

*SimInAria*

## Variazioni dei massimi di precipitazione in area prealpina

Evidenza di cambiamento locale nel tempo della climatologia dei massimi annuali di precipitazione

Francesco Uboldi

*uboldi@magritte.it*

*<http://www.magritte.it/francesco.uboldi/hydro.html>*

**OSSERVAZIONI:** massimi annuali di precipitazione cumulata su intervalli di durata 1 ora, 3, 6, 12, 24 ore.

Parte I — identificazione delle possibili fonti non-climatiche di variazione nel tempo della statistica (*Uboldi et al., EMS 2013*)

- Eterogeneità della distribuzione spaziale e temporale e temporale
- Eterogeneità: sottoreti installate in tempi diversi e con scopi diversi ¿metadati?.
- Errori grossolani, sistematici... *cross-validation*
- Cambiamenti nella strumentazione

Parte II — Non stazionarietà.

- Massimi annuali di precipitazione cumulata su intervalli di durata 1 ora, 3, 6, 12, 24 ore
- Stazioni **Meccaniche**
- Area **Como-Varese**
- Confronto distribuzioni tra i periodi **1950-1977** e **1978-2005**
- Distribuzione campionaria – *boxplot*
- Distribuzione **GEV** (*Generalized Extreme-Value*)
- *Test* di ipotesi

**NOTA:** alcune slide sono riprese dalla presentazione: *Uboldi et al., EMS 2013*

Contesto: richiesta di tipo operativo

## Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (*Depth-Duration-Frequency curves*)

- mappa di probabilità per massimi annuali di precipitazione in un determinato sito
- famiglia di curve sul piano:  $h_T(D)$ .

In ordinata: "**altezza di pioggia**" (*rain depth*)  $h$  in mm (vale a dire la massa di acqua precipitata in  $\text{kg}/\text{m}^2$ ).

In acissa: **durata**  $D$  dell'evento in ore.

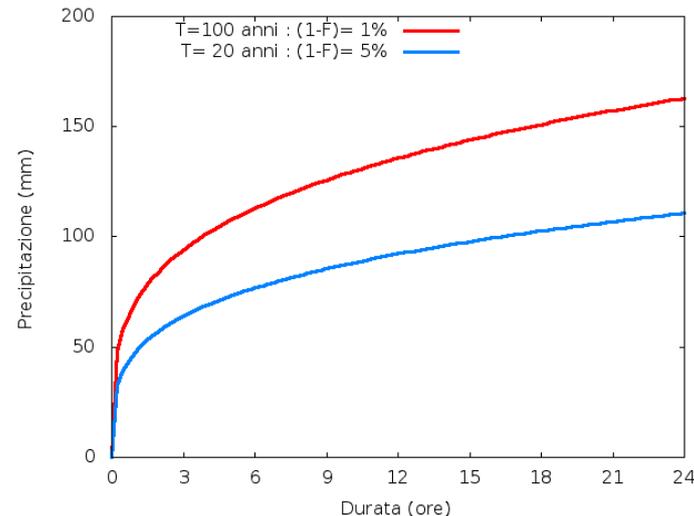
Ogni punto indica precipitazione cumulata nell'intervallo di tempo "durata".

La famiglia di curve è parametrizzata dal periodo di ritorno  $T$  in anni.

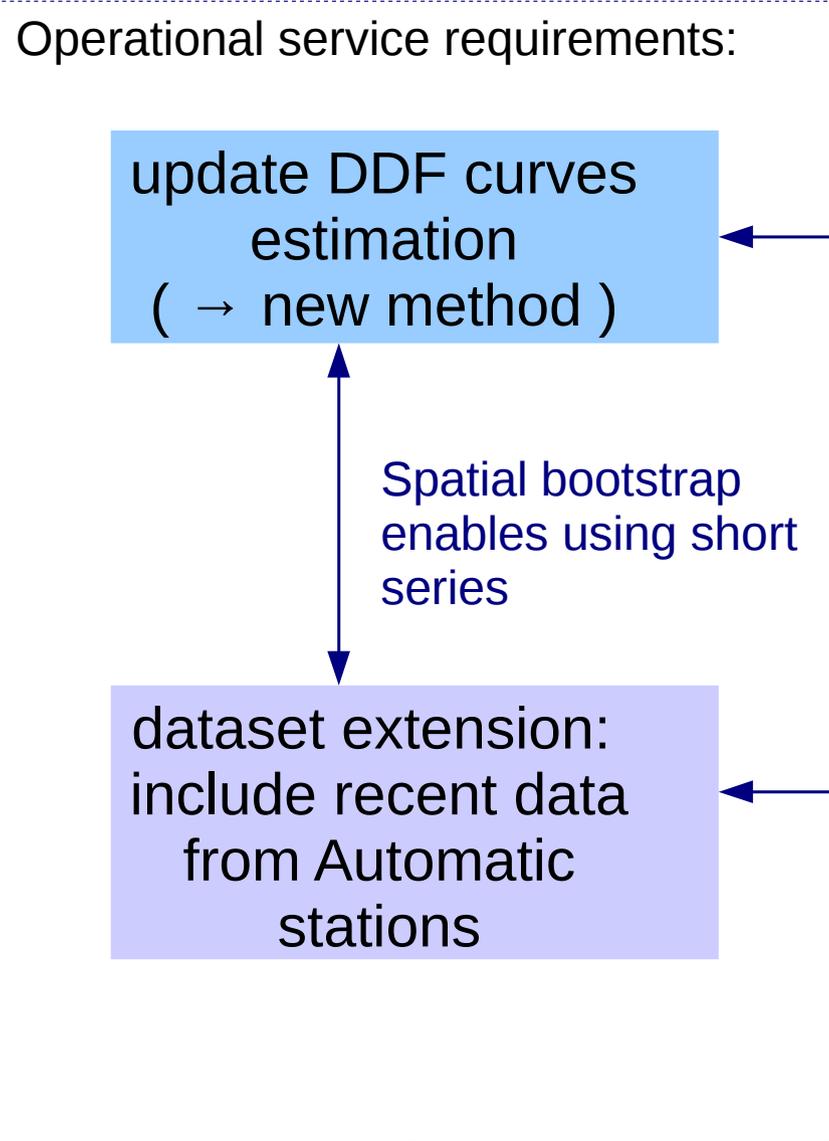
Periodo di ritorno:

$$T = \frac{1}{1-F}$$

$1-F$  : probabilità che, in un anno, un evento di durata  $D$  superi l'altezza di pioggia  $h$ .



# Presentation plan

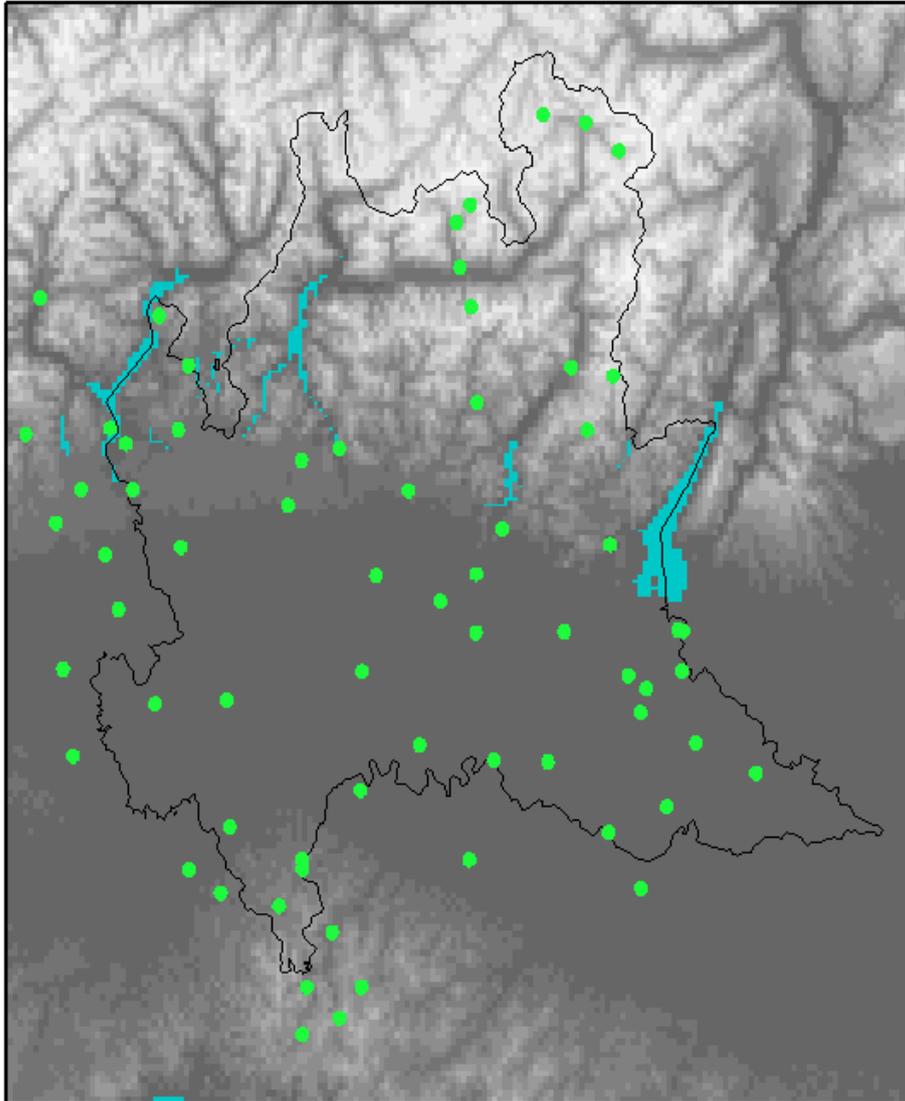


~long record 1929-2011: stationary / non-stationary statistics

homogenization

supplementary Quality Control and Consistency Checks

## Dataset extension



### OLD dataset:

- 1929-2003
- Annals and stations from SIMN **Servizio Idrografico e Mareografico Italiano**, 1917-1998
- 69 historical stations: mostly **Mechanic** with analog instrumentation, partly substituted with **Automatic** stations since the '90s
- Stations **selected by series length**: 24 years at least
- Total: 2753 annual records

## Dataset extension

**1990s**: progressive installation of **new Automatic stations** by different institutions, with different goals and criteria.

In the same period: **old Mechanic stations progressively dismantled**, only occasionally substituted with a new Automatic station in the same site.

Last data from **M** station: 2005.

Since **~2003**, subnetwork integration → → → ARPA Lombardia mesoscale network

### Quality control

- Since ~2003: subjective human operator checks (portions of the network only)
- **2008**: work started for a proper **data quality assurance system**, first operational version 2009 (*Ranci and Lussana, 2009; Lussana et al., 2010*).

**~2008** : Hourly accumulated rainfall observations → Hydrographic Service archive

**DATASET EXTENSION**: integration of the "OLD dataset" with annual maxima reconstructed from all hourly precipitation observations present in the Hydrographic Service archive

- ➔ Supplementary quality control and consistency check
- ➔ Analysis of spatial and temporal data distribution

# Stazionarietà e non-stazionarietà

In generale, variazioni nel tempo **non climatiche** possono apparire a causa della **disomogeneità** dei dati.

D'altra parte la disomogeneità dei dati **può anche nascondere effettive variazioni nel tempo della climatologia**.

Per questi motivi, i dati utilizzati per questo lavoro sono stati sottoposti ad attenti e numerosi **controlli di qualità**, utilizzando tra l'altro il concetto **cross-validation** (sia tra serie temporali individuali, sia tra sottoreti).

Si è scelto inoltre di effettuare una **aggregazione spaziale** per aree climatologicamente omogenee.

Non è usato qui (qui i dati sono stati aggregati per area), ma nel contesto di questo lavoro è stato proposto un metodo di stima dei parametri della distribuzione, lo “**spatial bootstrap**”, che permette contemporaneamente regionalizzazione e variazioni spaziali in un territorio complesso per topografia e climatologia → *Uboldi et al., HESS 2014*.

