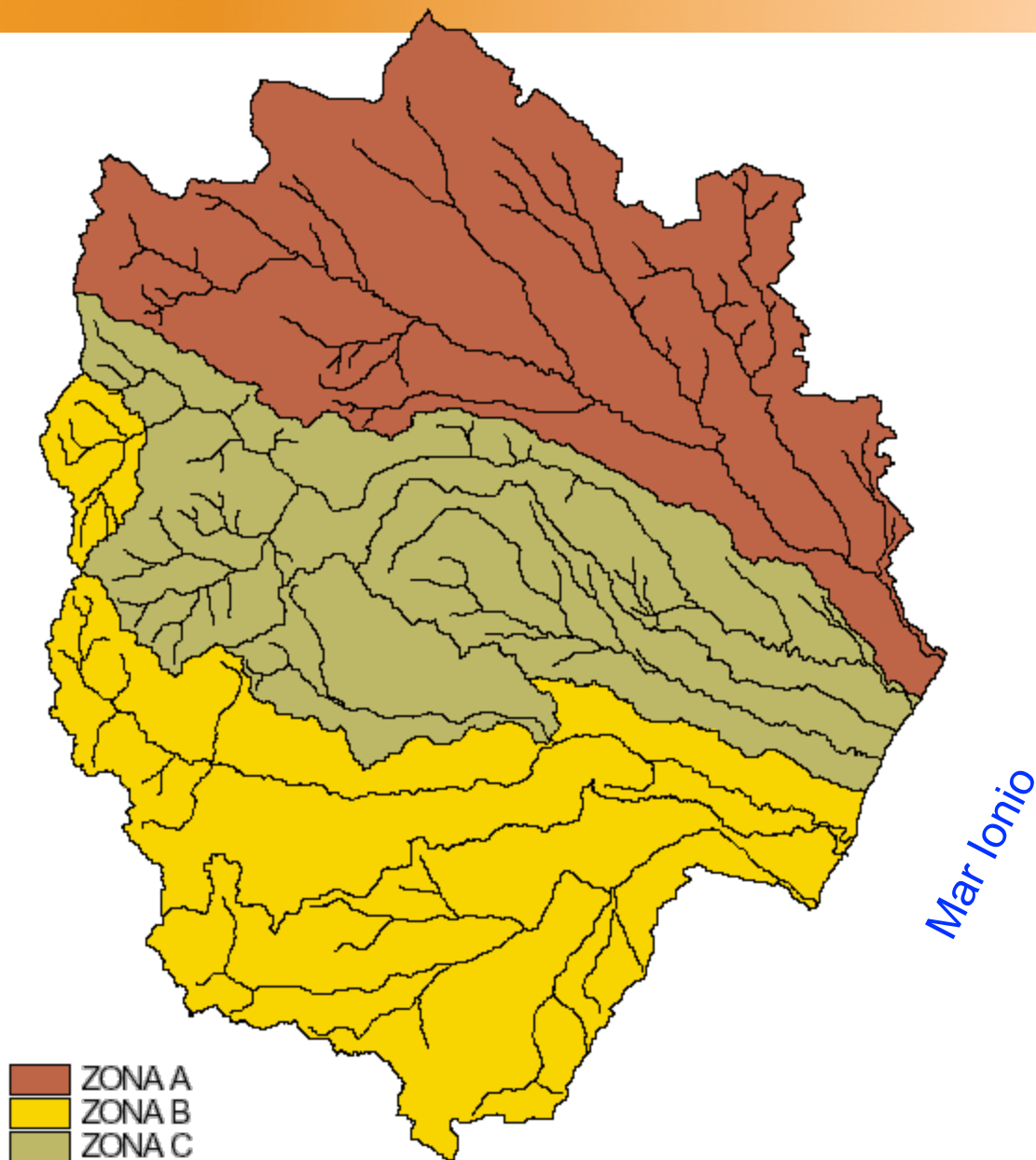
Area complessiva.  $10^4 \text{ km}^2$

I Livello:

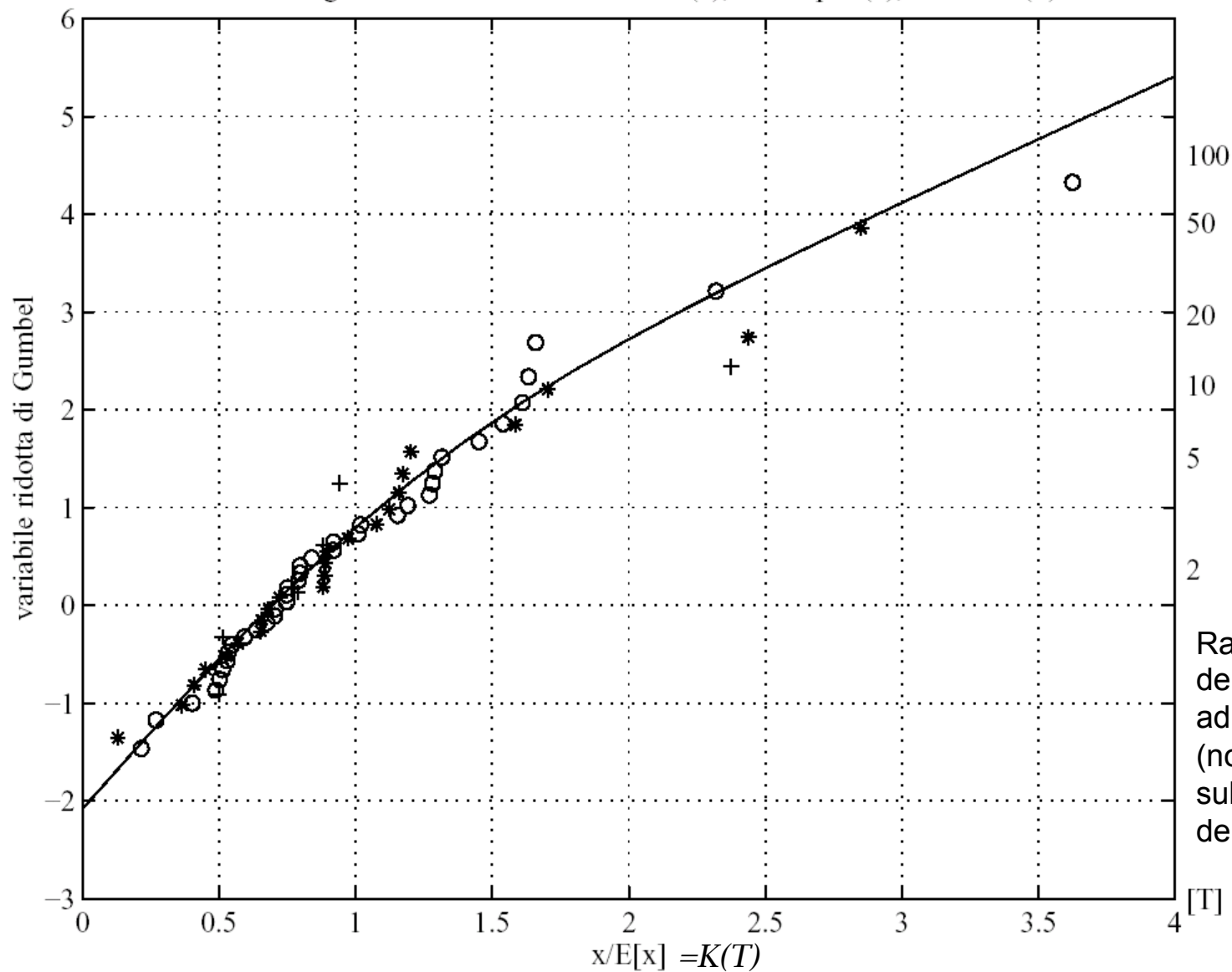
1 zona omogenea unica

II Livello:

sottozone omogenee  
interne ai bacini



Zona omogenea "B": Basento a Menzena(\*), a Gallipoli(o), a S. Vito (+)



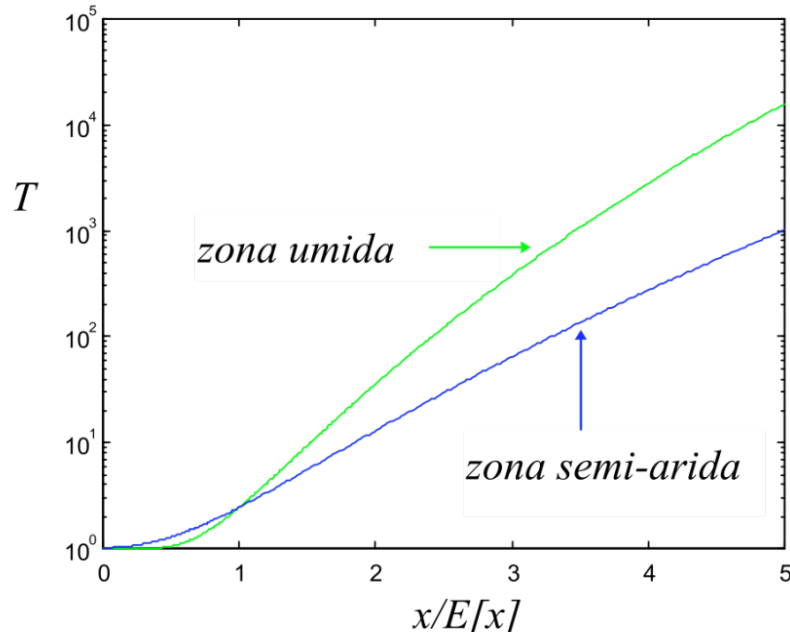
Rappresentazione  
delle curve di frequenza  
adimensionali campionarie  
(non station-year)  
sulla curva di crescita  
della sottozona

# Regioni climaticamente omogenee

- Evidenza empirica: Le curve di crescita in regioni aride mostrano **variabilità** (omogenee) chiaramente differenti da quelle osservate in bacini umidi
- Differenti meccanismi di formazione delle piene

*Farquharson et al. (J. Hydrol., 1992)*

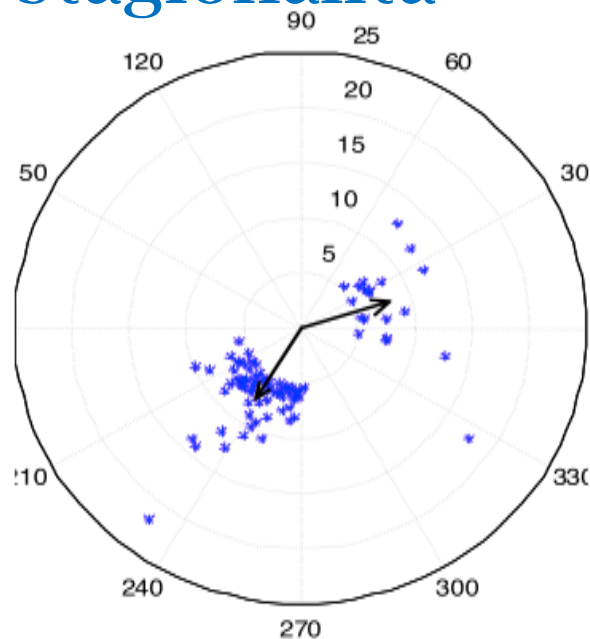
162 bacini con precipitazione media annua minore di 600 mm



Curve di crescita GEV

# Regioni climaticamente omogenee su base di stagionalità

De Michele - Rosso, 2001



**Eventi individuali**

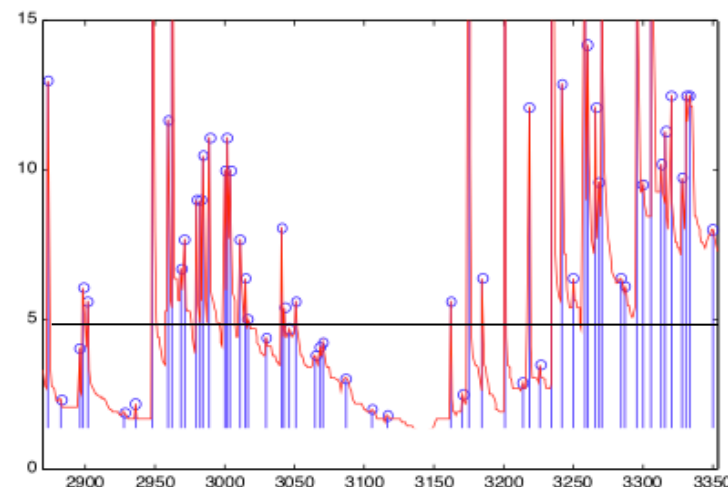
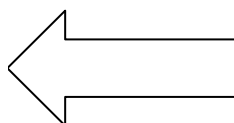
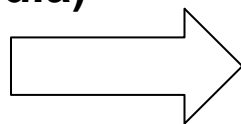


Figure 1.13.  
Polar diagram  
of Burn's  
vector of flood  
for the river  
basins in  
North-Western  
Italy.

