



**POLITECNICO  
DI TORINO**



Daniele GANORA  
[daniele.ganora@polito.it](mailto:daniele.ganora@polito.it)

**PROGETTO RESBA (Resilienza sugli SBarramenti)  
SBARRAMENTI ARTIFICIALI NEL TERRITORIO  
TRANSFRONTALIERO ITALIA-FRANCIA  
SEMINARIO TECNICO  
Torino 27 novembre 2019 - Politecnico di Torino**

# Modello SSEM-FLORA



- La procedura adottata riprende la formulazione del classico **metodo della piena indice**:

$$Q_T = Q_{ind} \cdot K_T$$

- Sfruttare l'informazione derivante dall'**analisi regionale** con quella disponibile **in sito**
- Metodo che consente di sfruttare anche **serie storiche** relativamente **brevi**

[http://www.idrologia.polito.it/doc/piene/rapporto\\_SSEM\\_revSett2013\\_opt.pdf](http://www.idrologia.polito.it/doc/piene/rapporto_SSEM_revSett2013_opt.pdf)

# SSEM (spatially smooth estimation method) si basa sui seguenti presupposti:

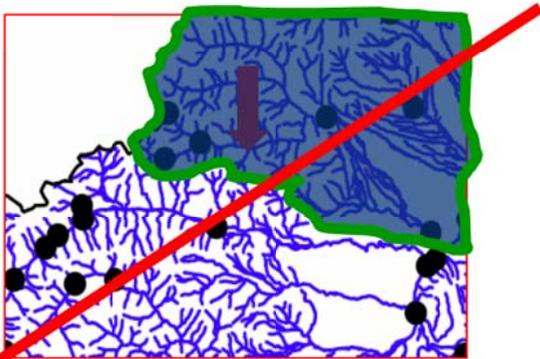
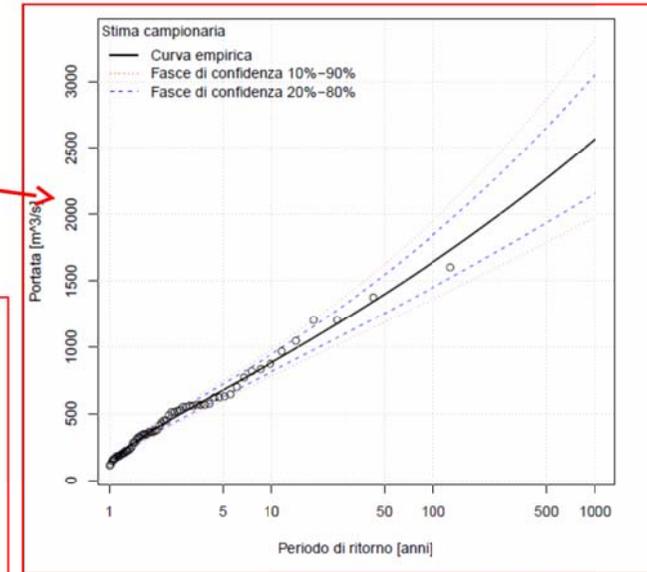
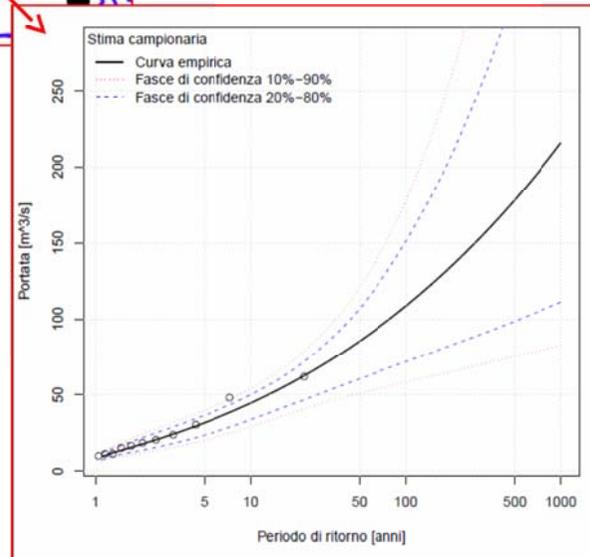
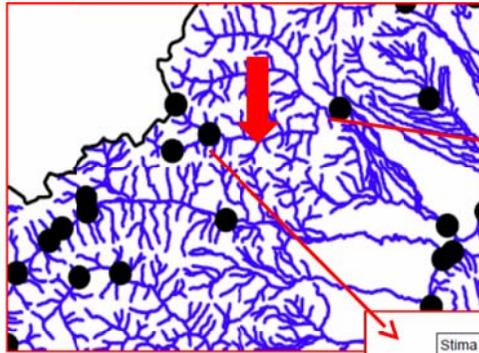
- **Variabilità continua** della curva di crescita nello spazio. Si ipotizza che la curva di crescita sia diversa da sezione a sezione, ossia non si ricorre alla classica suddivisione della regione di interesse in sottoregioni supposte omogenee.
- Rappresentazione della curva di crescita in funzione di due **L-coefficienti**