## Stationarity analysis

**The identification of non-climatic sources for temporal variation** is a prerequisite to the analysis of local climatic non-stationarities

Possible reasons of temporal variation of rainfall annual maxima statistics:

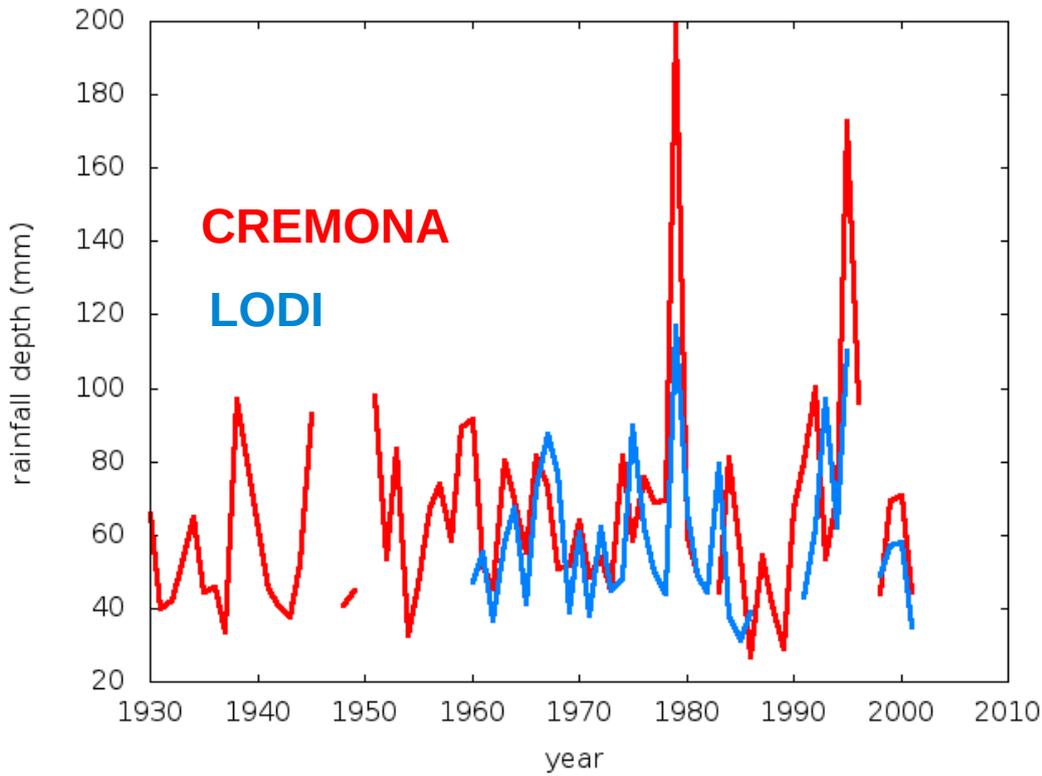
NON-climatic:

- Variation in time of the observational network: number of stations and uniformity of their spatial distribution
- Variation in time of station type: **Mechanic** or **Automatic**.
- Heterogeneity of the observational network, built by merging different sub-networks, originally installed at different times, with different aims and criteria, at different locations (urban, rural, mountain...), with different instrumentation (400 cm<sup>2</sup> or 1000 cm<sup>2</sup> raingauges). *LACK OF METADATA*
- Variation in time of station elevation above sea level

Climatic:

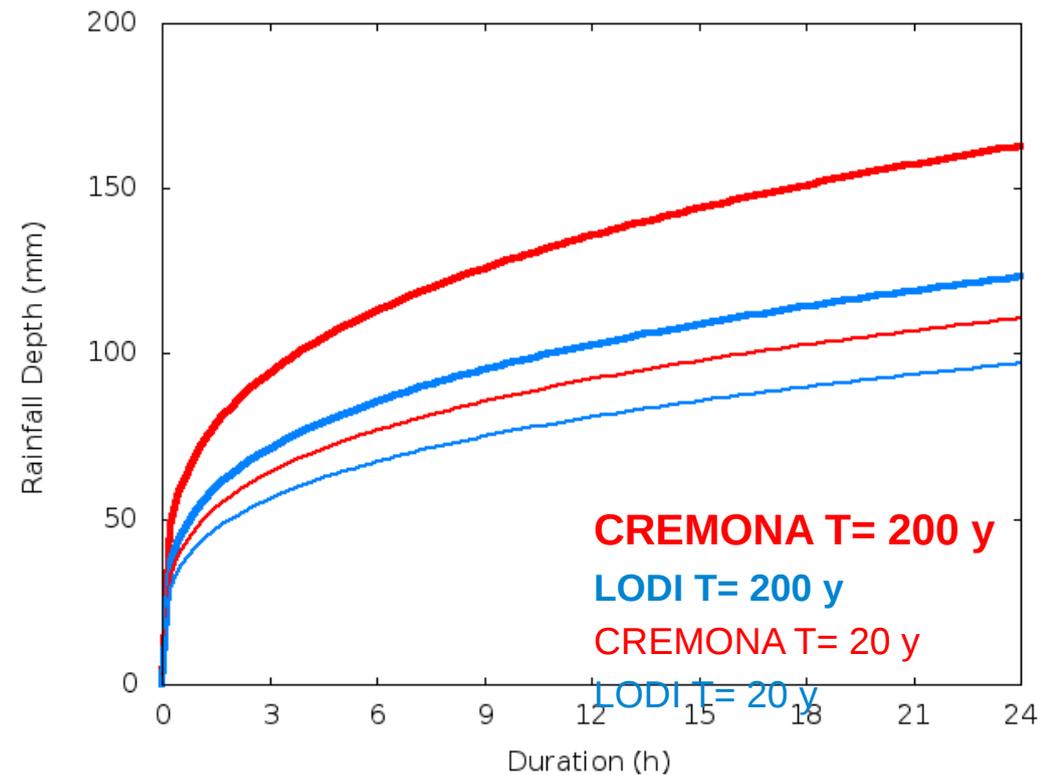
- Long period oscillations and/or trends, either due to natural variability or anthropogenic global warming, need to be evaluated anyway

# Sensibilità alla presenza di outliers:



Le due stazioni distano circa ~40 km  
Le due serie, nel periodo comune mostrano caratteristiche simili, eccetto per la presenza di due massimi, molto più alti a CREMONA che a LODI

LSPP Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica  
Depth-Duration-Frequency curves  
**Stima puntuale separata sulle due stazioni**  
(GEV, L-moments)



## Stationarity analysis: homogeneous areas

### Spatial aggregation of time series

Stationarity issues, climatic or not, regard an area, not a single point

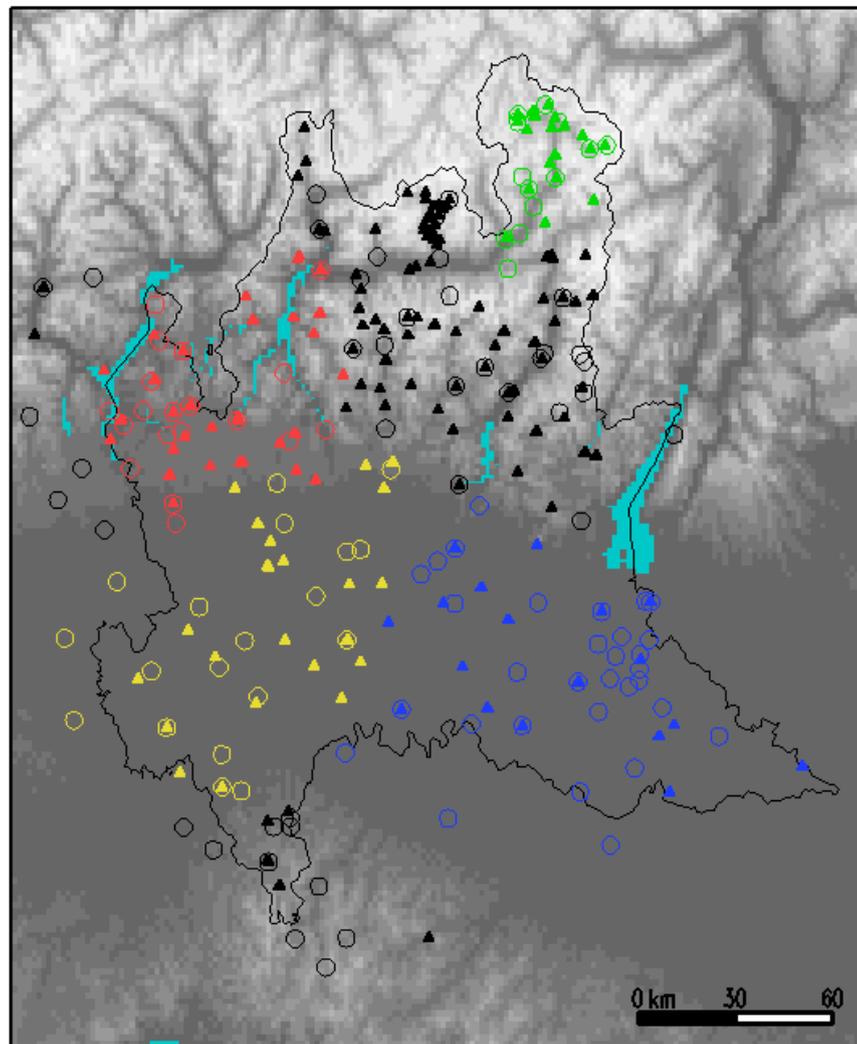
Climatic and topographic complexity of Lombardy

Spatial aggregation is effective to compensate inhomogeneities present in time series, localized systematic errors, network density changes (*guidelines WMO: Klein Tank et al, 2009*)

Homogeneous areas:

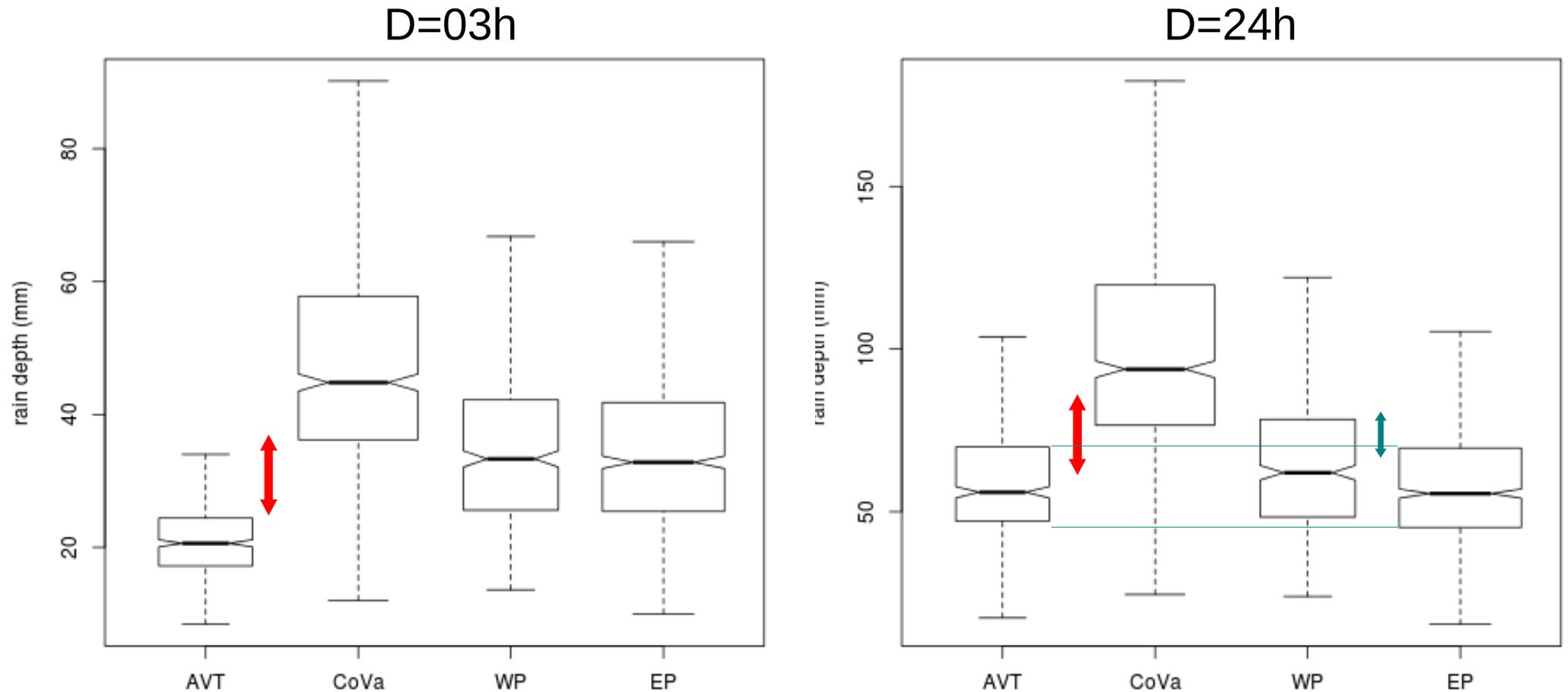
- 1) **Alta Valtellina : AVT**
- 2) **Como-Varese : CoVa**
- 3) **Western Plain: WP**
- 4) **Eastern Plain: EP**