**Posizioni prevalenti  
(stagionalità media)**

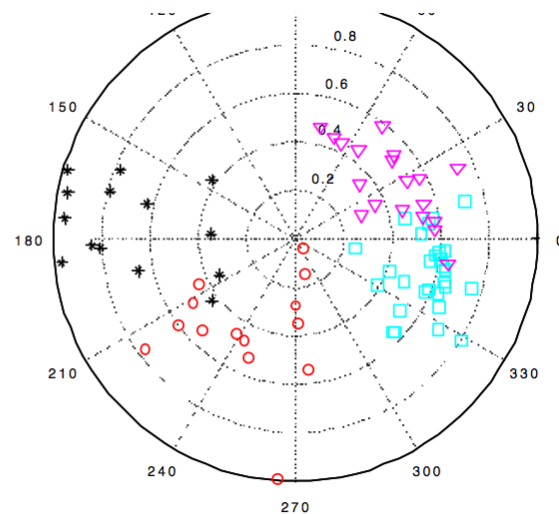


Circles:  
Region A

Asterisks:  
Region B

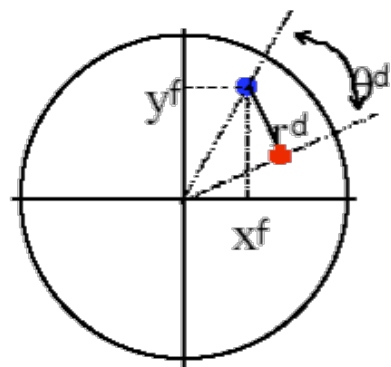
Squares:  
Region C

Triangles:  
Region D





# Grandezza di riferimento: Distanza 'stagionale'



● Piena Massima Annua

■ Massimo annuo della pioggia giornaliera

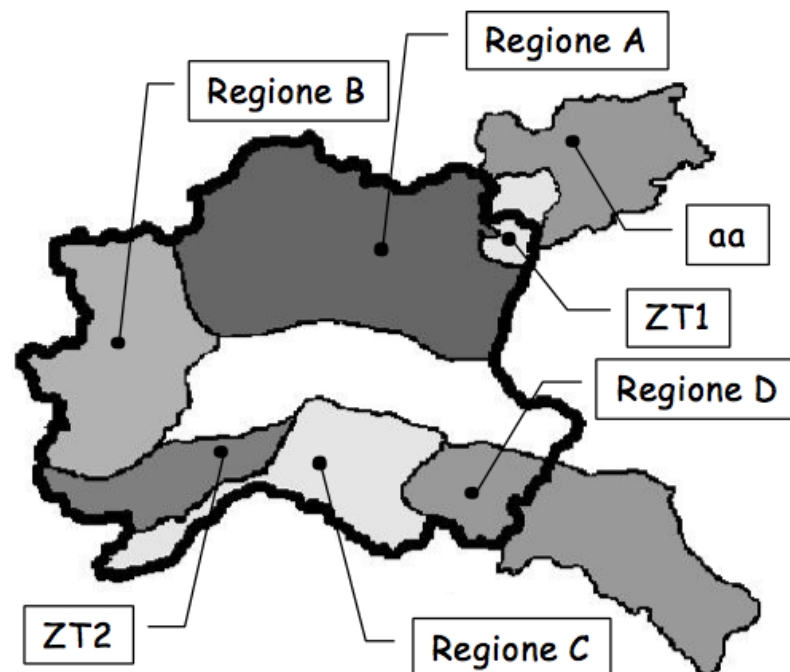
$$r_d = \sqrt{(x_f - x_r)^2 + (y_f - y_r)^2} ; \quad \bar{\theta}_d = \bar{\theta}_f - \bar{\theta}_r .$$

$r_d$  e  $\theta_d$  = differenze di posizione stagionale tra max pioggia giornaliera e max piena annua.

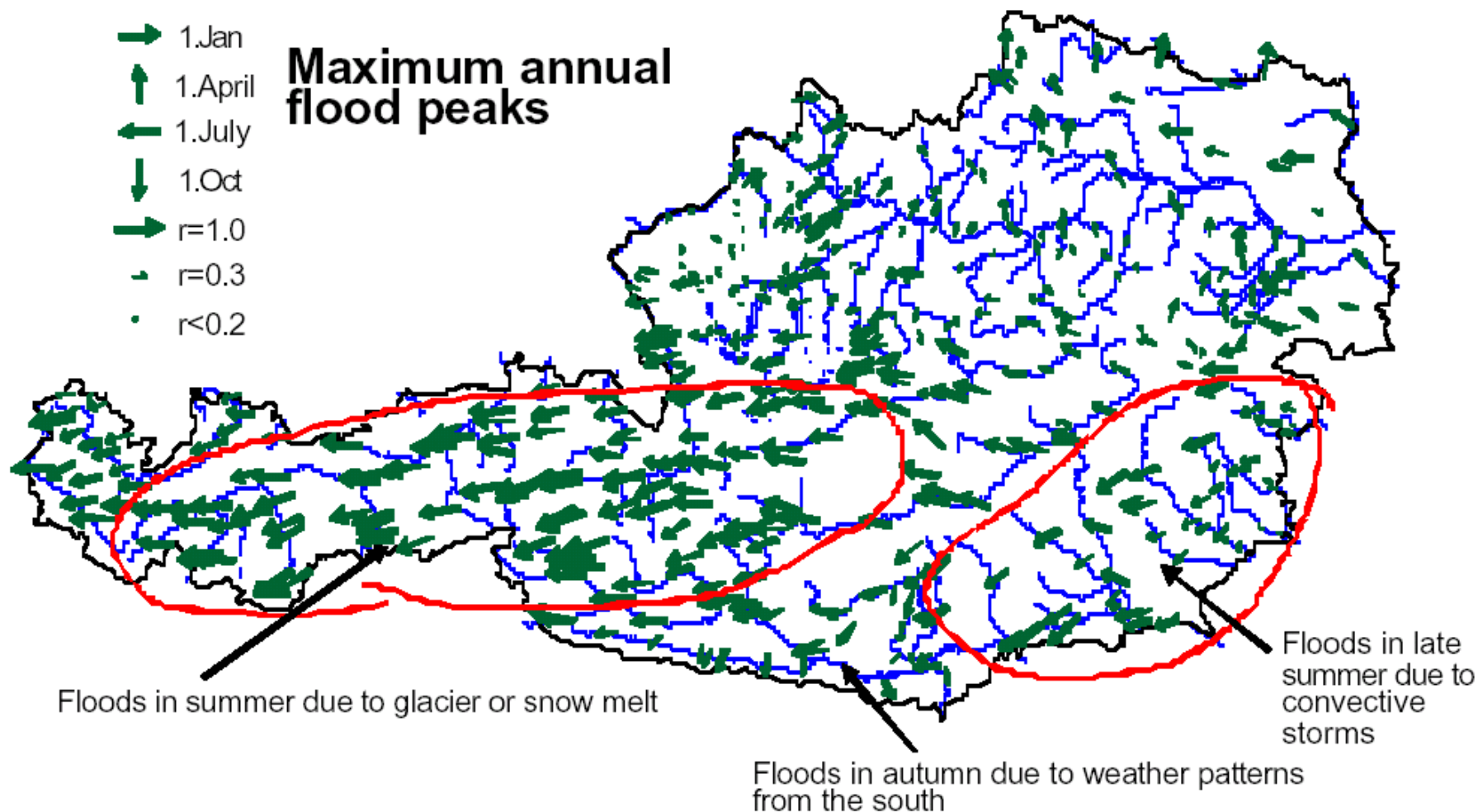
Sono legati alle caratteristiche fisiche dei bacini



Fig. 4.4. Regioni omogenee dell'Italia Nord-Occidentale in relazione al regime di piena.