$$K_j(T, L_{CV}, L_{CA})$$

- Stima degli L-coefficienti  $L_{CV}$  e  $L_{CA}$  (variabilità e asimmetria della curva di crescita) tramite **regressioni multiple**, utilizzando come variabili dipendenti i **descrittori** geomorfoclimatici già utilizzati per la stima della piena indice.
- Scelta del **modello probabilistico** di rappresentazione della curva di crescita effettuata solo a valle della stima degli L-coefficienti:

Log-normale a 3 parametri

# Variabilità continua della curva di crescita nello spazio



# L-momenti

L1 = **media**, valore centrale del campione (=  $Q_{ind}$ )

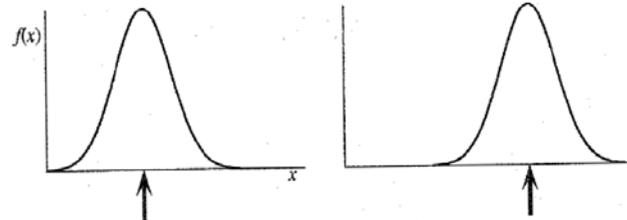


Fig. 2.1. Definition sketch for first  $L$ -moment.

L-CV  
Coefficiente di **variabilità** intorno al valore centrale

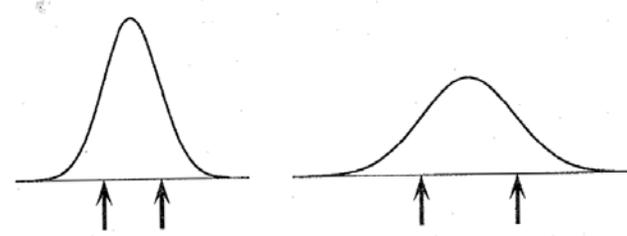


Fig. 2.2. Definition sketch for second  $L$ -moment.

L-CA  
Coefficiente di **asimmetria**

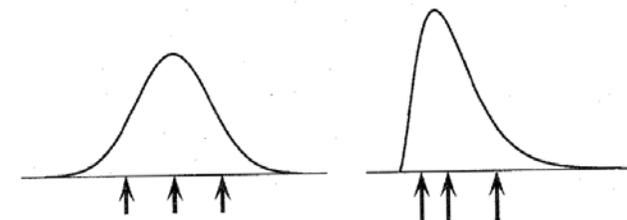


Fig. 2.3. Definition sketch for third  $L$ -moment.

^

# Stima degli L-momenti



- Portata indice

$$Q_{\text{ind}} = 0.01324 \cdot \text{area}^{0.7995} \cdot \text{IDF}_a^{2.82089} \cdot \text{IDF}_n^{2.06805} \cdot \text{LCV}_{1h}^{1.33232}.$$

- Coefficiente di L-variazione

$$\text{LCV} = 0.17719 \cdot H_{\text{min}}^{0.20969} \cdot \text{NDVI}^{0.71067} \cdot \text{CV}[\text{IDF}_a]^{0.21581} \cdot \text{CV}[\text{LCV}_{6h}]^{-0.19252}$$