only 4 areas ← data availability



Automatiche: triangolo; Meccaniche: cerchio

## Stationarity analysis: areas comparison



Annual maxima distributions in the 4 areas for durations  $D=3h$  e  $D=24h$ , respectively significant for convective and stratiform events.

**Area AVT (Alpine, extreme North-East) is apparently less rainy than CoVa (Alpine West).**

The two Plain areas, WP e EP, are very similar to each other for short events, but **for long events EP has lower quartiles than WP, and similar to AVT.**

Outliers do not appear in this figure to enhance quartile differences.

"notches" are used to evidentiante median differences

## Quality control

Basic checks: climatologic plausibility, consistency (monotony) between durations

**M** stations: manned, systematic maintenance; digitalization required

**A** station: **unmanned, did not undergo systematic maintenance for the whole activity period.** Data available directly in digital form.

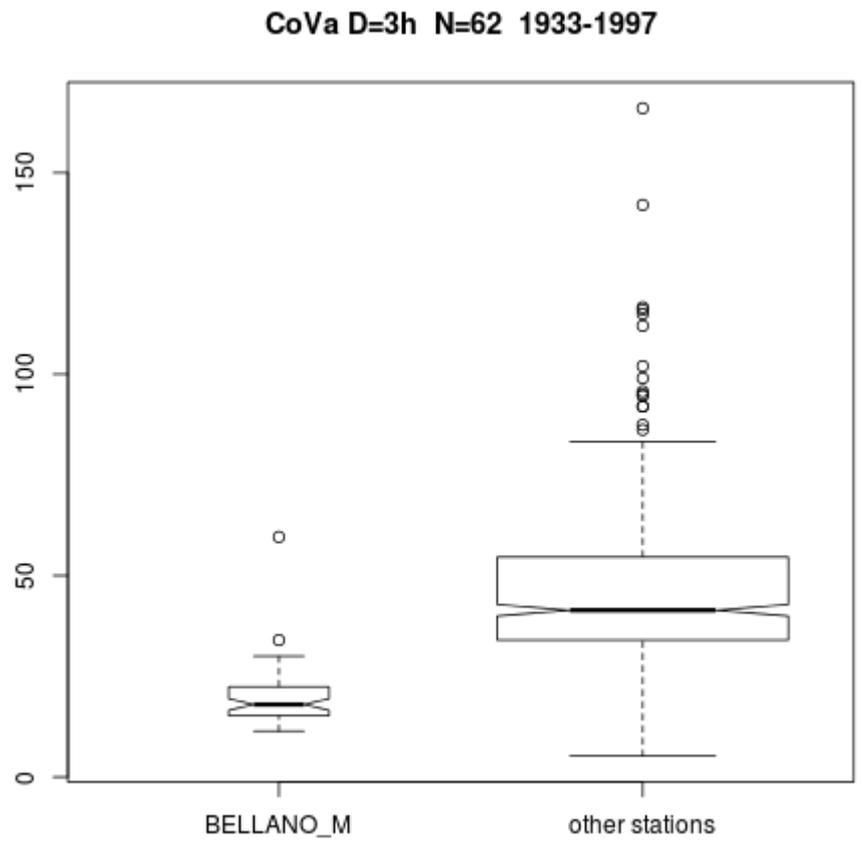
**Requirement for each annual maximum: at least 90% of data in the year**

**CROSS-VALIDATION** approach: **each time series** is seen as a sample distribution which is compared with the annual maxima distribution, in the same years, of **all other time series** in the same homogeneous area:

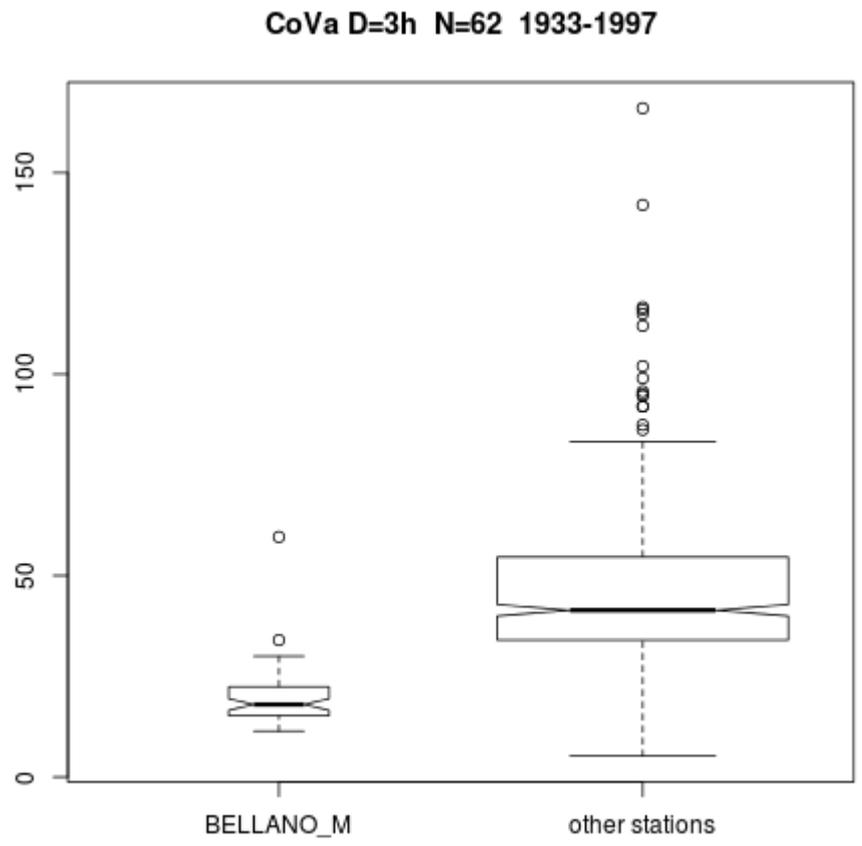
→ **DISCARD the whole series** if the InterQuartile Ranges do not intersect.

- CROSS-VALIDATION for **individual time series**
- CROSS-VALIDATION for **subnetworks**

# Quality control: CROSS-VALIDATION: BELLANO (M)



# Quality control: CROSS-VALIDATION: BELLANO (M)



## Quality control: CROSS-VALIDATION for subnetworks

**For each subnetwork**, the whole set of time series for the correspondent stations is seen as a single sample distribution which is compared with the annual maxima distribution, in the same years, of **all other time series** in the same homogeneous area:

**DISCARD the whole subnetwork** if the median difference is significant

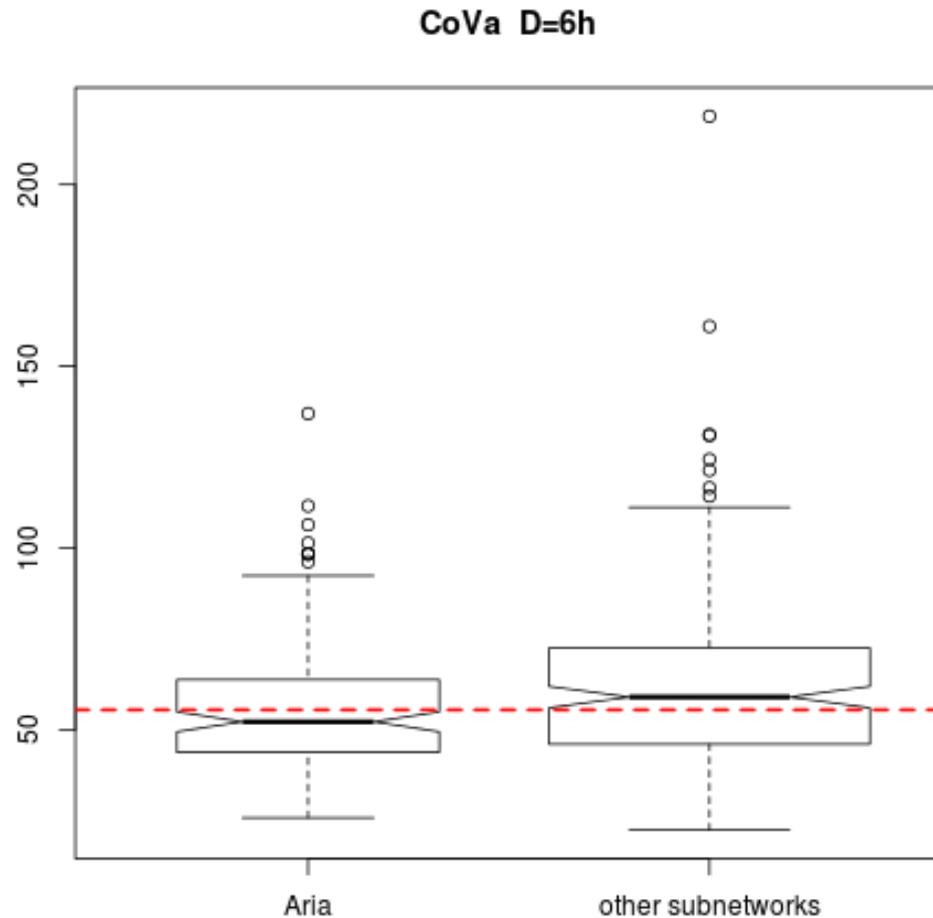
**Outcome:** The subnetwork “Aria” (Automatic Stations) data has been discarded systematic errors likely due to:

- difference in the instrumentation:
- difference in the location: mainly urban sites with the presence of obstacles

The *lack of metadata* -in particular, for automatic stations- does not give us confidence in identifying the reasons for the different behaviour. Then, our restrictive choice has been to discard the whole “Aria” subnetwork.