# Esempio: bacini austriaci



# Omogeneità non geografica (regioni disgiunte)

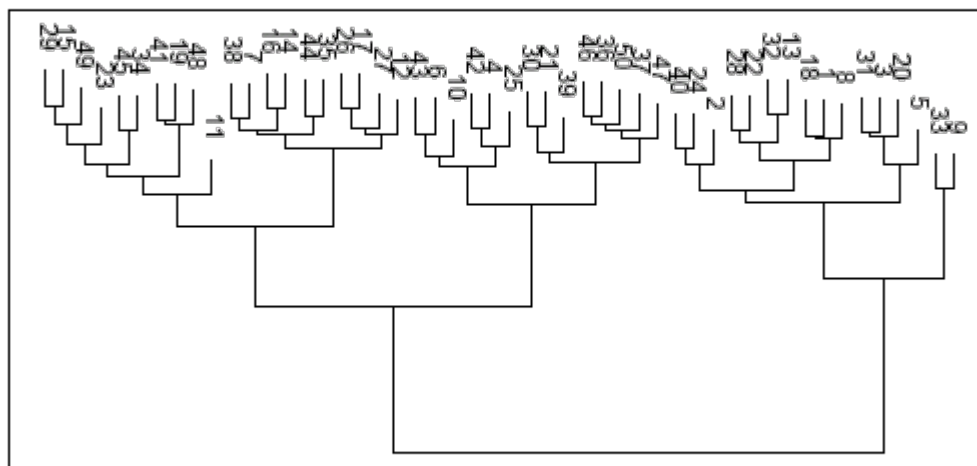
## Cluster analysis

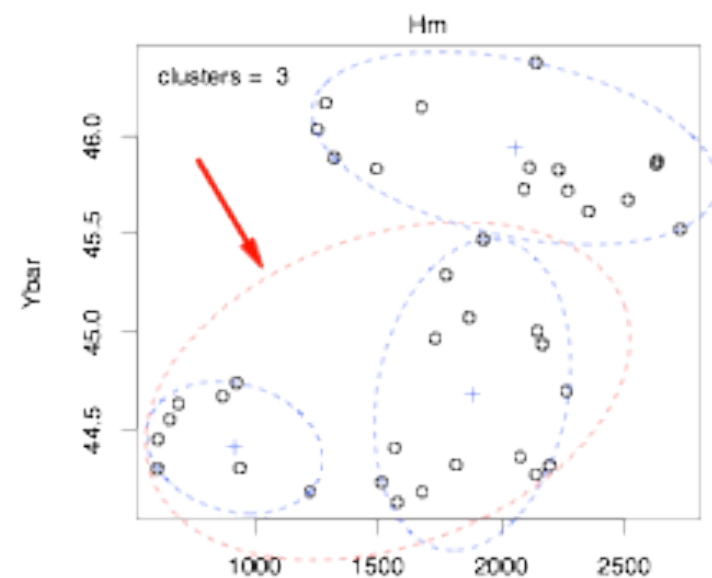
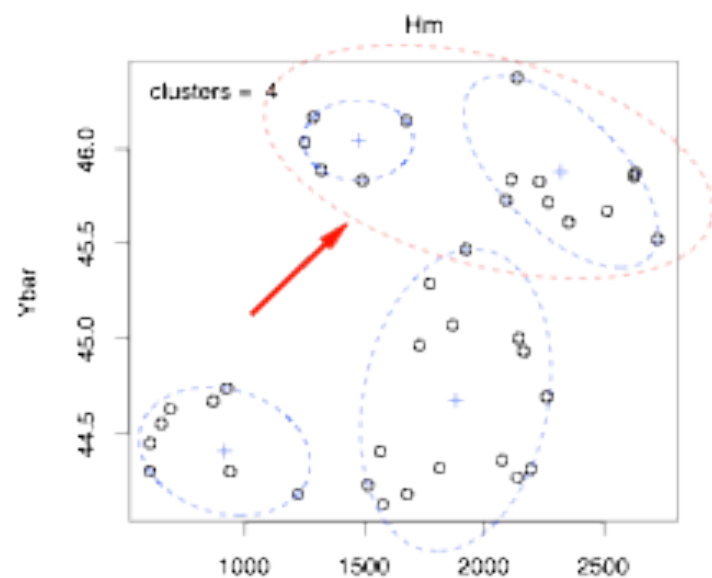
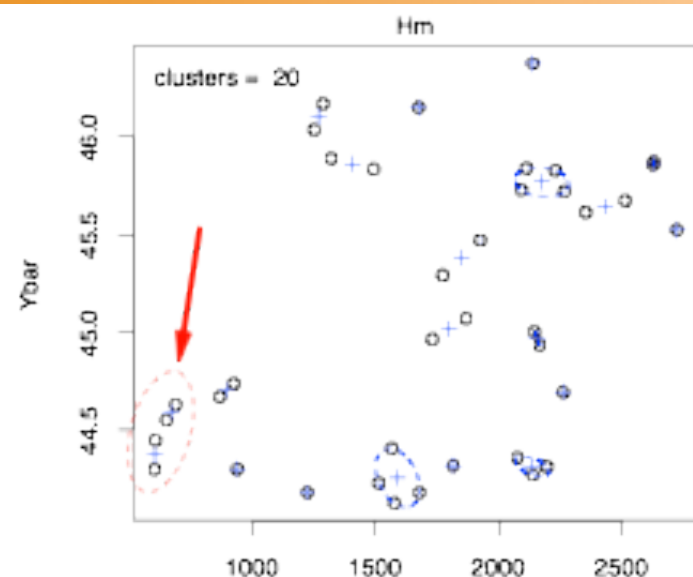
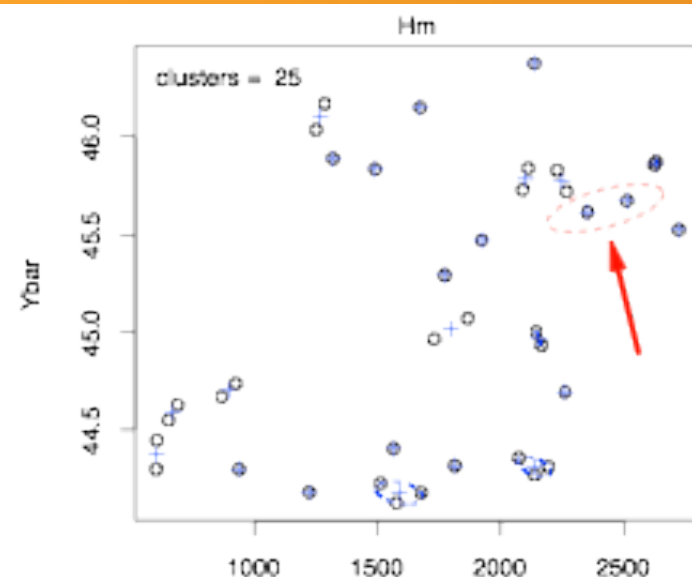
I gruppi (o cluster) contengono elementi (stazioni, bacini) con caratteristiche simili. La similarità può misurarsi mediante la distanza Euclidea tra valori di variabili di classificazione (o nello spazio delle variabili).

distanza euclidea tra due elementi  $i$  e  $j$  nello spazio a  $p$  dimensioni:

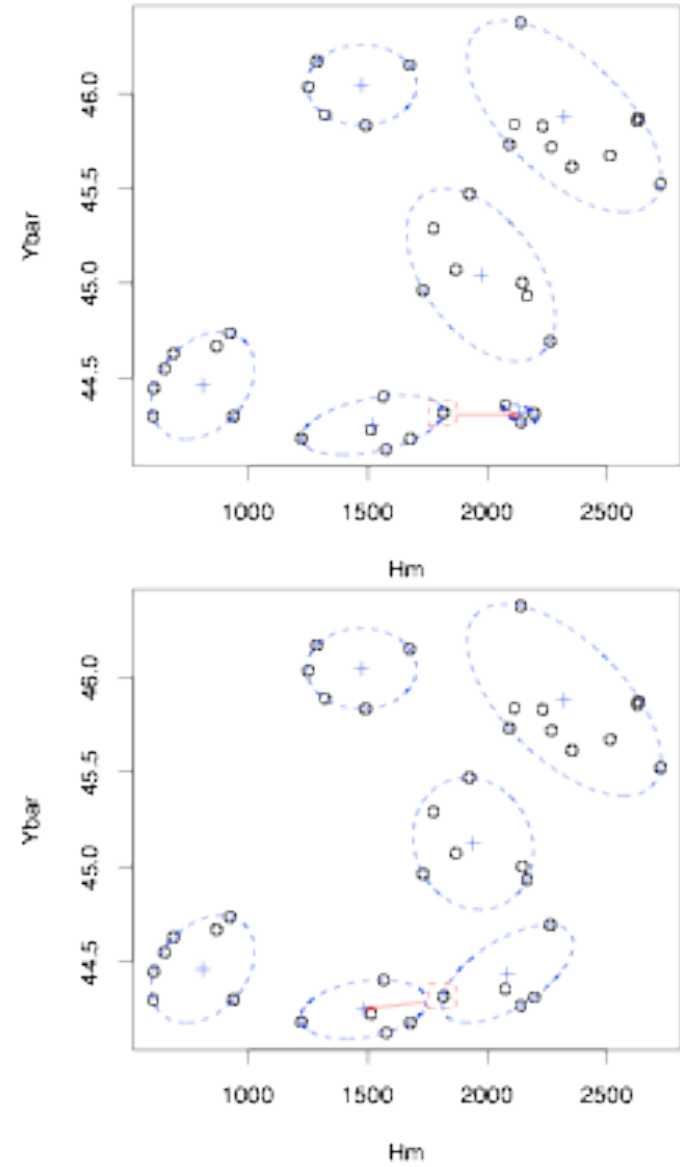
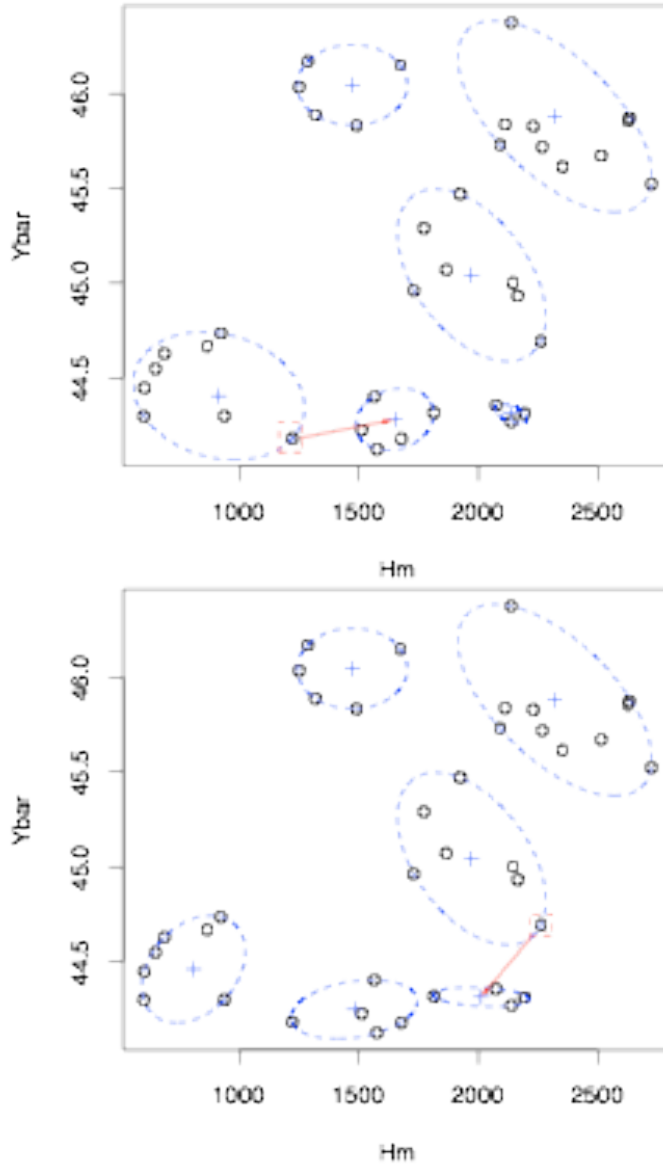
$$d_{ij} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{h=1}^p (x_{hi} - x_{hj})^2}$$