- Coefficiente di L-asimmetria

$$\text{LCA} = 0.79468 - 2.14568 \cdot \text{LCA}_{6h} - 0.87195 \cdot \text{CV}[\text{LCA}_{24h}] + 0.00192 \cdot \text{clc}_2 + 0.01555 \cdot \text{fourier}_{B2}$$

Regressioni basate su descrittori geomorfologici, climatici e di uso del suolo

# Modello probabilistico



Stima dei **parametri della distribuzione** log-normale a 3 parametri

$$\alpha = \frac{Q_{\text{ind}} \cdot L_{\text{CV}} \cdot k \cdot e^{-k^2/2}}{1 - 2\Phi(-k/\sqrt{2})},$$

$$k \approx -L_{\text{CA}} \frac{E_0 + E_1 \cdot L_{\text{CA}}^2 + E_2 \cdot L_{\text{CA}}^4 + E_3 \cdot L_{\text{CA}}^6}{1 + F_1 \cdot L_{\text{CA}}^2 + F_2 \cdot L_{\text{CA}}^4 + F_3 \cdot L_{\text{CA}}^6}$$

$$\xi = Q_{\text{ind}} - \frac{\alpha}{k}(1 - e^{k^2/2}).$$

---

$$E_0 = 2.0466534$$

$$E_2 = 1.8396733 \quad F_1 = -2.0182173$$

$$E_3 = -0.20360244 \quad F_3 = -0.21741801$$

---

Stima **portata** di progetto per assegnato tempo di ritorno e analisi dell'**incertezza**

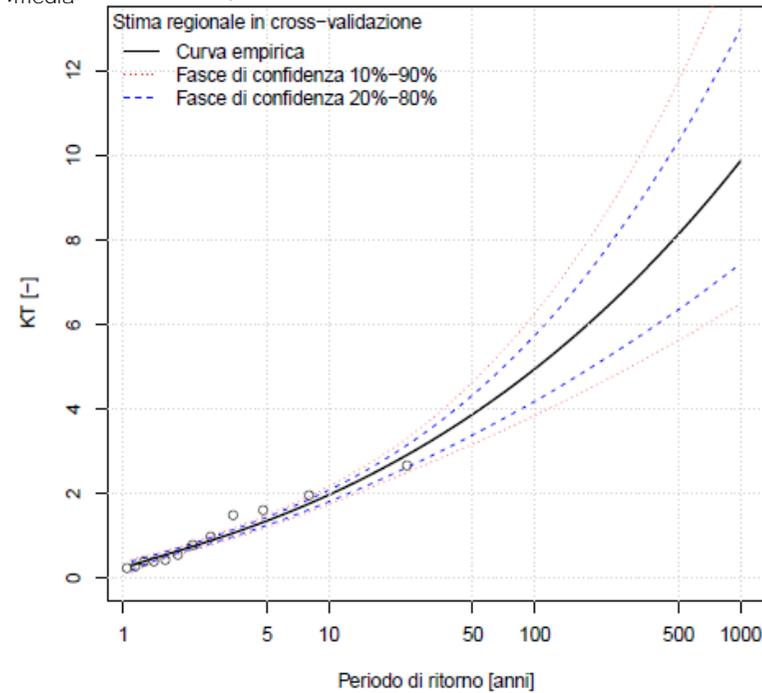
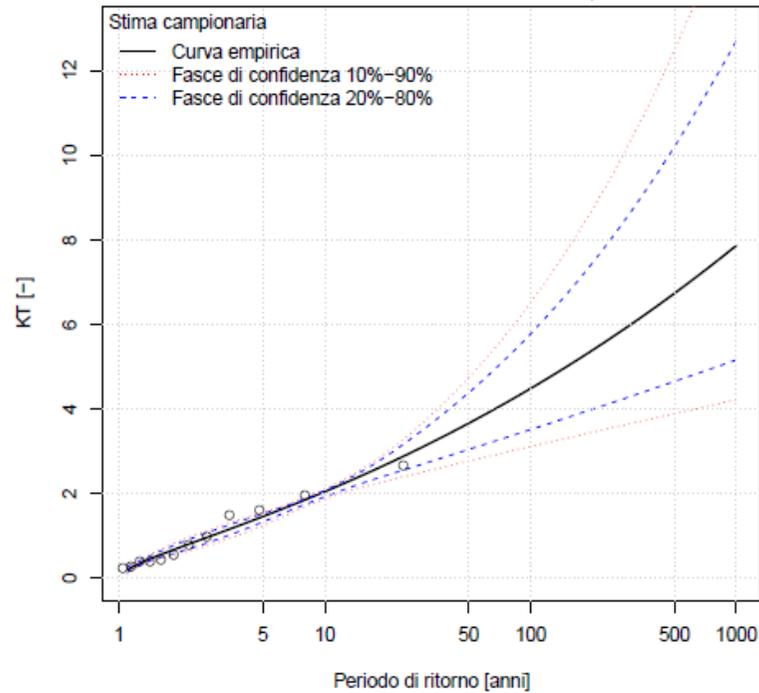
$$Q_T = \begin{cases} \xi - \frac{\alpha}{k} (\exp[-k \cdot y] - 1) & k \neq 0 \\ \xi + \alpha \cdot y & k = 0 \end{cases}$$