## Quality control: CROSS-VALIDATION for subnetworks

Automatic stations: "Aria" network discarded



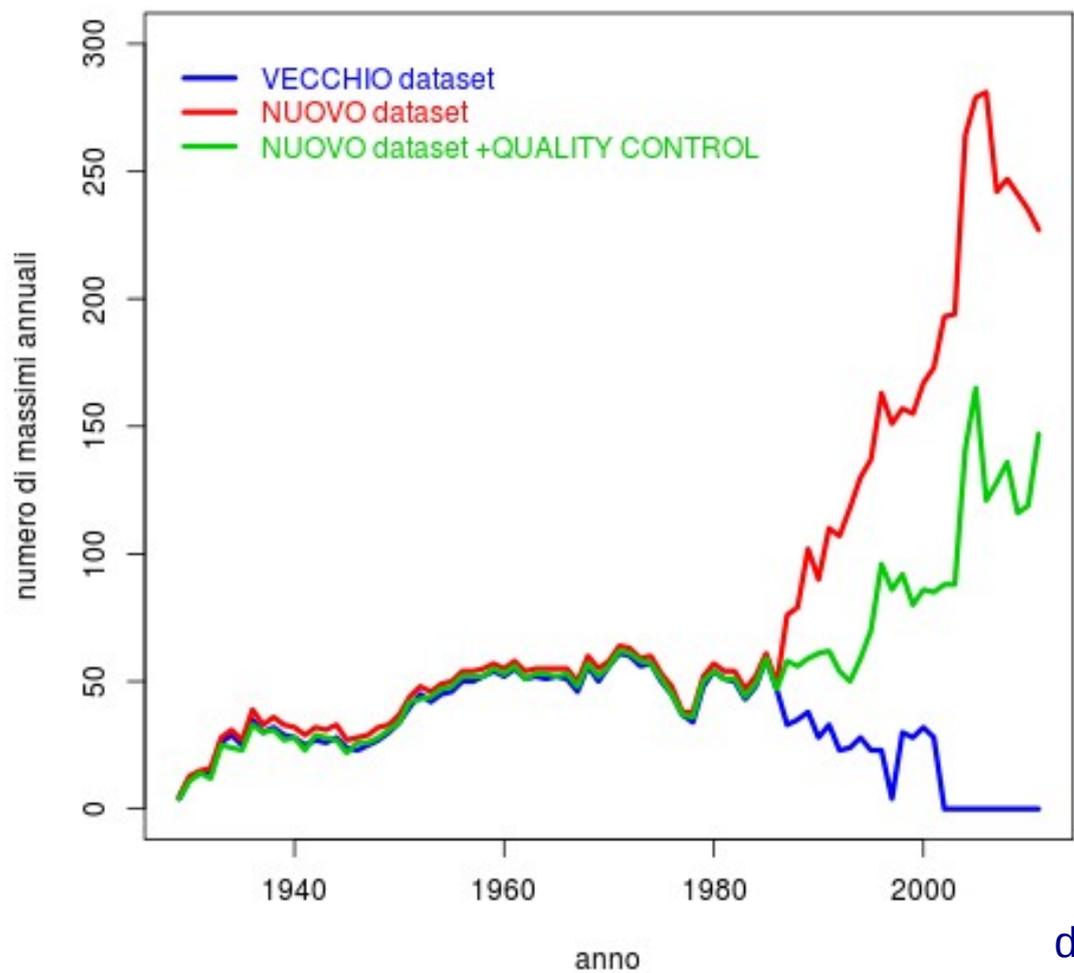
Significant difference between the medians is evaluated by means of the notches.

The notch value is based on the assumption of asymptotically normal distribution for the median and its definition takes into account the IQR value and the sample dimension  $N$ :  
$$\text{notch} = \pm 1.58 \text{ IQR} / \sqrt{N}$$
*(McGill et al., 1978)*

← Como-Varese area (the most rainy)

# Dataset extension

## Quality control



### NEW extended dataset:

- 1929-2011
- **Quality Control**
- 312 stations (125 **Mechanic**, 187 **Automatic**)
- Presence of "short series"
- Total: 4510 annual records

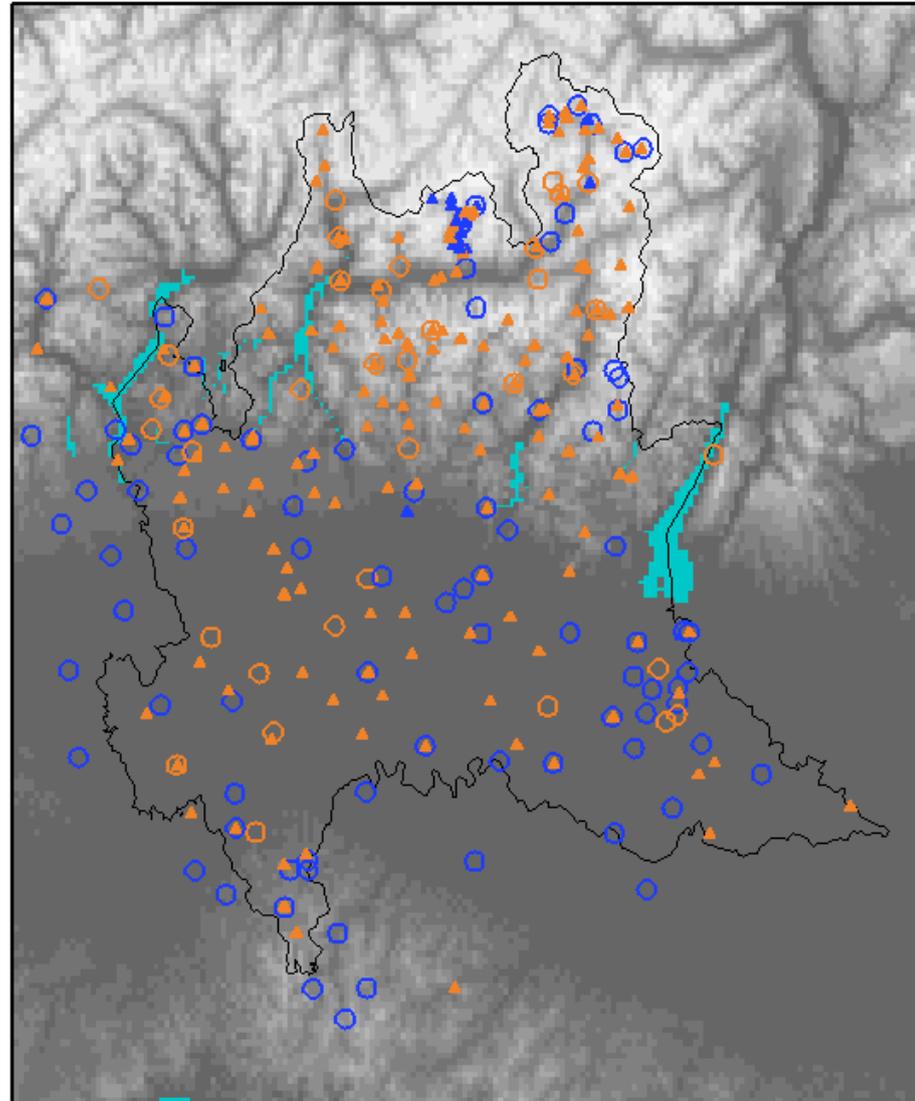
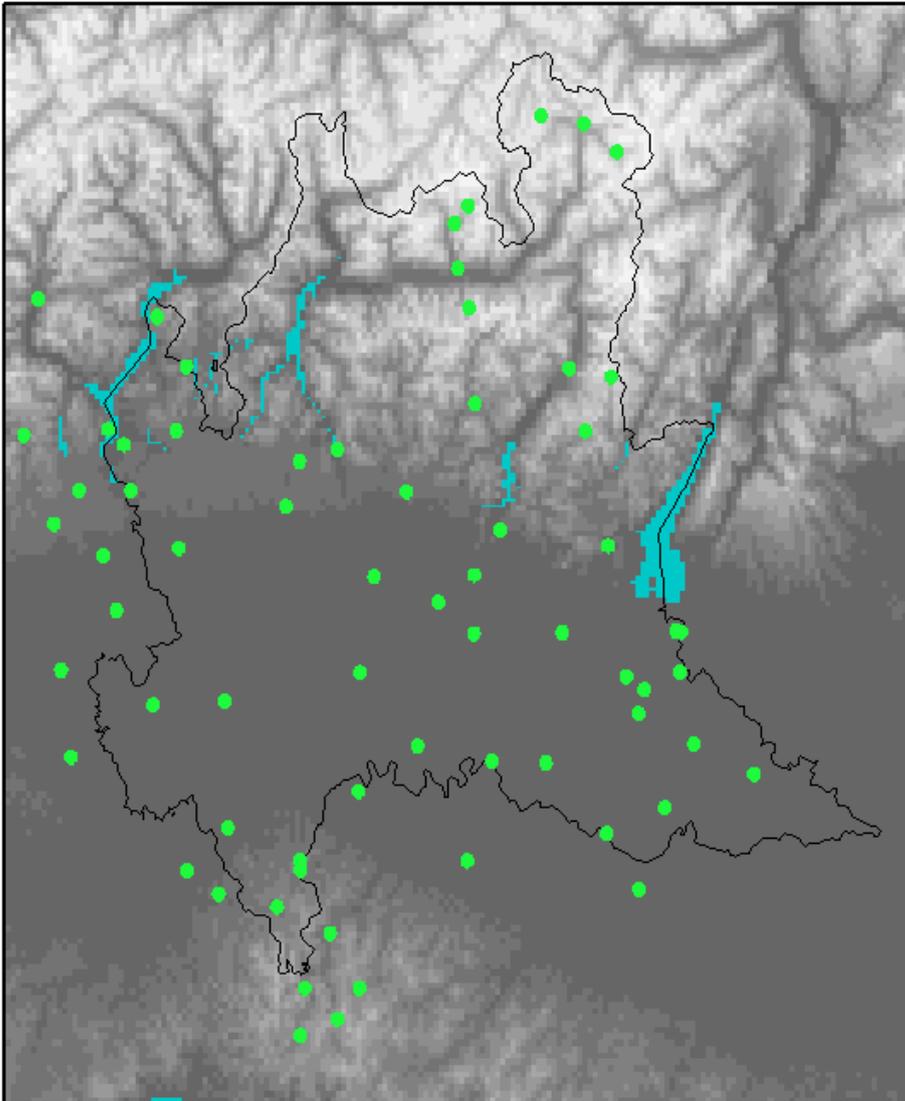
### Quality Control: annual maxima discarded mostly because:

- ★ Less than 90% of data in the year
- ★ Exclusion of the oldest automatic sub-network "Aria"

dataset	stations	Annual records
OLD	69	2753
EXTENDED	370	6853
EXTENDED + QUALITY CONTROL	312	4510

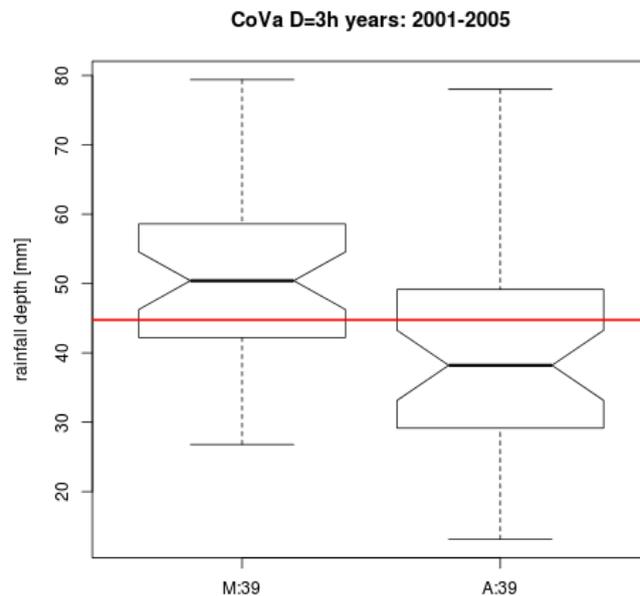
# Dataset extension

Circle: **Mechanic**; Triangle: **Automatic**  
**Blue**: at least 10 annual records;  
**Orange**: less than 10 records



## Stazioni **automatiche**:

- Introdotte dalla fine degli anni '80 e pesantemente dagli anni '90, mentre venivano progressivamente dismesse le stazioni **meccaniche**.
- Presentano una **sottostima sistematica** rispetto alle meccaniche → vanno trattate separatamente.
- Hanno avuto diversi tipi di pluviometro ( $400 \text{ cm}^2$  /  $1000 \text{ cm}^2$ ) — difficile tracciare quali per **mancanza di metadati**.
- Diverse reti per diversi scopi, con diversi criteri, presenza di stazioni urbane (presenza di ostacoli) e rurali... → differenze sistematiche tra diverse sottoreti.