## Algoritmo di Ward



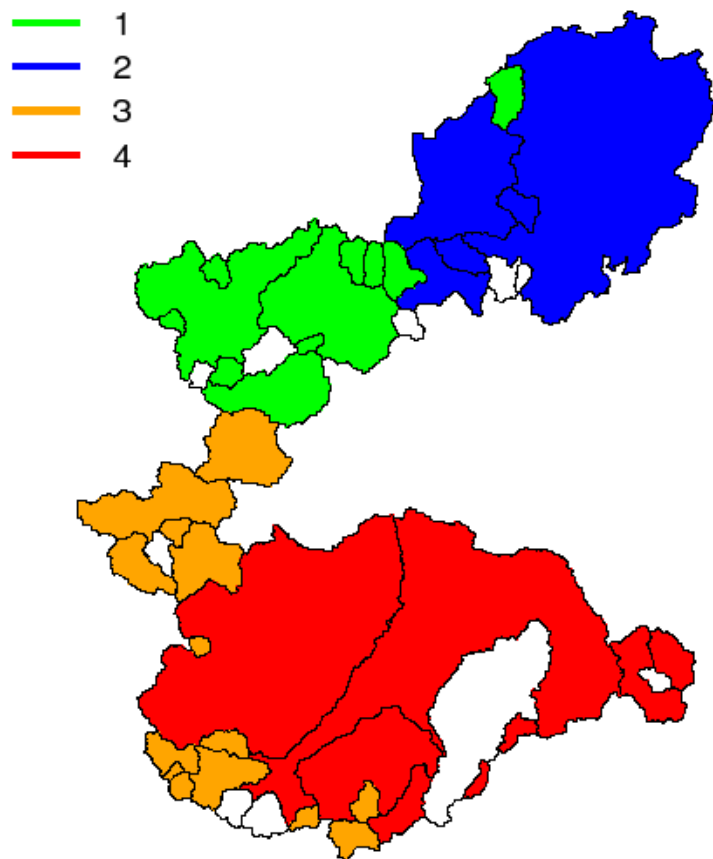


# Ottimizzazione algoritmo Ward Riallocazione degli elementi

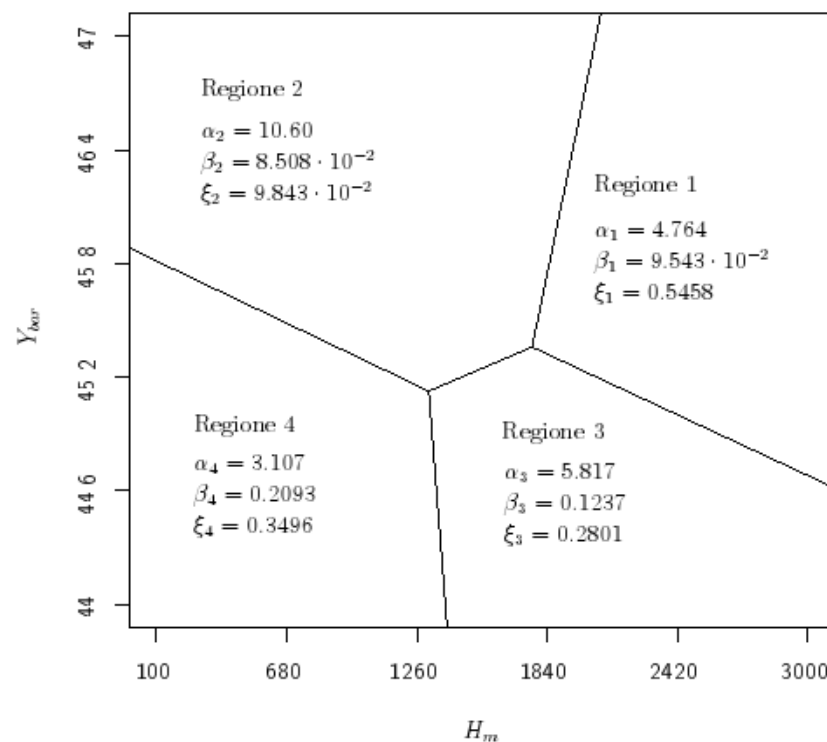


# Regioni disgiunte secondo la Cluster Analysis

Determinazione di regioni statisticamente omogenee nelle quali le curve di crescita siano simili.



Latitudine del baricentro



Quota media del bacino

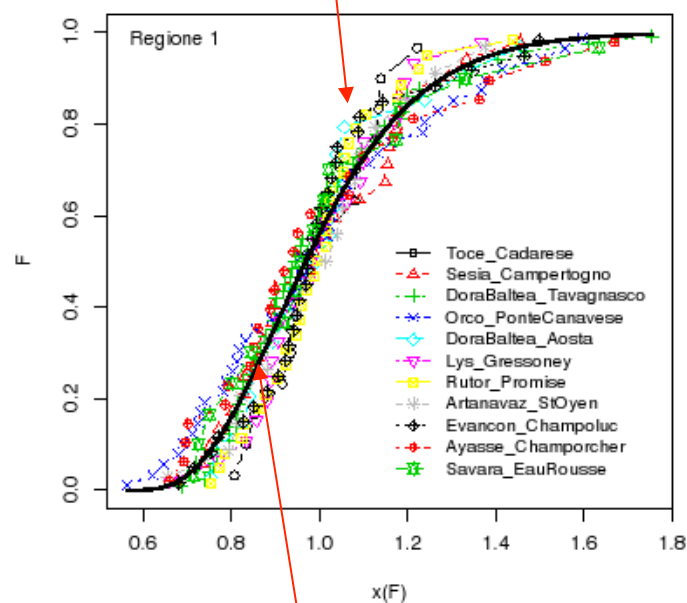
# Curva di crescita di una regione omogenea

Esempio: distribuzione di Pearson tipo III:

$$f(x) = \frac{(x - \xi)^{\alpha-1} e^{-(x-\xi)/\beta}}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)}$$

$\alpha_1 = 4.764$	$\beta_1 = 9.534 \cdot 10^{-2}$	$\xi_1 = 0.5458$
$\alpha_2 = 10.60$	$\beta_2 = 8.508 \cdot 10^{-2}$	$\xi_2 = 9.843 \cdot 10^{-2}$
$\alpha_3 = 5.817$	$\beta_3 = 0.1237$	$\xi_3 = 0.2801$
$\alpha_4 = 3.107$	$\beta_4 = 0.2093$	$\xi_4 = 0.3496$

Curve di crescita empiriche



Curva di crescita regionale

# Omogeneità non geografica (regioni disgiunte)

## Regions of Influence (ROI) e Pooling Groups



Procedura del  
**Flood Estimation Handbook**  
(Robson, Reed, 1999)



# Distanza di Similarità

Indice usato per valutare la similarità tra due bacini:

$$dist_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (V_{k,i} - V_{k,j})^2}$$

$V_{k,i}$  è il valore della k-esima variabile nel bacino i-esimo.

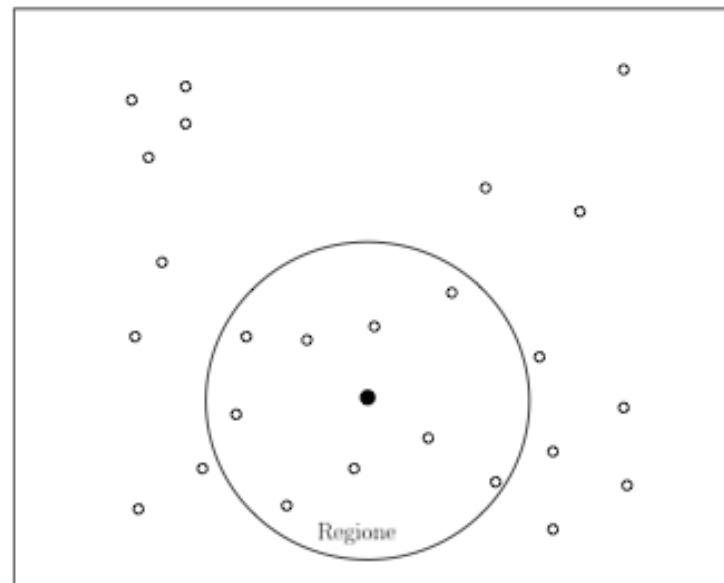
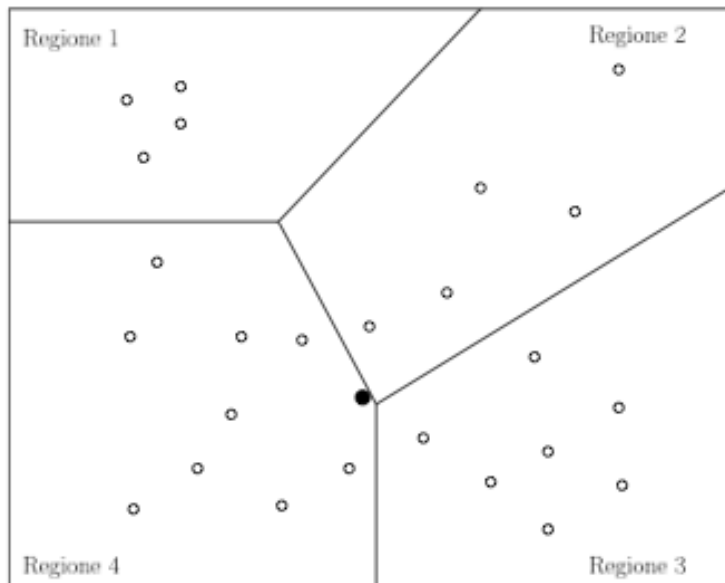
$dist_{ij}$  è la distanza Euclidea nello spazio n-dimensionale definito dalle variabili dei bacini.

Nell'FEH le variabili di pooling sono:

- AREA del bacino (km<sup>2</sup>)
- SAAR (standardized average annual rainfall, in mm)
- BFIHOST (indice di deflusso di base, tratto da classificazione HOST)

$$dist_{ij} = \sqrt{\frac{1}{2} \left( \frac{\ln AREA_i - \ln AREA_j}{\sigma(\ln AREA)} \right)^2 + \left( \frac{\ln SAAR_i - \ln SAAR_j}{\sigma(\ln SAAR)} \right)^2 + \left( \frac{BFIHOST_i - BFIHOST_j}{\sigma(BFIHOST)} \right)^2}$$

# Regioni disgiunte e regione di influenza



## METODI SSEM, es. ARPIEM (2008)

Non regioni  
omogenee, ma  
*legami tra caratter  
morfo-climatici e L-  
momenti*

http://www.idrologia.polito.it/web2/progetti/conclusi/arpiem/

1Password Use Wallet Use Identity Fill (1 matches) Save... Generate Password

CNR GNDICI - Il progetto VAPI Vapi Torino, Milano, Genova ARPI

# idrologia@polito

Gruppo di Idrologia del Politecnico di Torino

HOME PERSONE PROGETTI RICERCA DIDATTICA COMMUNITY COLLABORAZIONI CONTATTI

## Categorie

- Avvisi
- News

## Progetti

- In corso
- Conclusi

## Ricerca

- Valutazione
- Piense
- Risorse Idriche
- Clima - Montagna
- Radarmeteo

# ARPIEM

**Analisi Regionale delle PIENE nei bacini Montani (con applicazione alla Valutazione delle piene in Piemonte)**

Responsabili: P. Claps, F. Laio

Il progetto ARPIEM è finalizzato all'aggiornamento dei dati e al miglioramento dei metodi relativi alla valutazione probabilistica delle piene nei bacini montani. L'attività svolta negli anni 2007-2008 è relativa ad uno **studio** finanziato da ENEL Produzione S.p.A e relativo al territorio della Regione Piemonte.