$$y = \Phi^{-1}(F) = \Phi^{-1}\left(1 - \frac{1}{T}\right)$$

# Curve di crescita

Varaita a Rossana  
( $A=402.1\text{km}^2$   $q_{\text{media}} 1797\text{mslm}$ )

Stima campionaria

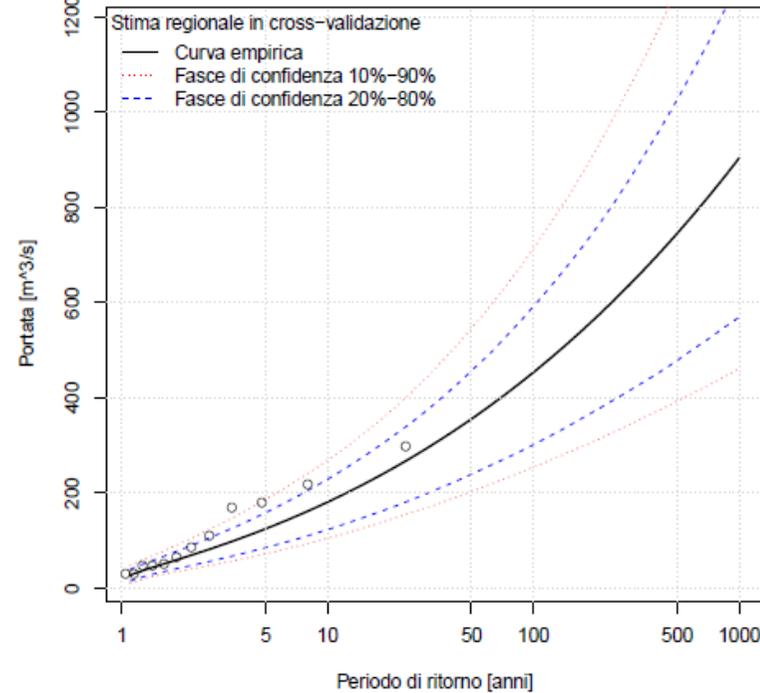
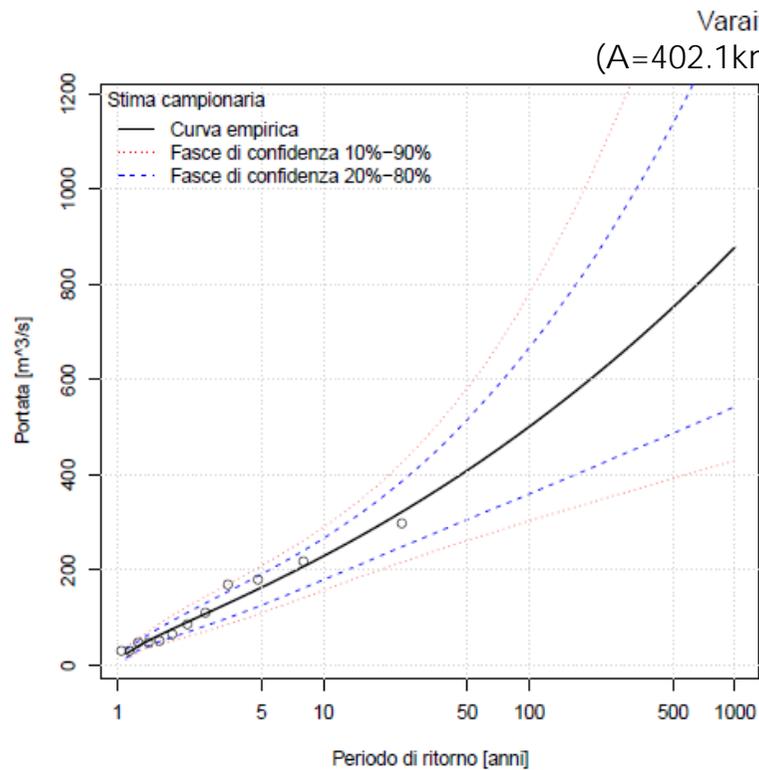