I risultati mostrati nella **seconda parte** di questa presentazione sono stati ottenuti **utilizzando solo stazioni MECCANICHE**, disponibili fino al 2005.

# Analisi di stazionarietà

**AVT Alta Valtellina** — variazioni attribuibili all'incremento nel tempo del numero di stazioni: non è stato possibile trarre conclusioni sulla stazionarietà della statistica.

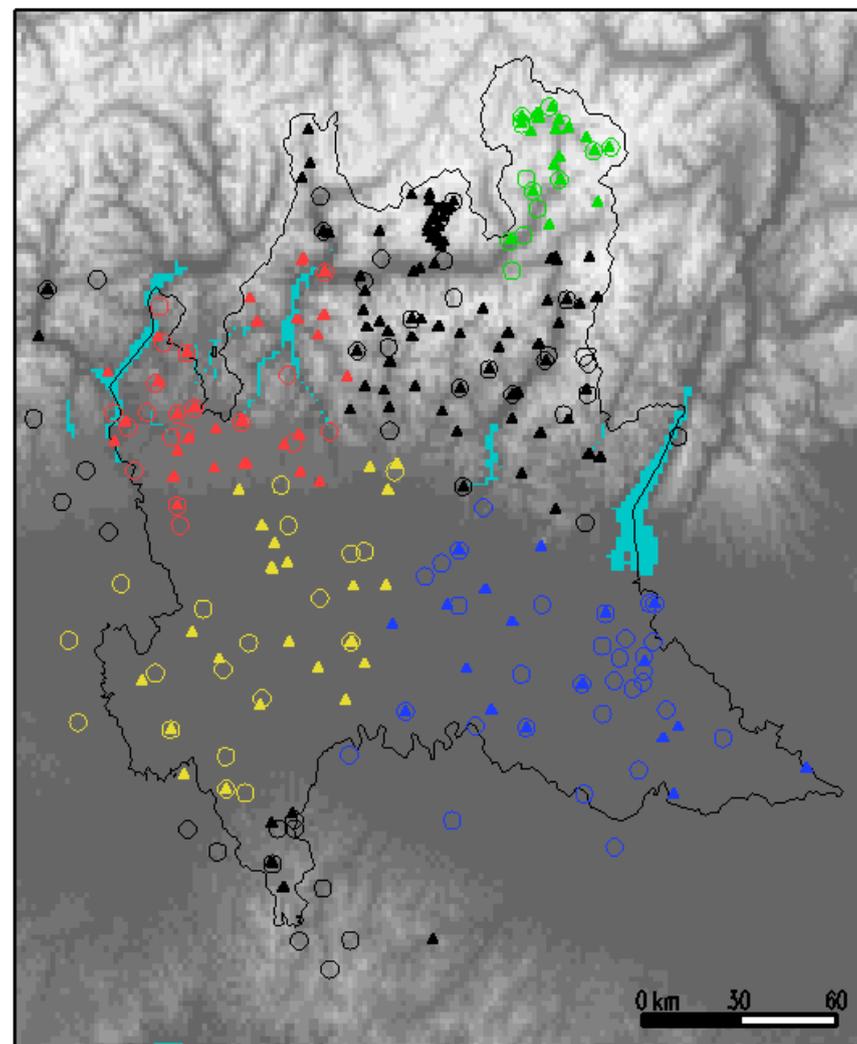
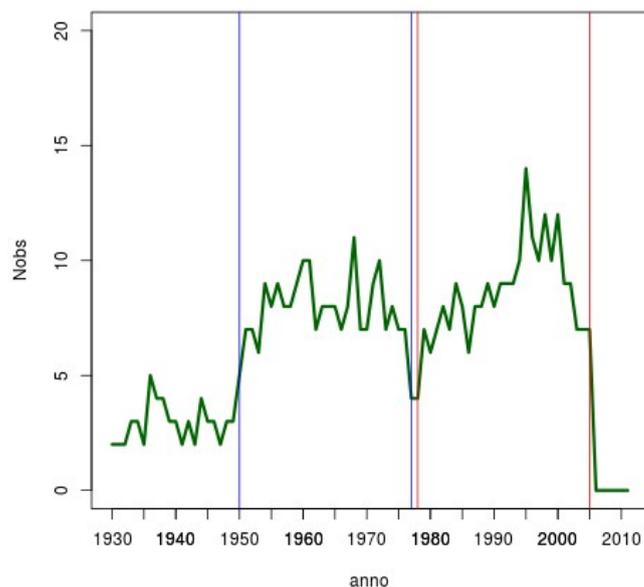
**Western Plain: WP**, **Eastern Plain: EP**

In entrambe le aree di pianura **non** si sono riscontrate variazioni nel tempo significative della statistica.

**CoVa Como-Varese**: numero di stazioni meccaniche stabile durante tutto il periodo (1950-1977, 1978-2005): **variazioni temporali significative**

Orobie BG, BS, Valtellina, Valchiavenna, Appennino: mancanza di dati

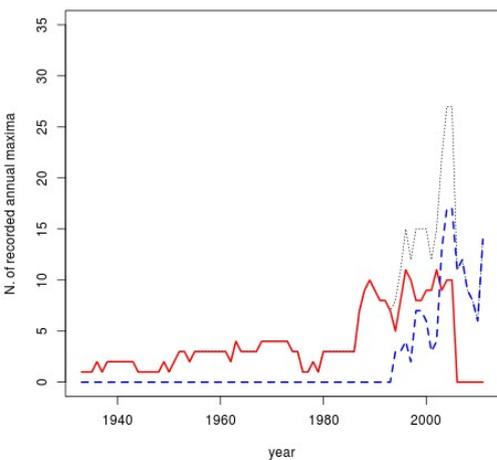
CoVa numero di osservazioni M



Automatiche: triangolo; Meccaniche: cerchio

# Stationarity analysis: area AVT Alta Valtellina

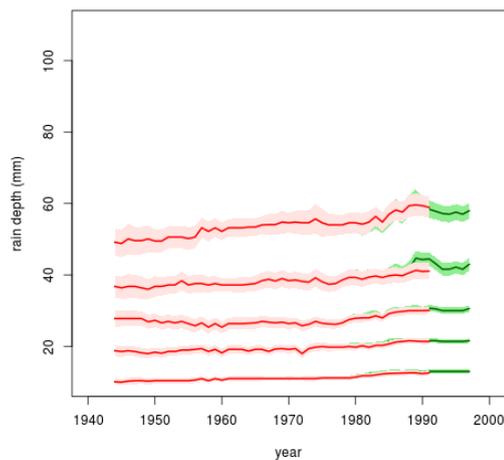
area AVT



Number of annual records:

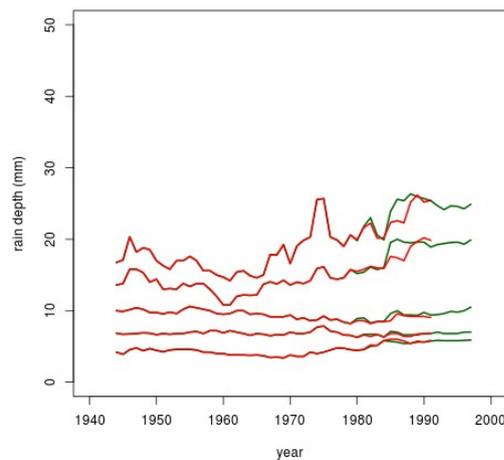
**M** **A** **M+A**

AVT 30 years medians D= 1, 3, 6, 12, 24h



sample median

AVT 30 years IQRs D= 1, 3, 6, 12, 24h

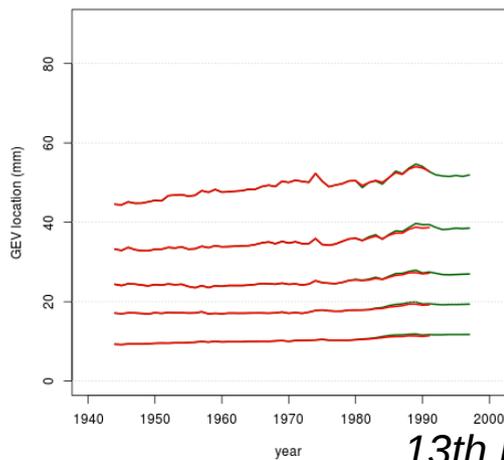


sample IQR

30-year running window: **M** **M+A**

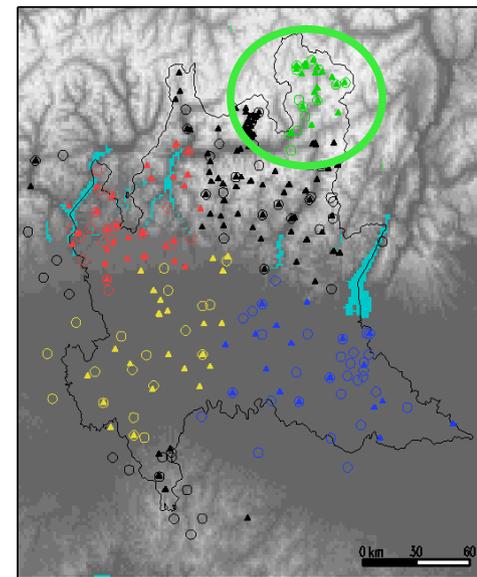
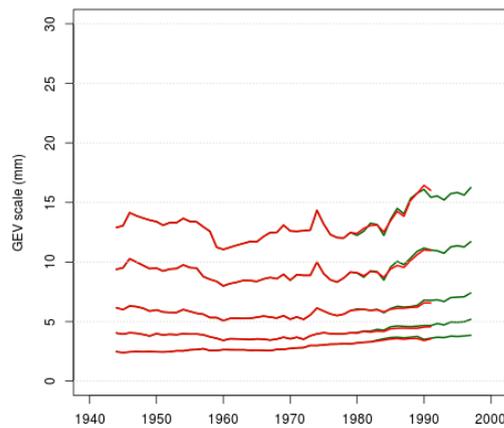
GEV location  $\mu$

AVT 30-year window D= 1, 3, 6, 12, 24h



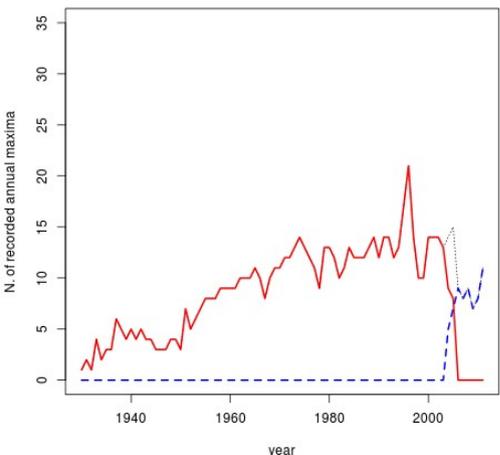
GEV scale  $\alpha$

AVT 30-year window D= 1, 3, 6, 12, 24h



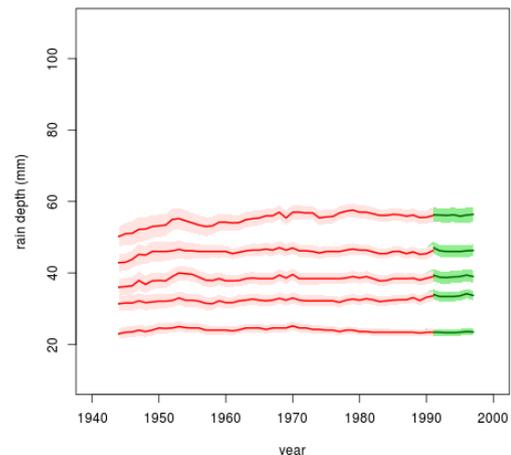
# Stationarity analysis: area EP East Plain

area EP



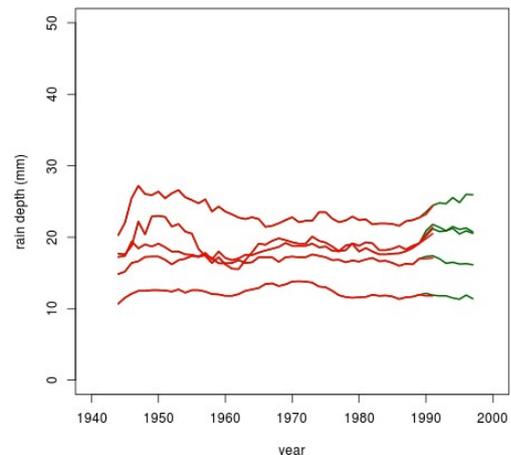
Number of annual records:  
**M** **A** **M+A**