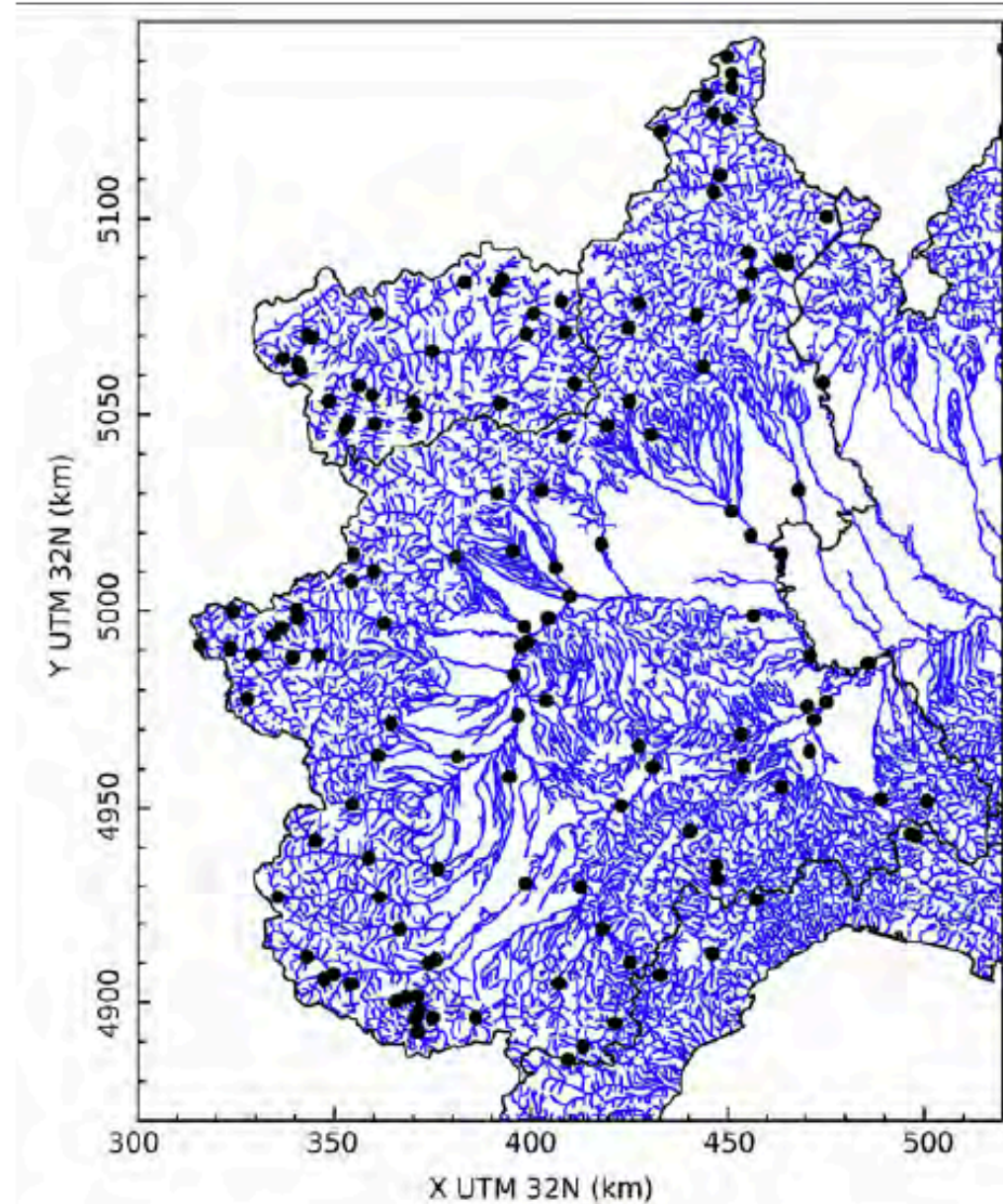
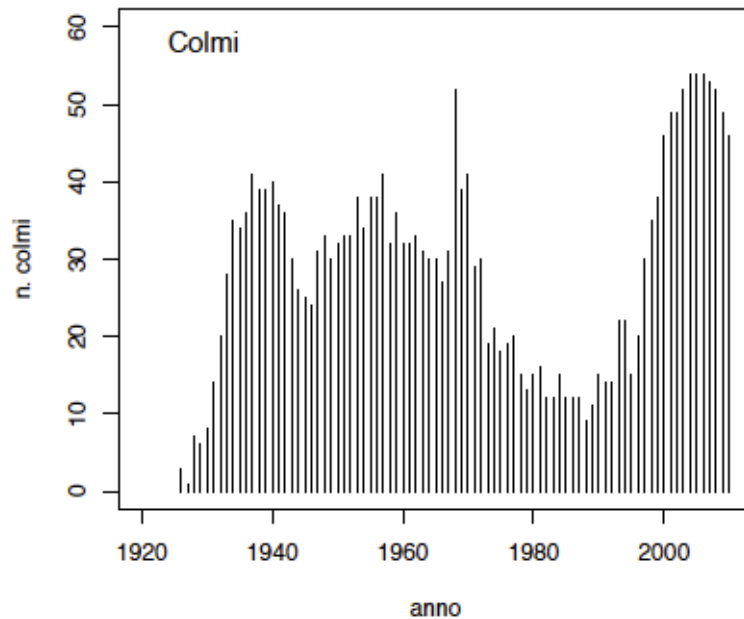
Nell'area **documenti** è possibile scaricare la relazione finale del progetto ed i relativi allegati.

Una presentazione che descrive le caratteristiche salienti del metodo è disponibile **qui**.

Ulteriori sviluppi sono allo studio, in relazione agli effetti del **global warming** sul rischio di piena.

## Aggiornamento ARPIEM (2012)

- Incremento base dati
- Affinamento tecniche statistiche di regressione



# Procedura SSEM

## Principali innovazioni:

1. Assenza di discontinuità spaziale nell'applicazione (no Zone Omogenee)
2. Eliminazione della scelta a priori della funzione di probabilità (stima dei soli L-momenti)
3. Quantificazione dell'incertezza di stima
4. Valorizzazione dell'informazione locale, ove disponibile



# Stima regionale della curva di crescita

Legami 'a variabilità continua' tra L - Momenti e descrittori geomorfoclimatici mediante modelli di regressioni multivariate

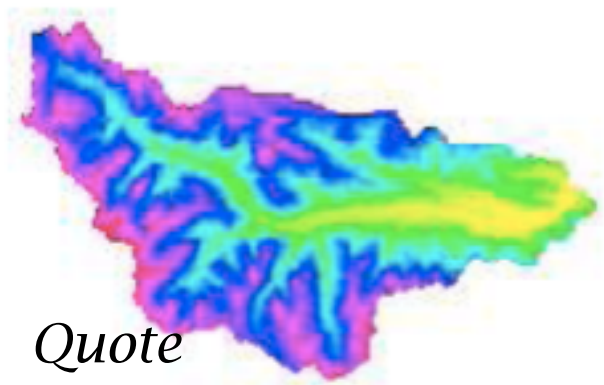
Es. di parametri geomorfoclimatici di bacino:



*Coefficiente  $a$  della c.p.p*



*Morfologia e reticolo*



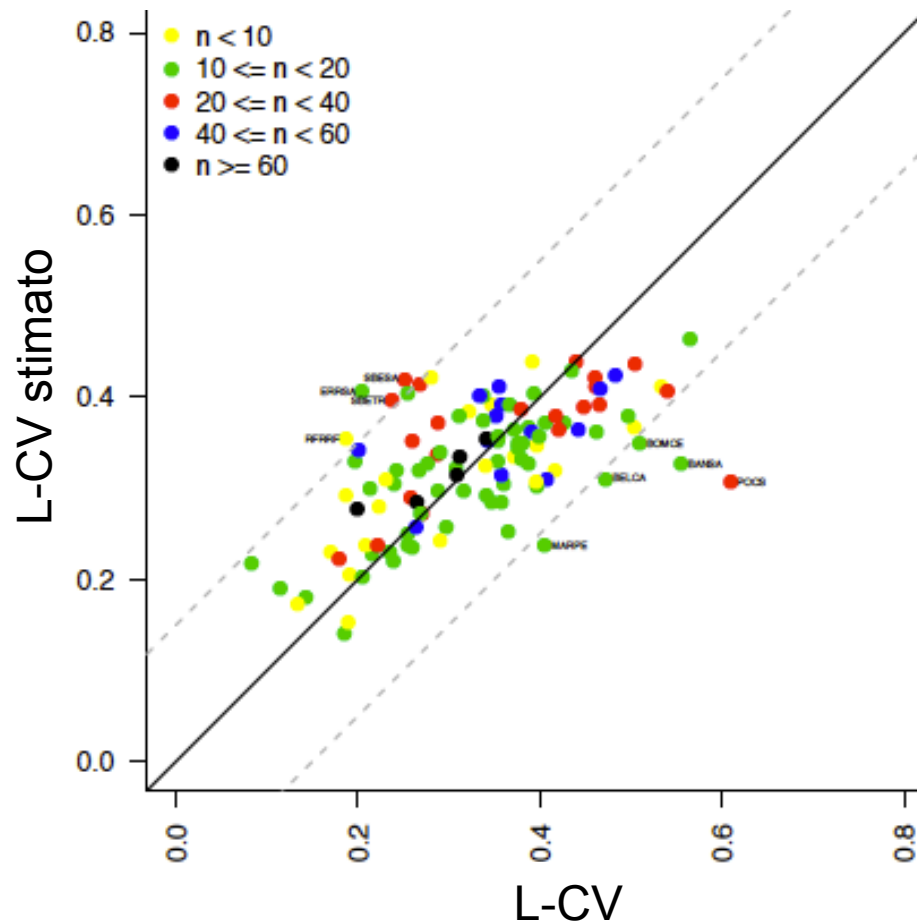
*Quote*



*Pendenze*

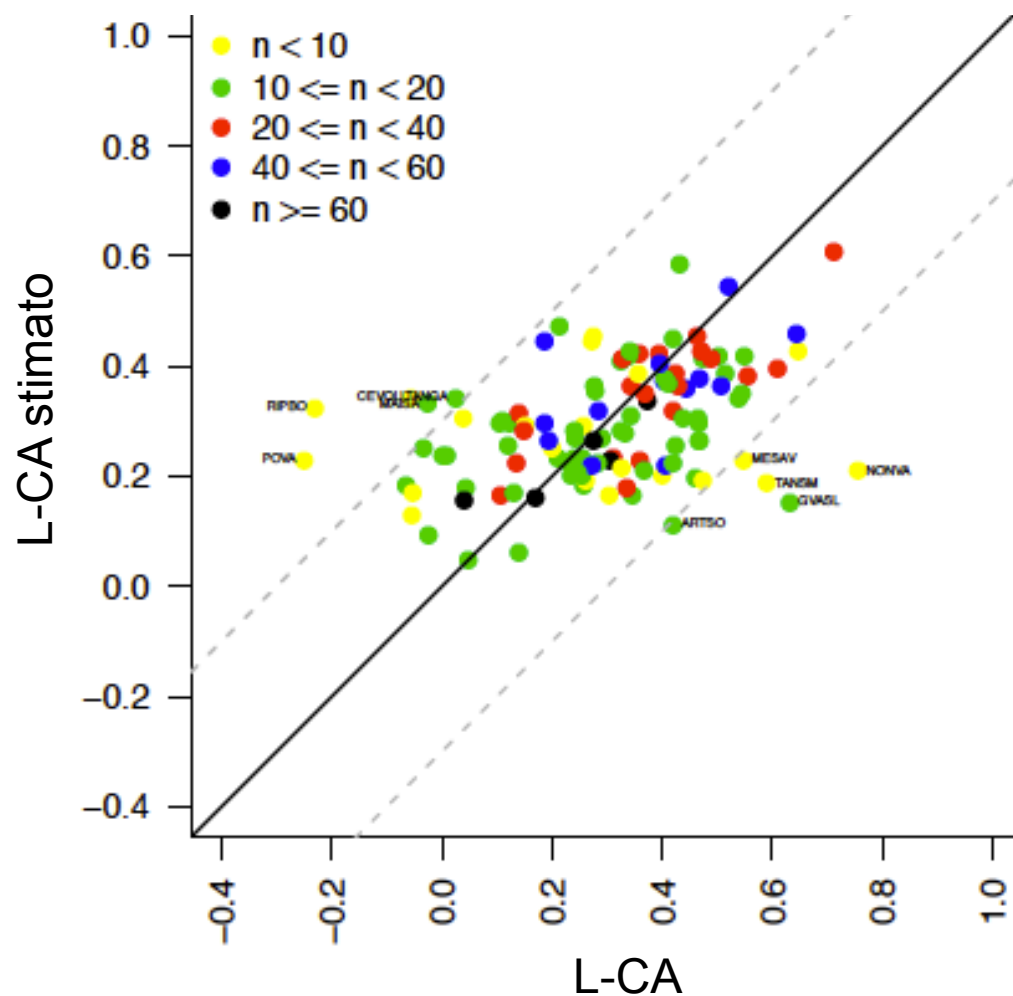
# Variabilità spaziale di L-cv (ARPIEM 2012)

$$L_{CV} = 0.17719 \cdot H_{\min}^{0.20969} \cdot NDVI^{0.71067} \cdot CV[IDF_a]^{0.21581} \cdot CV[LCV_{6h}]^{-0.19252}$$