Stima regionale

I fatto che le **fasce di confidenza** regionale siano più strette di quelle del caso campionario mettono in luce il vantaggio che si può ottenere considerando la procedura regionale anche in un generico sito strumentato, specialmente se si dispone di un campione non molto esteso

# Curve di frequenza

Stima campionaria



Stima regionale

In questo caso viene introdotto anche l'effetto della piena indice. Si può osservare che le fasce di confidenza dei due metodi hanno un'ampiezza paragonabile. Questo è dovuto al fatto che la stima della piena indice basata su un campione anche ridotto è meno incerta della corrispondente stima regionale

# Modello misto



La struttura del modello è pensata anche per essere applicata ad uno scenario intermedio, in cui siano **disponibili serie storiche brevi**, utilizzando più efficientemente gli L-momenti:

- $Q_{ind}$  campionaria (portate al colmo) e  $L_{CV}$  e  $L_{CA}$  regionali;
- $Q_{ind}$  e  $L_{CV}$  campionari, e  $L_{CA}$  regionale.

Per poter operare in tal senso è necessario **calcolare i valori di  $Q_{ind}$ ,  $L_{CV}$  e  $L_{CA}$  e le loro varianze** sia relativamente al campione, sia dai rispettivi modelli regionali.

Si **confrontano quindi le varianze campionarie e regionali** dei singoli L-momenti e si sceglie la stima caratterizzata dalla minore varianza.

# Esempio applicazione

## 1. Determinazione dei descrittori



area	202.4
$H_{\min}$	338
$IDF_a$	30.586
$CV[IDF_a]$	0.062
$IDF_n$	0.392
$LCV_{1h}$	0.173
NDVI	0.599
$CV[LCV_{6h}]$	0.066
$LCA_{6h}$	0.222
$CV[LCA_{24h}]$	0.134
$fourier_{B2}$	-6.964
clc2	73.15

# Esempio applicazione



2. Calcolo degli L-momenti da regressione

Variabile	media	dev. standard
$Q_{ind}$	199.5	69.34
$L_{CV}$	0.3866	0.0589
$L_{CA}$	0.2333	0.0961

3. Calcolo dei parametri della lognormale

$$\left. \begin{array}{l} Q_{ind} \\ L_{CV} \\ L_{CA} \end{array} \right\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} k = -0.48372 \\ \alpha = 123.99 \\ \xi = 167.69 \end{array} \right.$$

# Esempio applicazione

## 4. Stima delle portate di progetto per assegnato periodo di ritorno

Variabile	Distribuzione
$Q_{\text{ind}}$	log-Normale: $Q_{\text{ind}}^* \sim \log \mathcal{N} (199.5, 69.34^2)$
$L_{\text{CV}}$	log-Normale: $L_{\text{CV}}^* \sim \log \mathcal{N} (0.3866, 0.0589^2)$
$L_{\text{CA}}$	Normale: $L_{\text{CA}}^* \sim \mathcal{N} (0.2333, 0.0961^2)$

T	F	$Q_T$	$K_T$
10	0.900	387.8	1.94
20	0.950	479.4	2.40
50	0.980	603.6	3.03
100	0.990	701.1	3.51
200	0.995	802.4	4.02
500	0.998	942.8	4.73
1000	0.999	1054.2	5.28