EP 30 years medians D= 1, 3, 6, 12, 24h



sample median

EP 30 years IQRs D= 1, 3, 6, 12, 24h

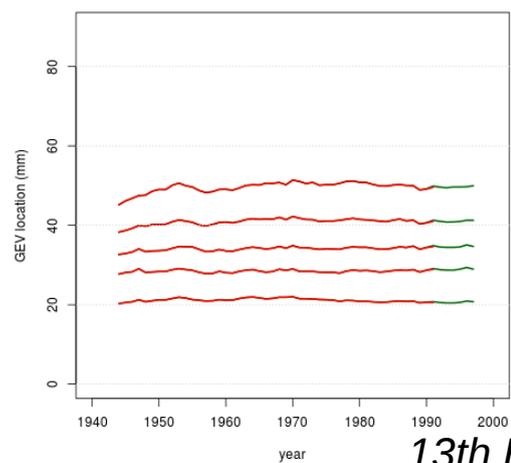


sample IQR

30-year running window: **M** **M+A**

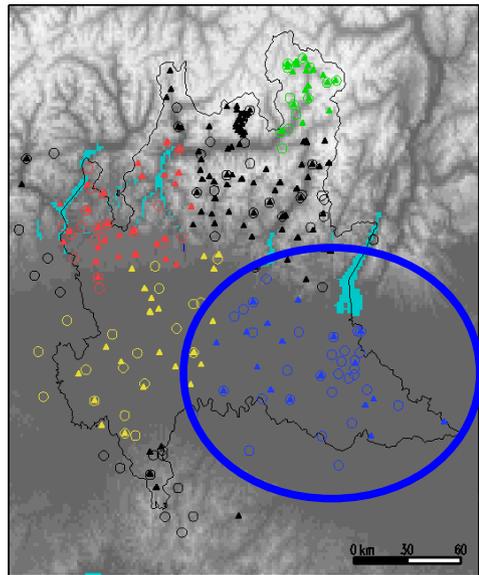
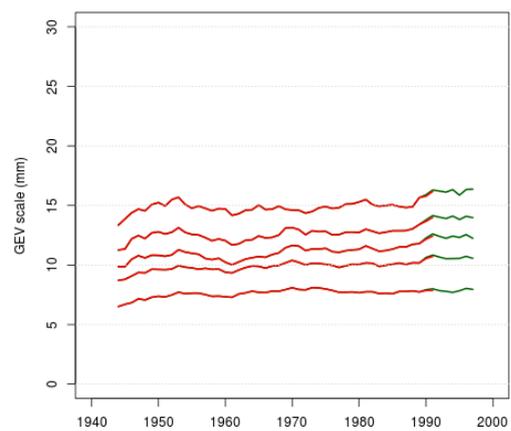
GEV location  $\mu$

EP 30-year window D= 1, 3, 6, 12, 24h



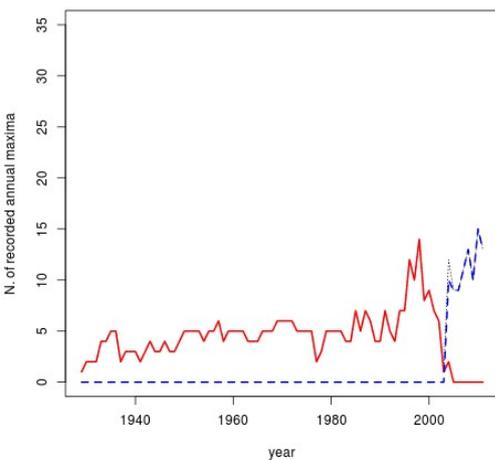
GEV scale  $\alpha$

EP 30-year window D= 1, 3, 6, 12, 24h



# Stationarity analysis: area WP West Plain

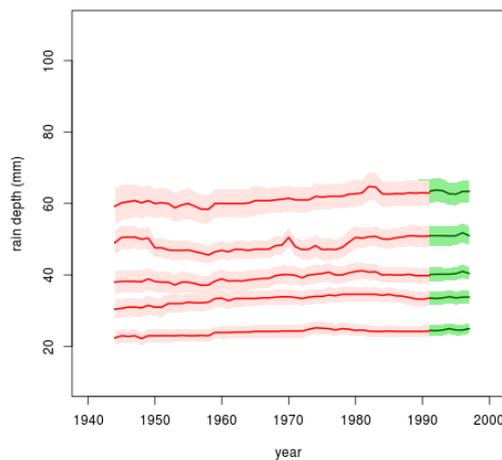
area WP



Number of annual records:

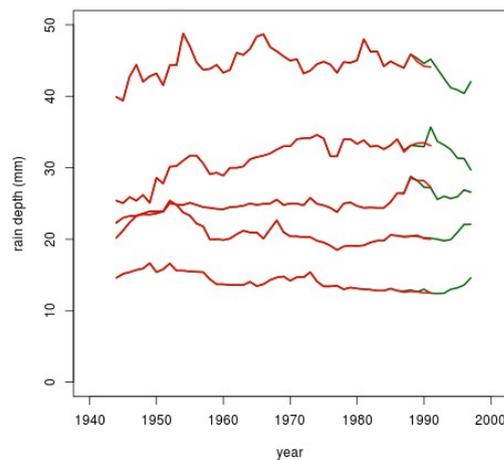
**M** **A** **M+A**

WP 30 years medians D= 1, 3, 6, 12, 24h



sample median

CoVa 30 years IQRs D= 1, 3, 6, 12, 24h

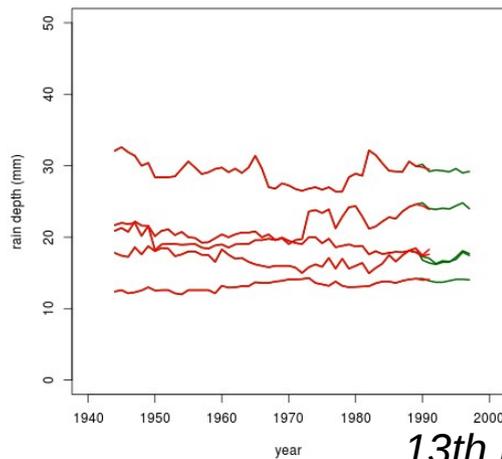


sample IQR

30-year running window: **M** **M+A**

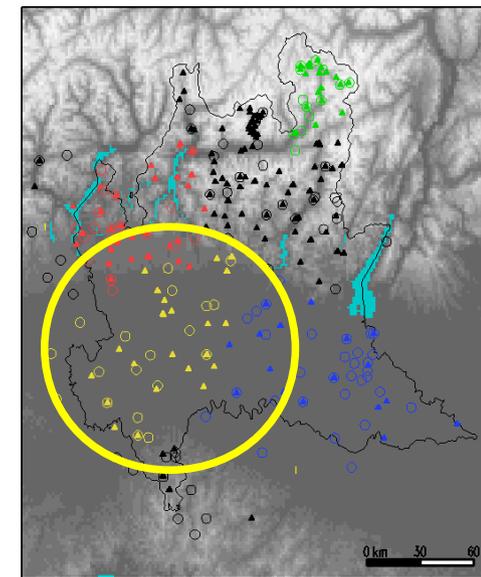
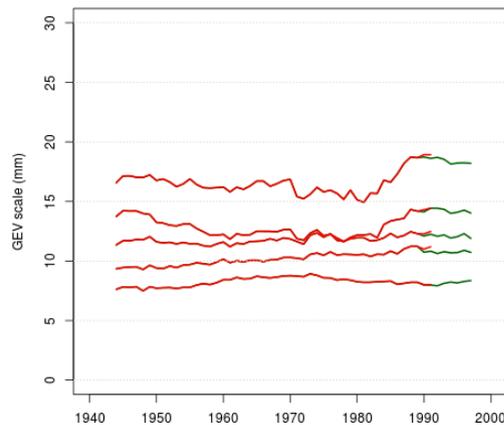
GEV location  $\mu$

WP 30 years IQRs D= 1, 3, 6, 12, 24h

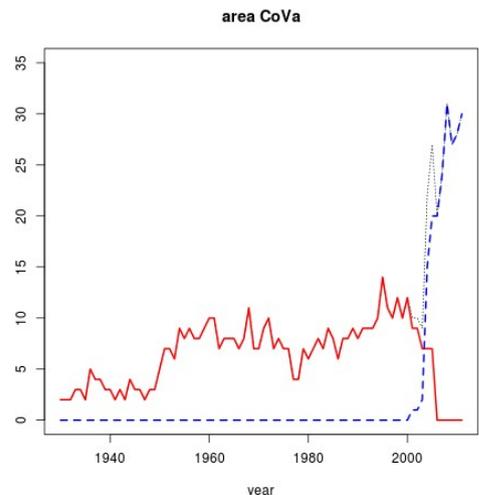


GEV scale  $\alpha$

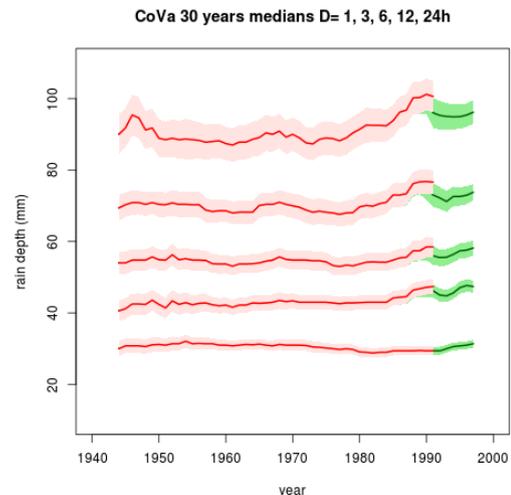
WP 30-year window D= 1, 3, 6, 12, 24h



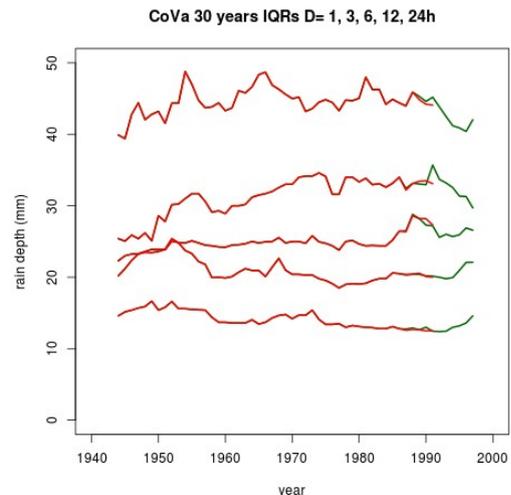
# Stationarity analysis: area CoVa Como-Varese