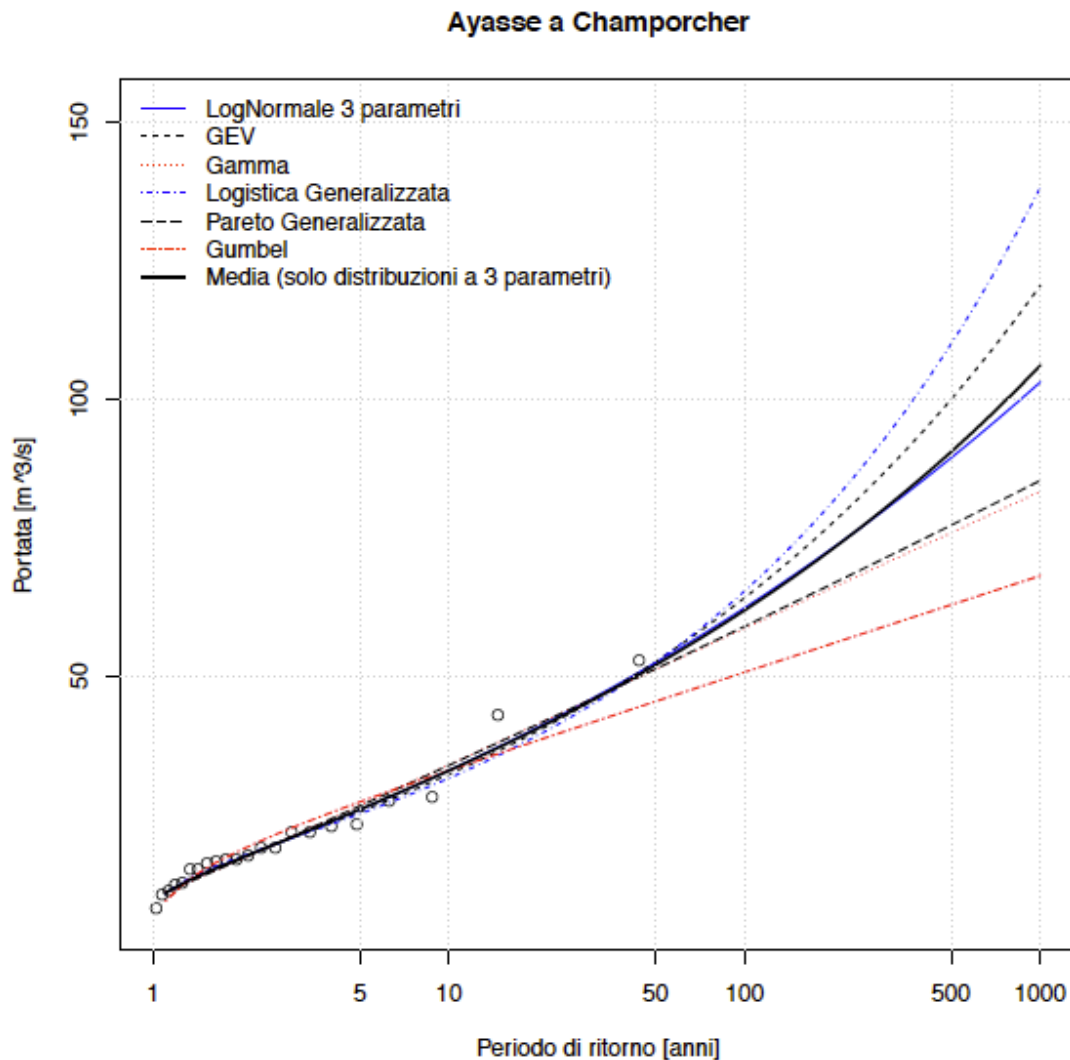
# Variabilità spaziale di L-ca (ARPIEM 2012)

$$L_{CA} = 0.79468 - 2.14568 \cdot LCA_{6h} - 0.87195 \cdot CV[LCA_{24h}] + 0.00192 \cdot dlc_2 + 0.01555 \cdot \text{fourier}_{B2}$$

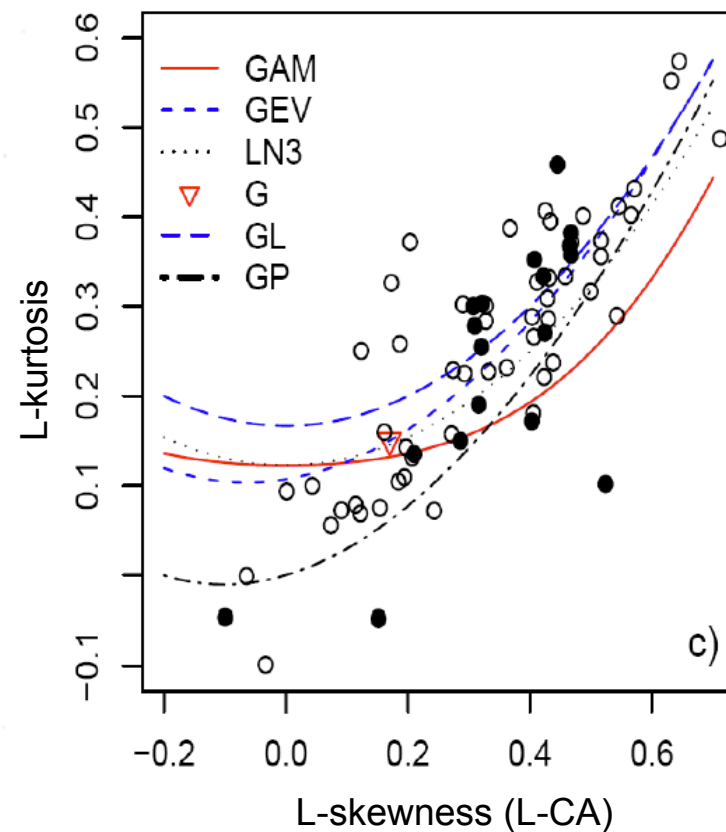
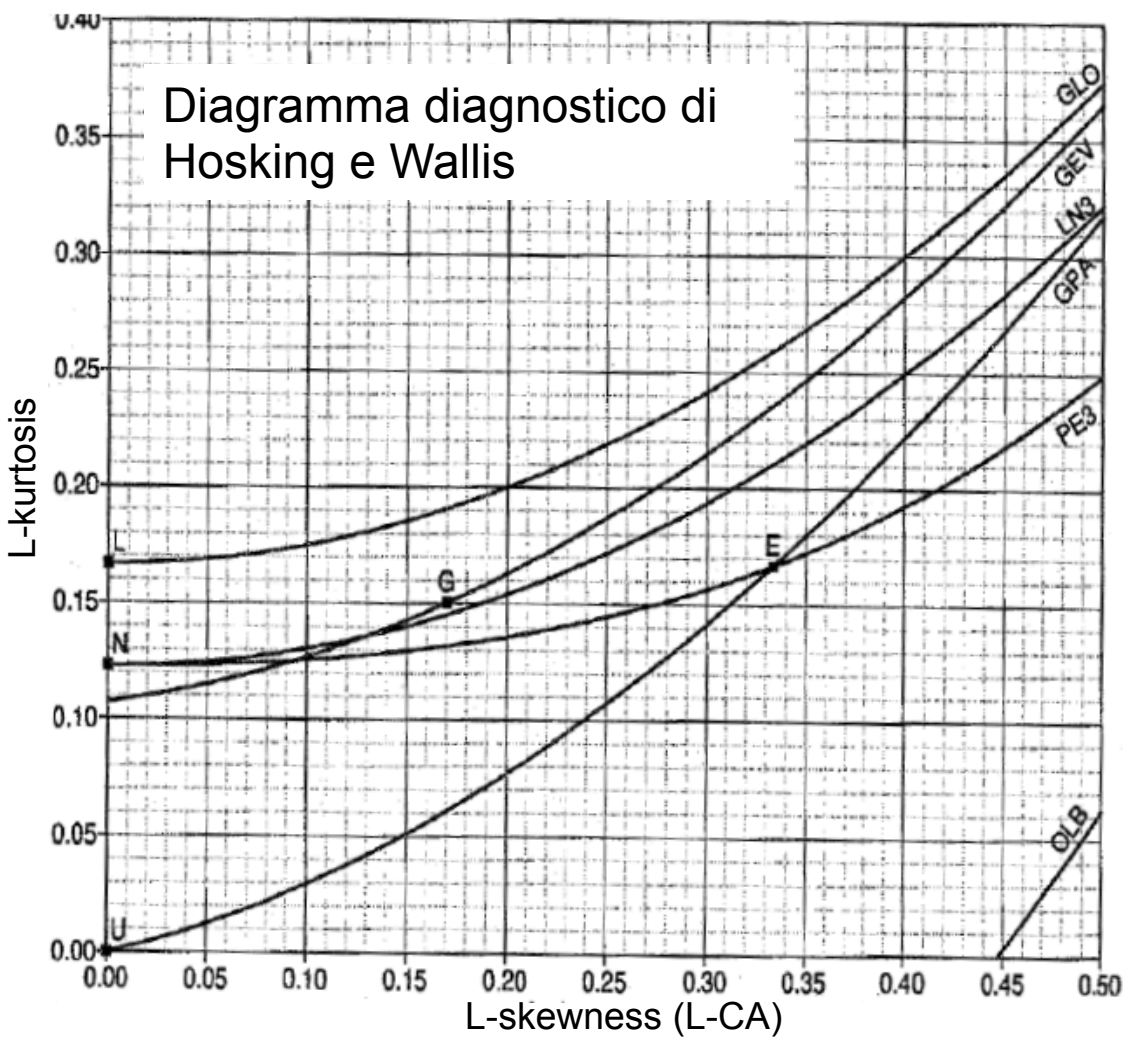