## 5. Analisi incertezza

# Esempio applicazione

## Stima regionale

Variabile	media	dev. standard
$Q_{ind}$	199.5	69.34
$L_{CV}$	0.3866	0.0589
$L_{CA}$	0.2333	0.0961

## Stima locale

Variabile	media	dev. standard
$Q_{ind}$	317.1	57.62
$L_{CV}$	0.4650	0.0403
$L_{CA}$	0.3114	0.1083

Dove sono presenti dai dati si opera come in precedenza, ma si scelgono gli stimatori degli L-momenti caratterizzati da minore incertezza

# Volumi e idrogrammi di piena



Analisi degli idrogrammi (o volumi) di piena necessaria per studiare la laminazione

Molte meno informazioni rispetto alle portate di piena

Metodi di analisi non consolidati



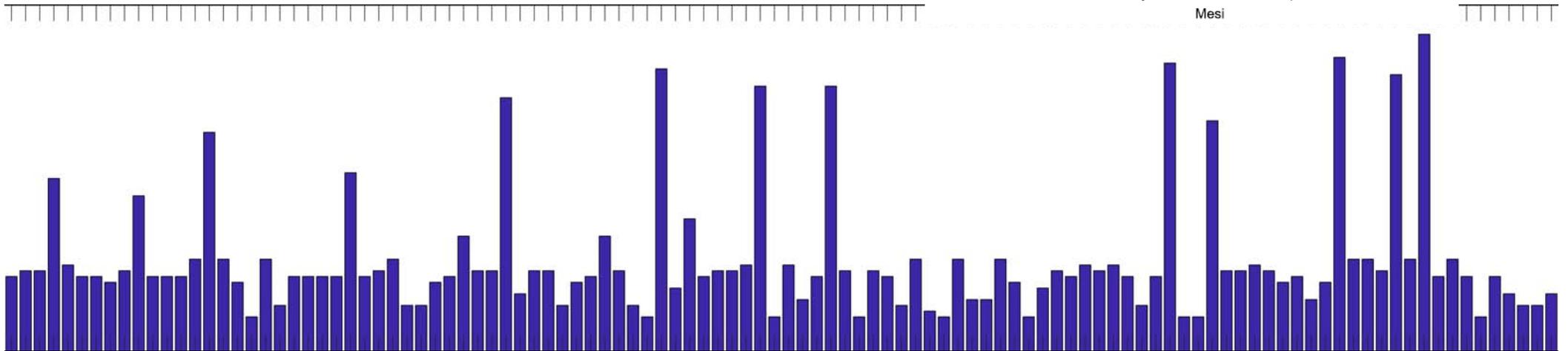
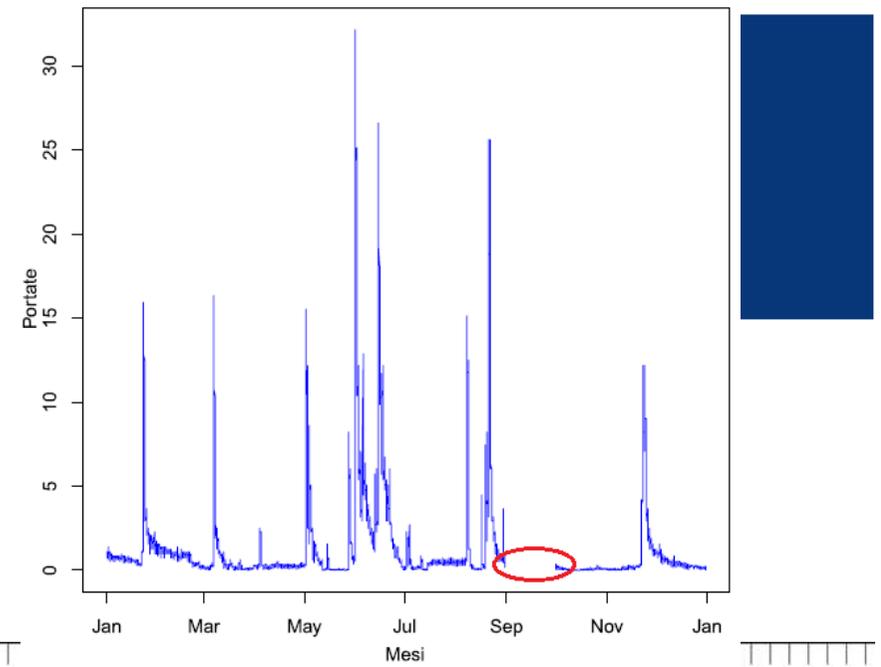
Attività:

1. **Base informativa** per idrogrammi di piena
2. **Metodologia** valutazione volumi di piena in bacini non strumentati

# Base dati

110 stazioni idrometriche considerate

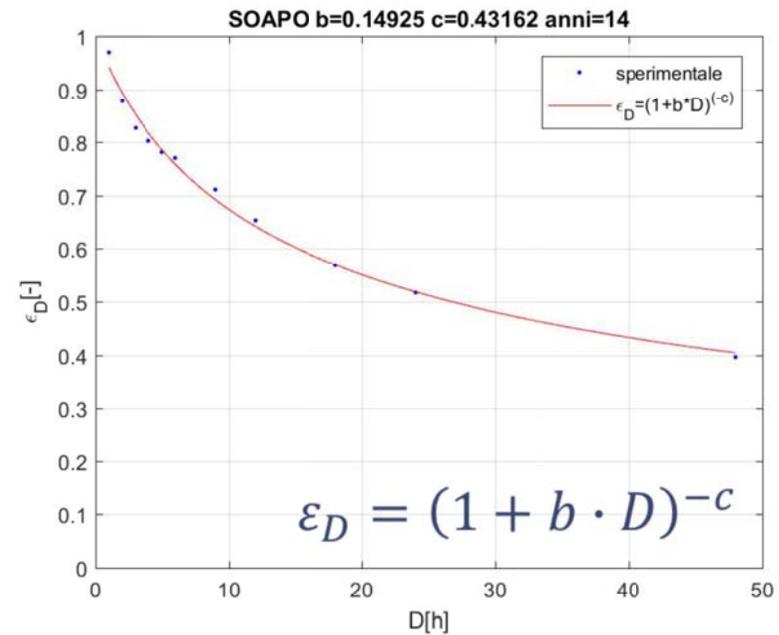
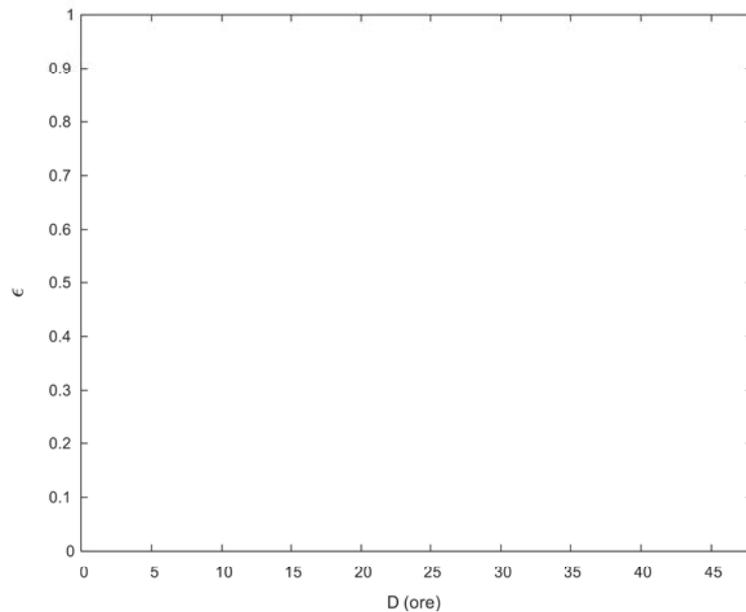
Analisi gap per validare idrogrammi di piena