Number of annual records:  
**M** **A** **M+A**

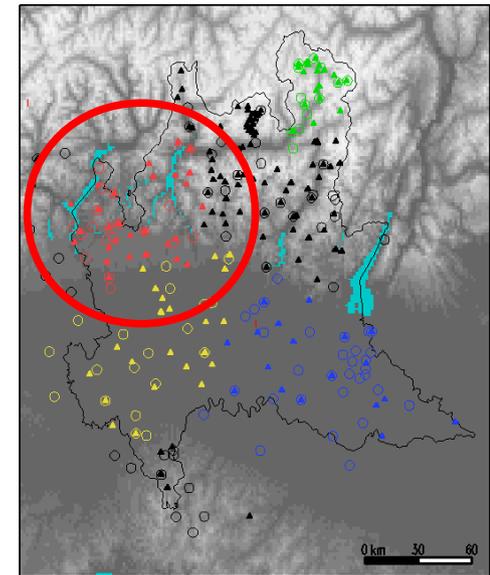
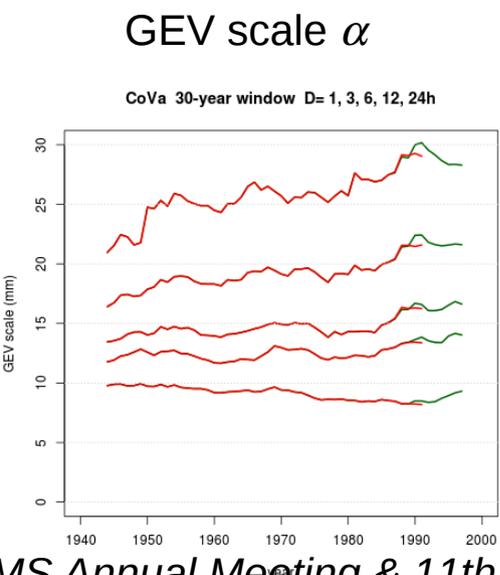
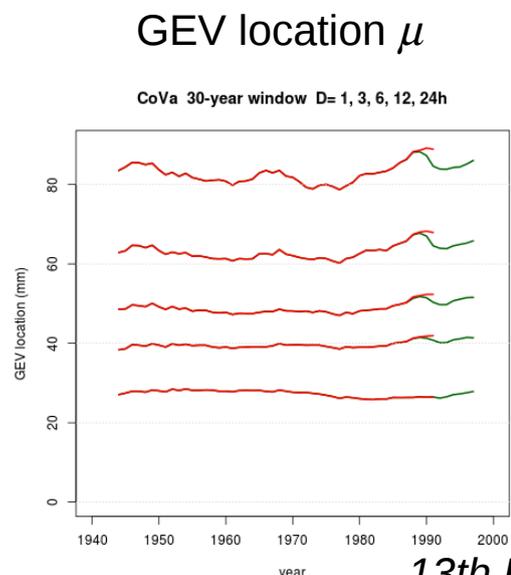


sample median

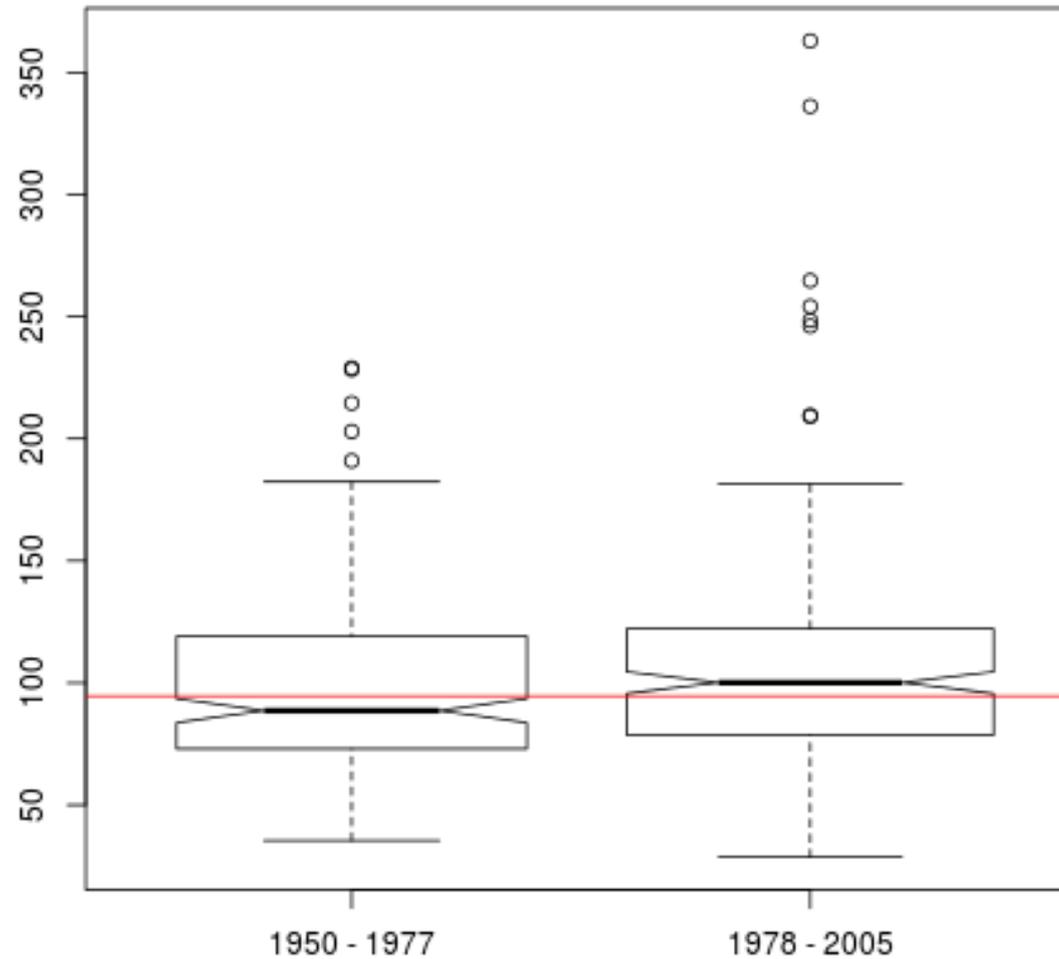


sample IQR

30-year running window: **M** **M+A**

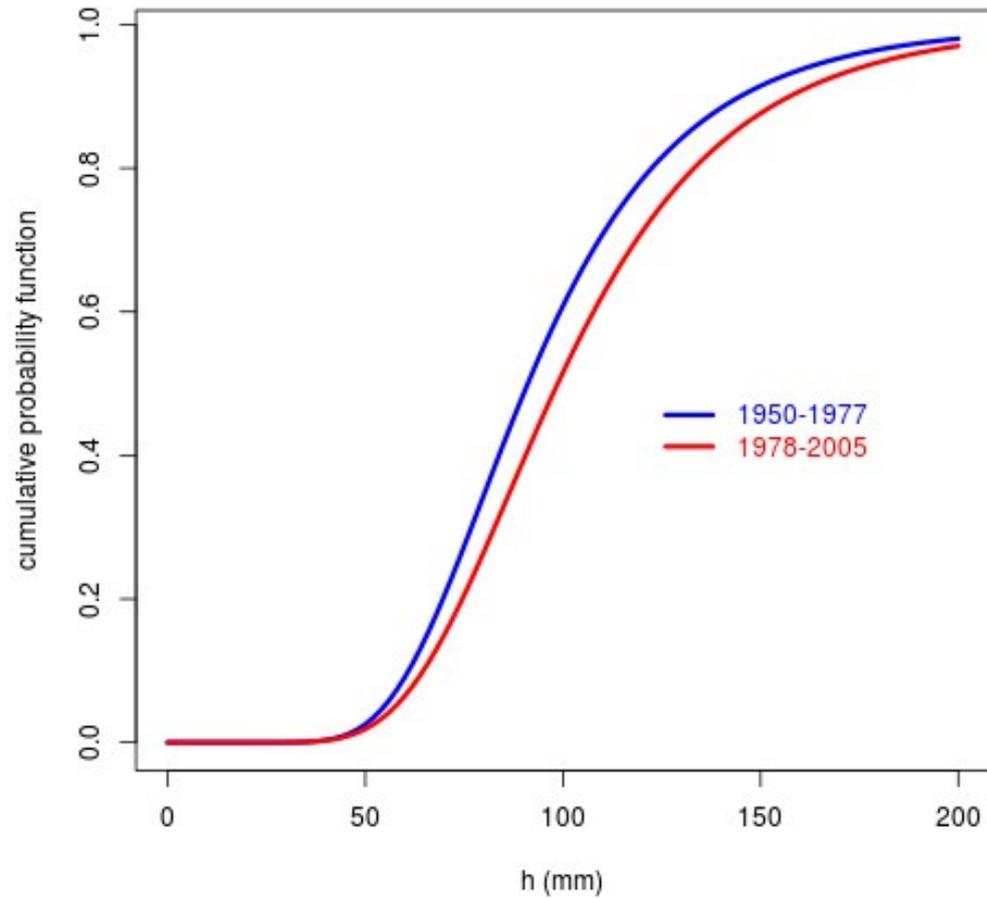


## M 24h

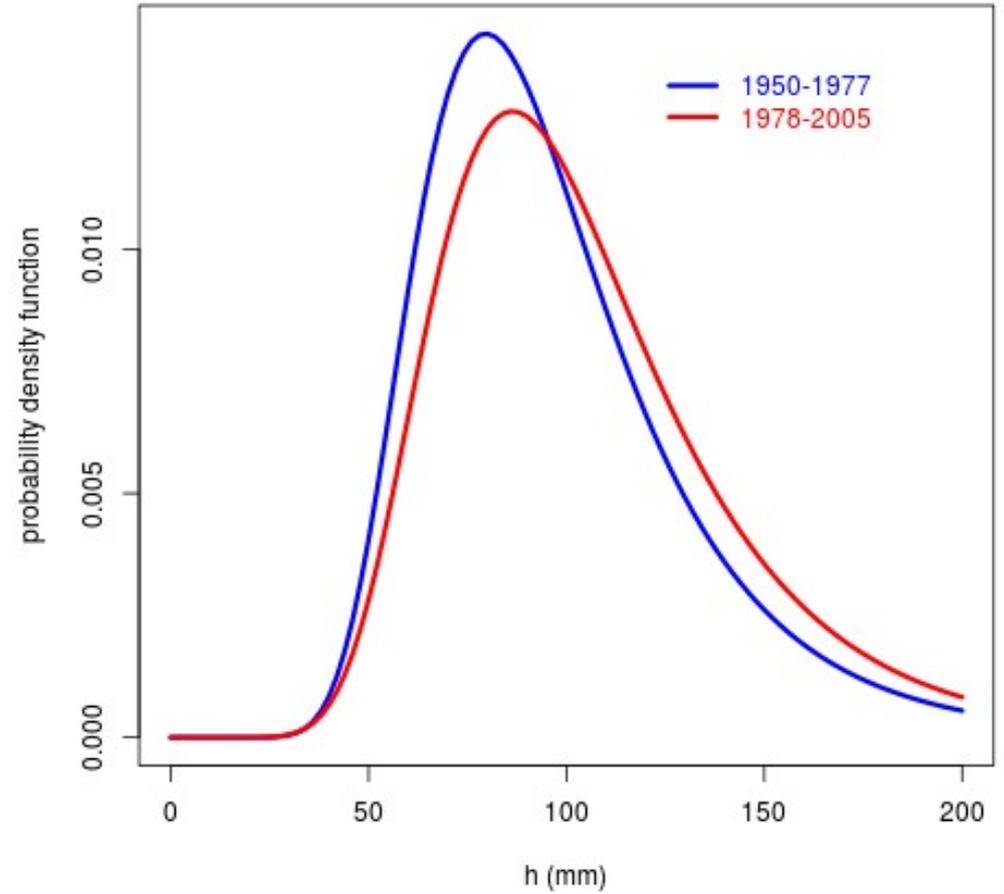


La linea rossa evidenzia la separazione tra gli intervalli di incertezza delle due mediane  
NOTA: i punti evidenziati come *outlier* in questa grafica non sono da trascurare: stiamo trattando distribuzioni di valori estremi.