# Scelta della distribuzione di probabilità

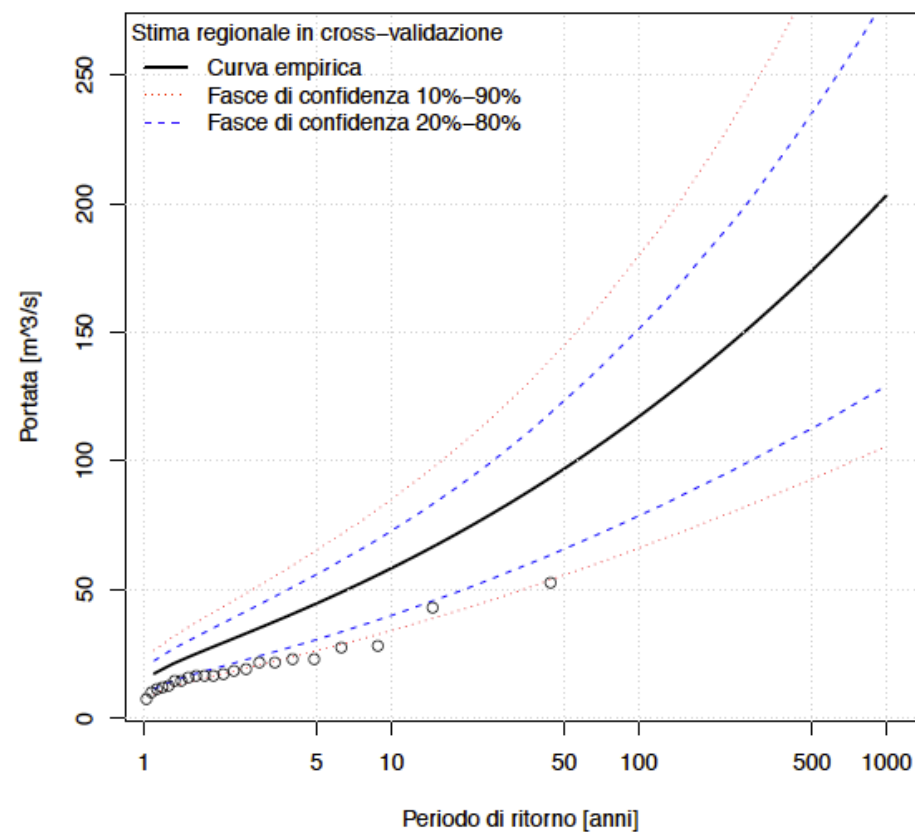
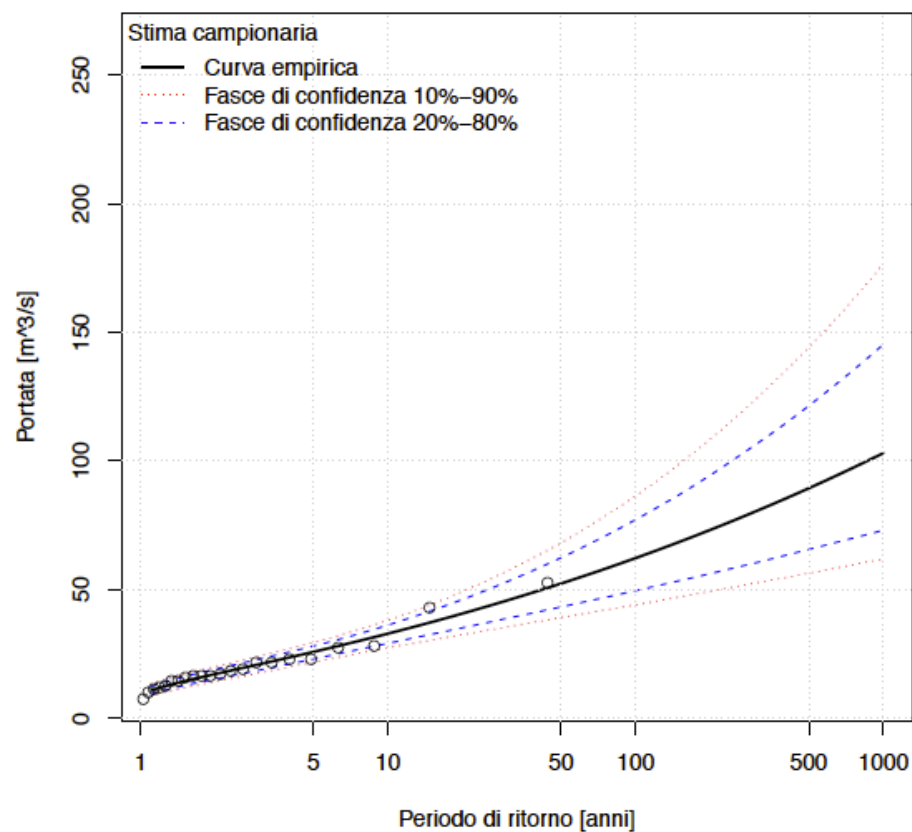


# Scelta della distribuzione di probabilità



# Incertezza di stima

Ayasse a Champorcher



## Stime di $Q_T$ : Incertezza, verifica e confronto

Solitamente la stima della piena di progetto viene effettuata valutando separatamente  $Q_{indice}$  e  $K_T$

Verifica suddivisa in tre fasi:

- Verifica della stima della curva di crescita
- Verifica della stima della piena indice
- Verifica finale della portata di progetto

## Stime di $Q_T$ : Incertezza, verifica e confronto

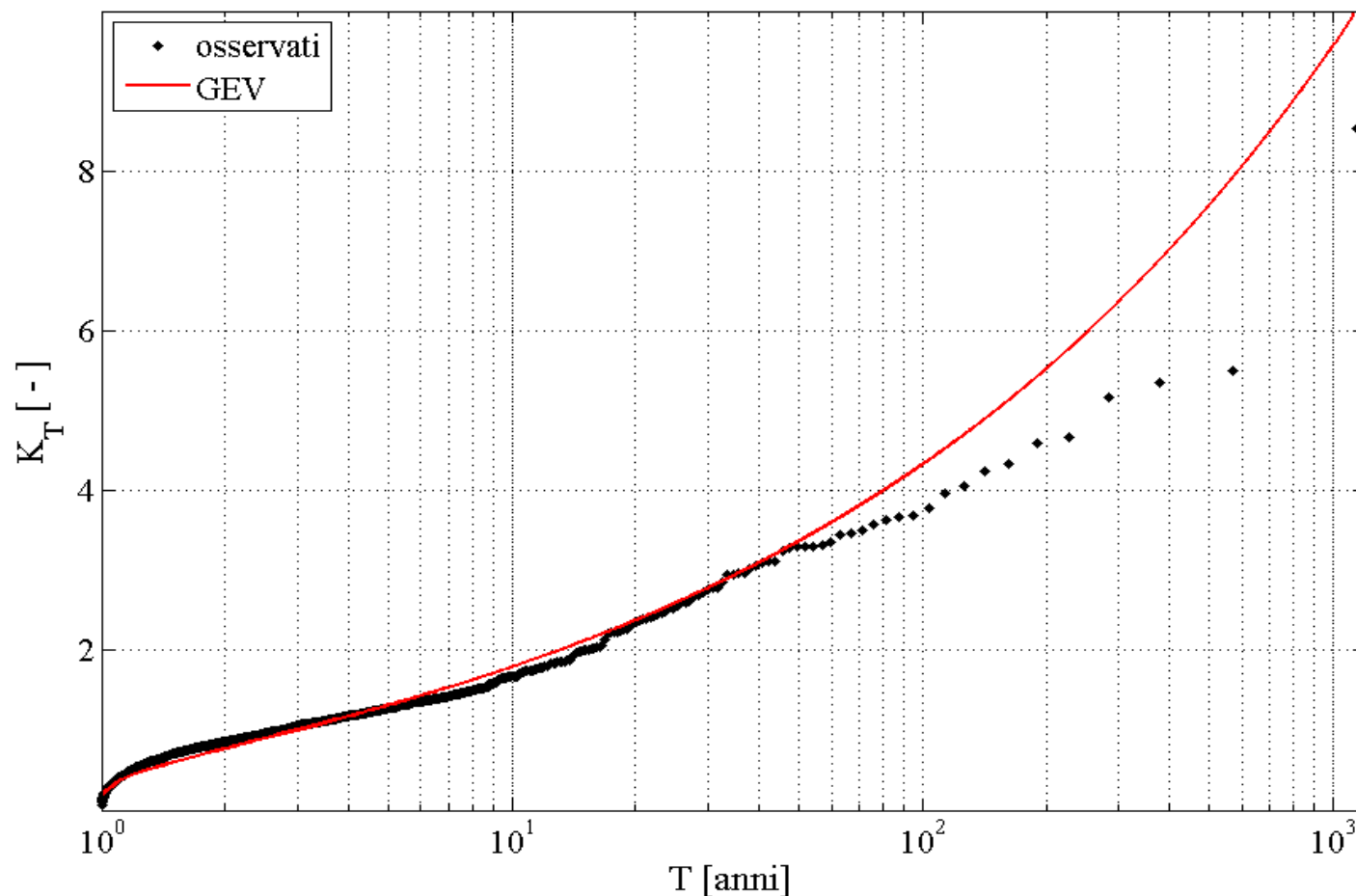
Il metodo SSEM permette di agire sui 3 L-momenti (media, L-CV e L-CA) separatamente.

Consente di combinare informazione locale e regionale per ogni L-momento

L'incertezza finale (di  $Q_T$ ) può essere stimata con simulazioni Monte Carlo

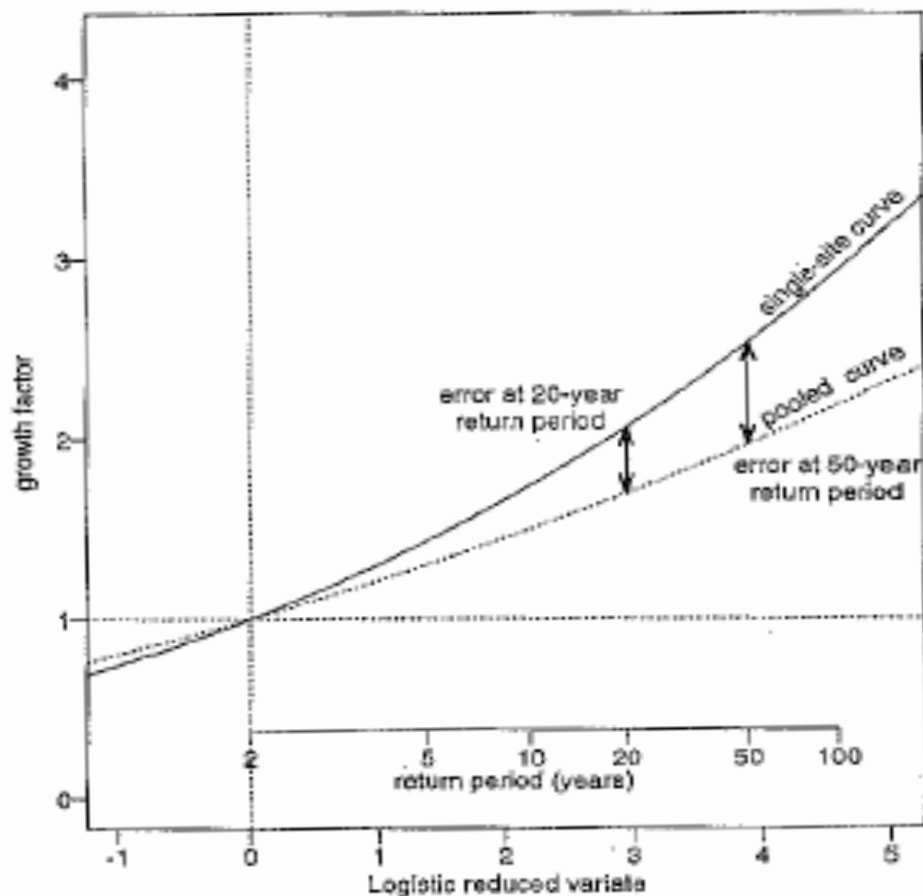
(vedere es. applicativo)