# Curve di riduzione dei colmi di piena

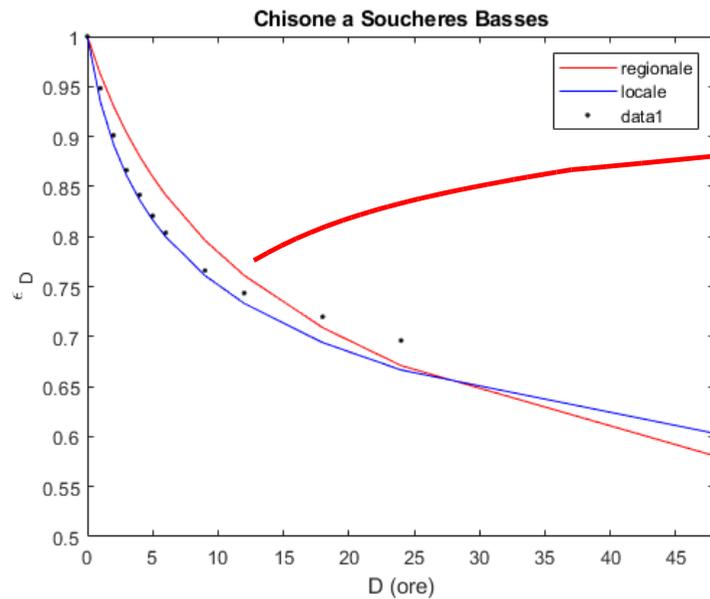
La metodologia di analisi degli idrogrammi si basa sulla curva di riduzione dei colmi:

- Volumi transitati su finestre di data durata (no forma idrogramma)
- Forma compatta più facile da regionalizzare



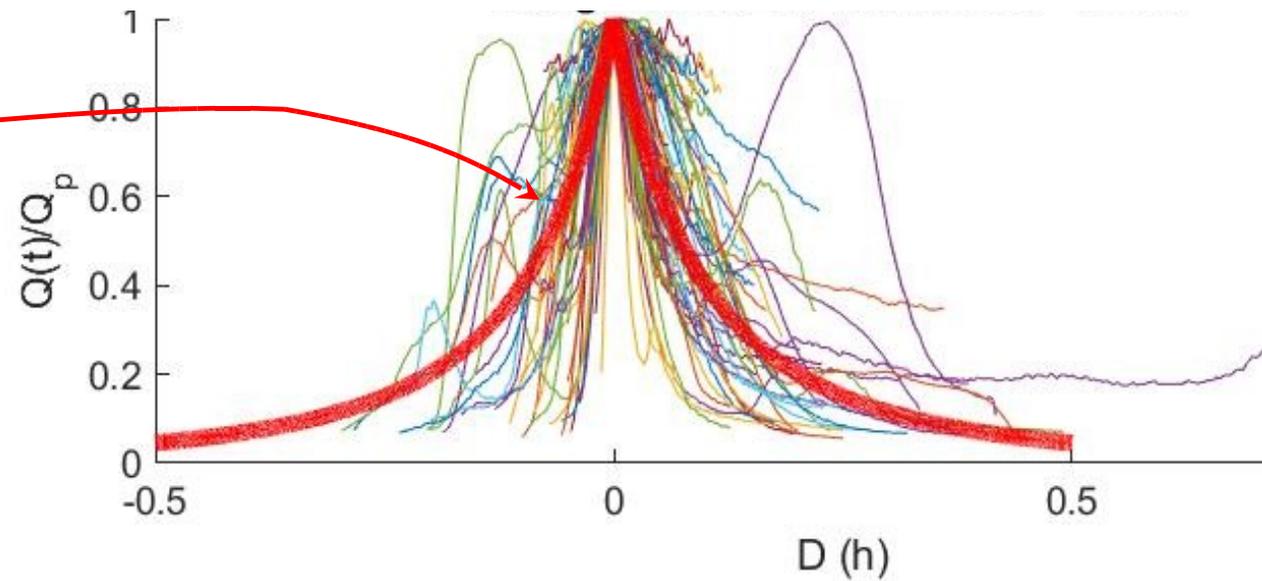
# Applicazione

## Regionalizzazione curva di riduzione media



$$c = 2.6765 + 0.0724 \ln(A) - 0.3006 \ln(q_{\text{mean}}) + 0.1118 \ln(\text{cv}(L_{\text{CS},1\text{h}}))$$

$$\ln(1/b) = -2.2474 + 0.507 \ln(A) - 2.5341 \ln(\text{IDFn})$$



**Idrogramma sintetico** adimensionale (da moltiplicare per  $Q_T$ )