## Verifica con procedura station year – Regione B (Rosso-De Michele)



Per  $T > 50$  il metodo GEV tende a sovrastimare l'andamento dei dati osservati. Verifica con test Anderson-Darling

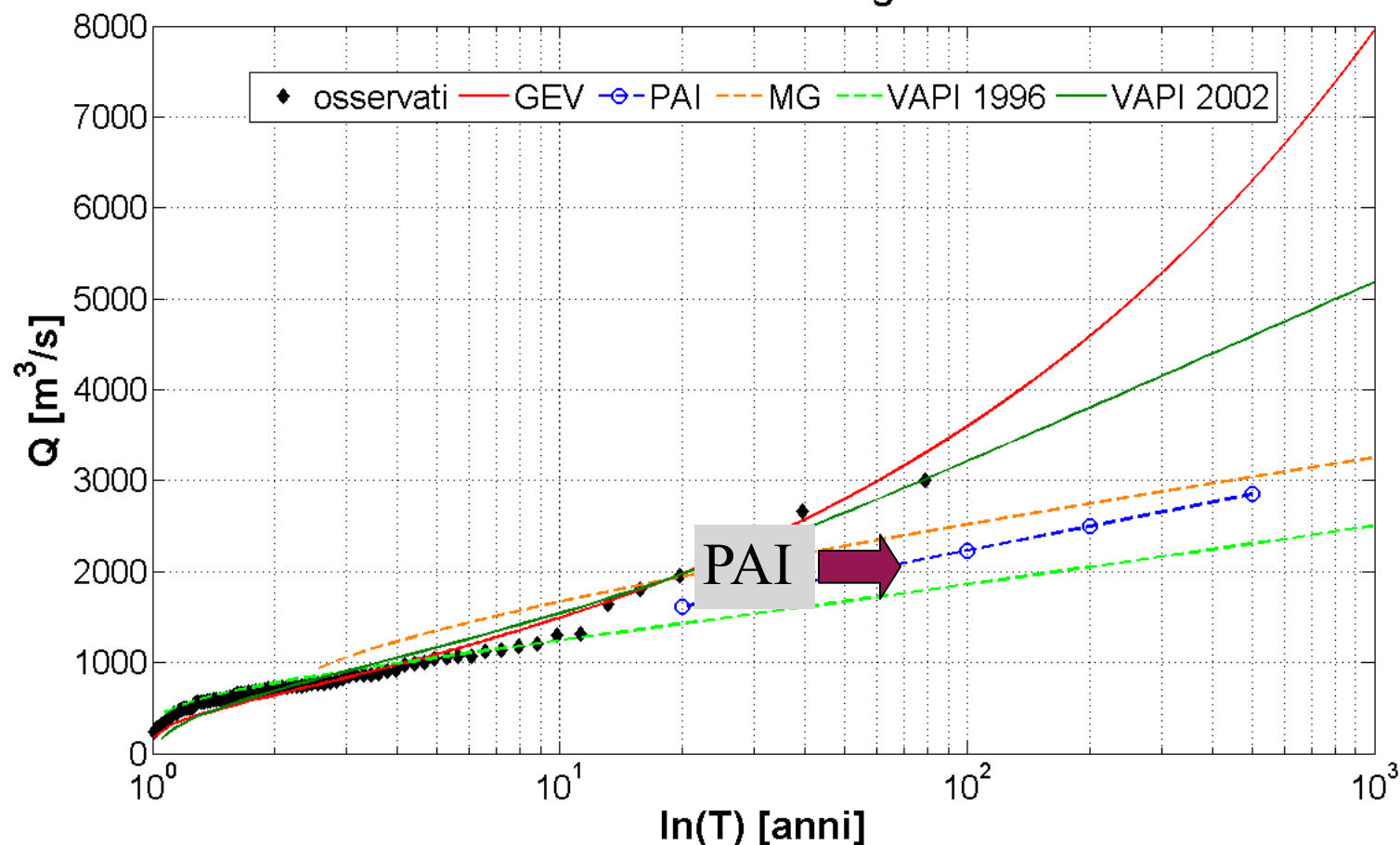
# Incertezza di stima



*Figure 16.6 Uncertainty measures for pooled growth curves. The differences between the site and pooled growth curves can be used as a measure of error.*

# Rappresentazione rispetto a $\ln T$

## Dora Baltea a Tavagnasco



Le stime (PAI) sono state effettuate tramite l'analisi statistica delle serie storiche dei valori di portata al colmo nelle stazioni strumentate e, per le sezioni prive di misure, tramite l'impiego di metodi regionalizzazione statistica e di modelli deterministici di simulazione della traslazione dell'onda di piena lungo il corso d'acqua.



# Legge di Gumbel

Valore di progetto  $X_T$  con il periodo di ritorno  $T$ :

$$T = \frac{1}{p} = \frac{1}{(1-F)}$$

$$X_T = \varepsilon - \frac{1}{\alpha} \ln \ln \frac{T}{T-1} = \varepsilon \left( 1 - \frac{1}{\alpha \varepsilon} \ln \ln \frac{T}{T-1} \right)$$

Considerando le relazioni tra i momenti teorici ed i parametri  $\varepsilon$  ed  $\alpha$ ,

$$\alpha \bar{x} = \frac{\pi}{Cv_x \sqrt{6}} \quad \frac{\varepsilon}{\bar{x}} = 1 - 0.45 Cv_x$$

si può pervenire ad una relazione tra la variabile di progetto e media e  $Cv$  del campione, valida secondo l'approssimazione del metodo dei momenti:

$$x_T = \bar{x} \left[ 1 - Cv_x \left( 0.45 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right) \right]$$

## FORMA CARATTERISTICA

$$X_T = \varepsilon \left( 1 - k' \log \ln \frac{T}{T-1} \right) \quad \text{con } k' = \frac{1}{0.4343 \alpha \varepsilon} \text{ (caratteristica della distribuzione)}$$

Per  $T$  abbastanza grande, in genere superiore ai 20 anni, vale che  $\ln \frac{T}{T-1} \approx \frac{1}{T}$ ;

Di conseguenza  $X_T$  può essere espressa come:

$$X_T \approx \varepsilon (1 + k' \log T) \quad \text{dove } k' = \frac{1}{\log \Lambda} \quad \Rightarrow \quad X_T \text{ varia linearmente con } \log T$$

## Alternative alla stima regionale delle portate di piena

- Bacini molto piccoli: Modelli di trasformazione afflussi-deflussi
- Bacini molto grandi ( $>4000 \text{ km}^2$ ): Metodi di simulazione (includono il controllo idraulico sulle portate di piena a valle)

## Metodi analitici indiretti (tipo *GRADEX*: $Q(T)=F[P(T)]$ ) a mezzo di modelli afflussi-deflussi.

1. Si fissano le piogge massime corrispondenti al periodo di ritorno scelto.
2. Si fissa il coefficiente di afflusso o l'indice d'infiltrazione  $\Psi$
3. Si applica un modello di trasformazione afflussi-deflussi, ad esempio il metodo della corrivazione.
4. Si pone  $Q_T = Q_{colmo}$

*Problemi:* il coefficiente di afflusso è molto variabile da un evento all'altro per uno stesso bacino. Qual è il valore da dare a  $\Psi$  ?

*Utilità:* Per i problemi in cui non esistono, o sono scarsi, dati diretti sulle portate al colmo di piena (fognature, aree di bonifica, corsi d'acqua privi di dati di portata) e per bassi periodi di ritorno.

# Topological kriging

- Metodo di interpolazione nello spazio geografico che tiene conto della struttura topologica del reticolo

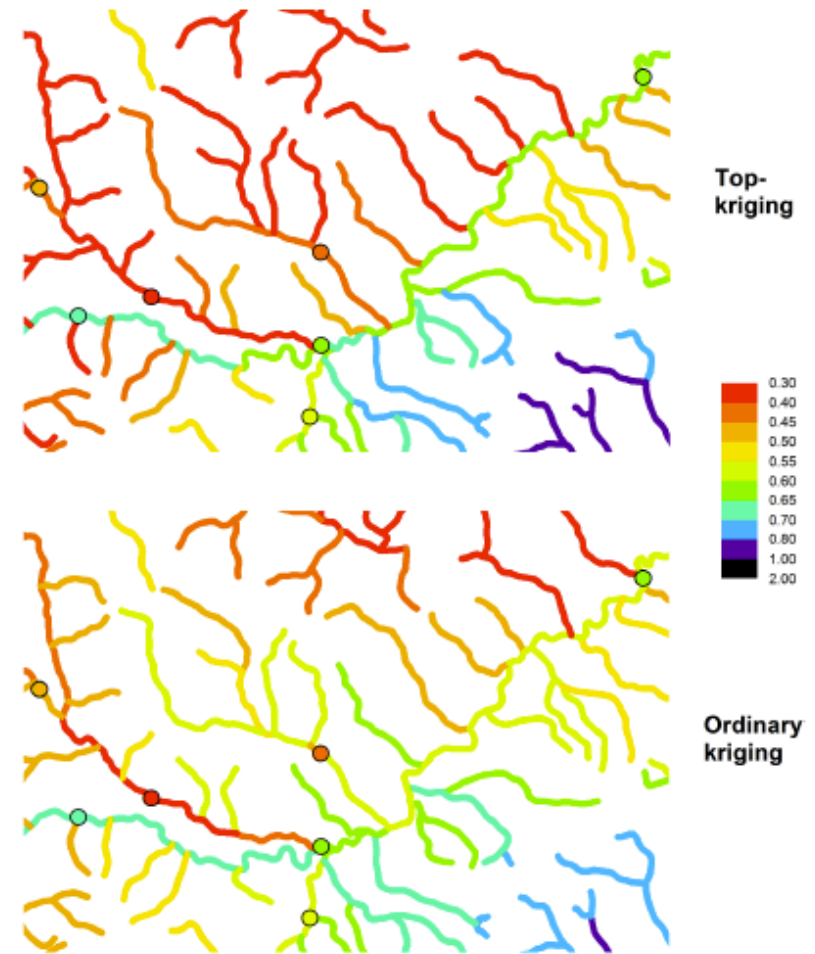
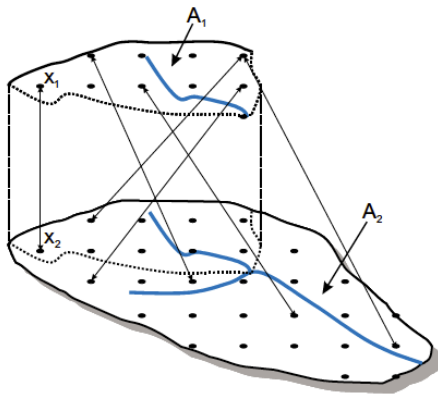


Fig. 7. Estimates of the normalised specific 100-year flood  $Q_{100N}$  from Top-kriging (top) and Ordinary Kriging (bottom) colour coded on the stream network of the Mur region. The measurements (i.e. values at the stream gauges) are shown as circles. Units are in  $m^3/s/km^2$ .

# Orco a Pont Canavese (Cuorgné)