CoVa M 24h GEV cumulative



CoVa M 24h GEV density



$D = 24 h$

$N$

location  $\mu$

scale  $\sigma$

shape  $\xi$

1950 - 1977

**219**

**81.5923**

**25.5941**

**0.0820**

1978 - 2005

**240**

**88.0383**

**28.7257**

**0.0610**

**Kolmogorov - Smirnov** — confronto cumulata analitica (GEV) con cumulata empirica  
distribuzione analitica con parametri stimati da un dataset, applicata ai dati dell'altro dataset  
 $H_0$ : la GEV stimata su un periodo è appropriata per i dati dell'altro periodo

$$KS_{A1D2} = \max( | F_{analitica}^1(\text{dataset 2}) - F_{empirica}^2 | )$$

$$KS_{A2D1} = \max( | F_{analitica}^2(\text{dataset 1}) - F_{empirica}^1 | )$$

A1D2: Analitica 1 (1950-1977), Dati 2 (1978-2005); A2D1: Analitica 2, Dati 1

**Smirnov** — confronto tra le cumulate empiriche dei due dataset (differenza tra funzioni a gradini):  
 $H_0$ : i due campioni appartengono alla stessa distribuzione

$$S = \max( | F_{empirica}^1 - F_{empirica}^2 | ) \quad C_\alpha = \sqrt{-\frac{1}{2} \left( \frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right) \ln\left(\frac{\alpha}{2}\right)} \quad p = 2 \exp\left(-2 \frac{N_1 N_2}{N_2 + N_1} S^2\right)$$

**Likelihood Ratio** — rapporto tra *log-likelihood* analitiche

$H_0$ : i due campioni sono estratti dalla stessa distribuzione GEV stimata con i dati di entrambi i periodi

$H_A$ : ogni campione deve essere stimato con la propria GEV

$$\Lambda = \prod_i f(x_i) \quad L = \ln(\Lambda) = \sum_i \ln[f(x_i)] \quad \Lambda^* = 2 \ln\left(\frac{\Lambda(H_A)}{\Lambda(H_0)}\right) = 2 \ln\left(\frac{\Lambda_1(1) \cdot \Lambda_2(2)}{\Lambda_{1+2}(1+2)}\right)$$

Il test ha distribuzione chi-quadro con gradi di libertà pari alla differenza tra il numero di parametri stimati per la distribuzione  $H_A$  e per la distribuzione  $H_0$ . In questo caso:  $n = 6 - 3 = 3$ .

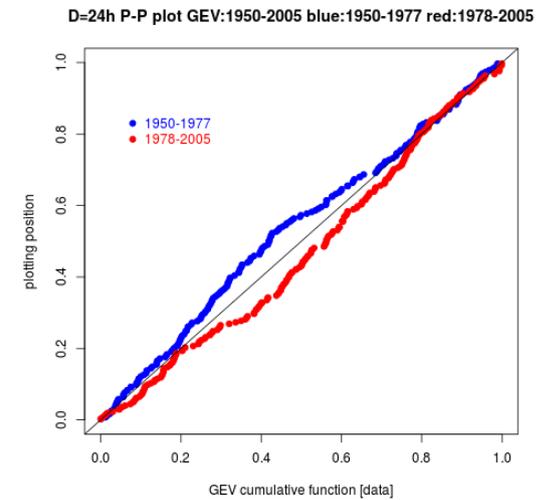
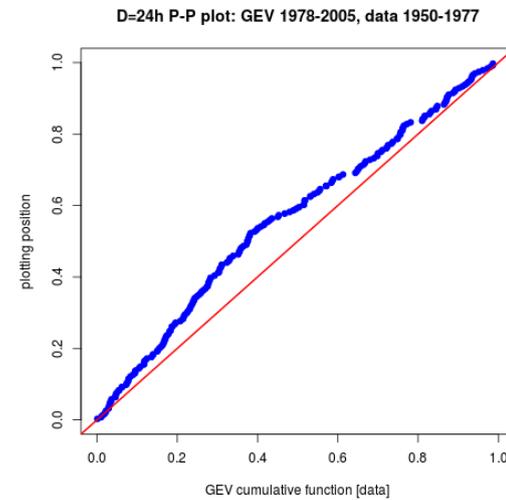
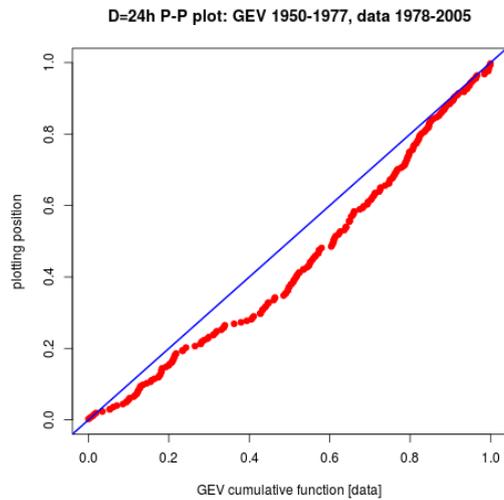
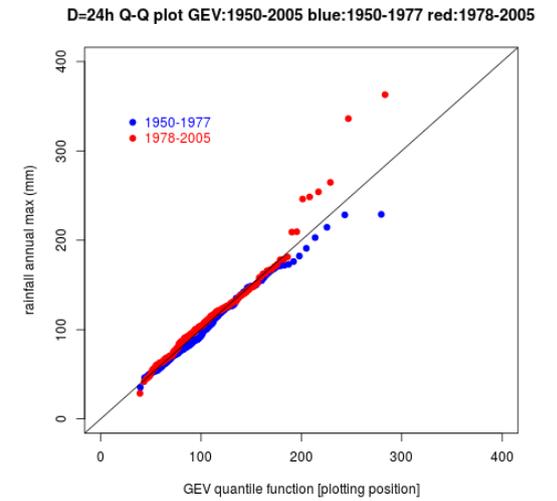
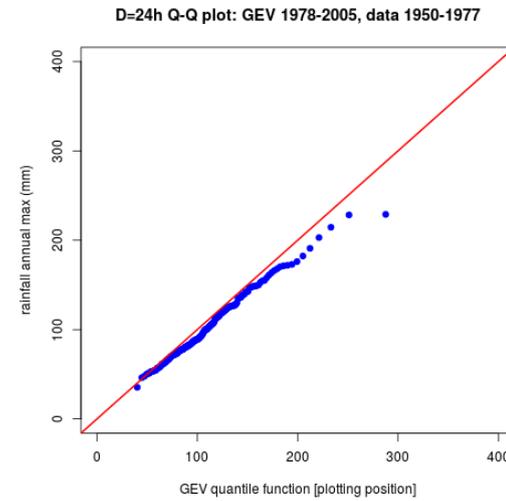
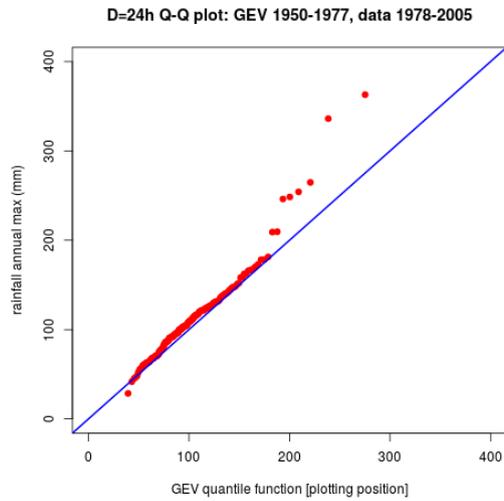
$$P_{\chi^2}(x \leq CV_\alpha) = F_{\chi^2}(CV_\alpha) = 1 - \alpha \quad CV_\alpha = F_{\chi^2}^{-1}(1 - \alpha) = Q_{\chi^2}(1 - \alpha)$$

$$p\text{-value: } p \equiv 1 - F_{\chi^2}(test)$$

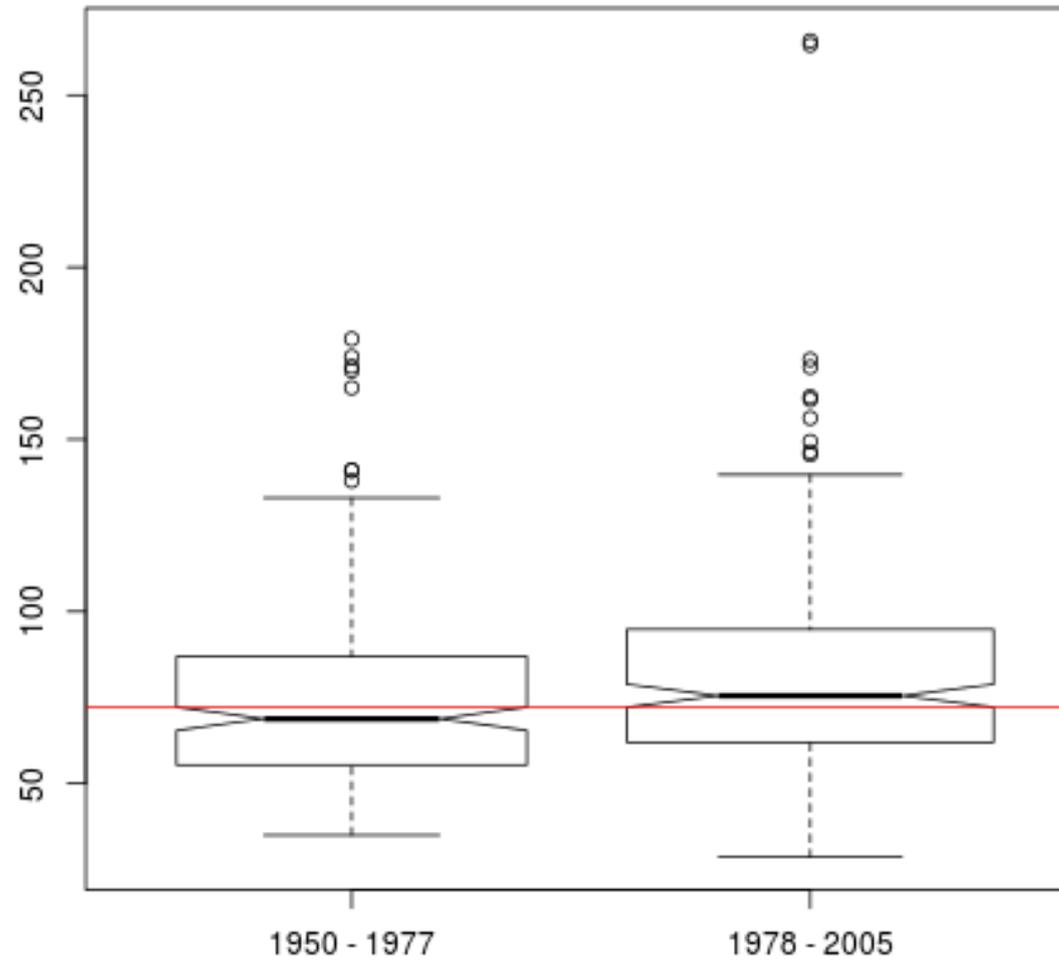
il risultato del test è il quantile  $1 - p$ :  $Q_{\chi^2}(1 - p) = test$

test	D	result	CV 10%	result	CV 5%	result	CV 1%	result
KS-A1D2	24h		0.0784		0.0869		0.1042	<b>0.1352</b>
KS-A2D1	24h		0.0820		0.0910		0.1091	<b>0.1424</b>
S	24h		0.1144		0.1269		0.1521	<b>0.1821</b>
$\Lambda^*$	24h	<b>5.8199</b> <b>p=12.07%</b>	6.2514		7.8147		11.3449	

D=24h

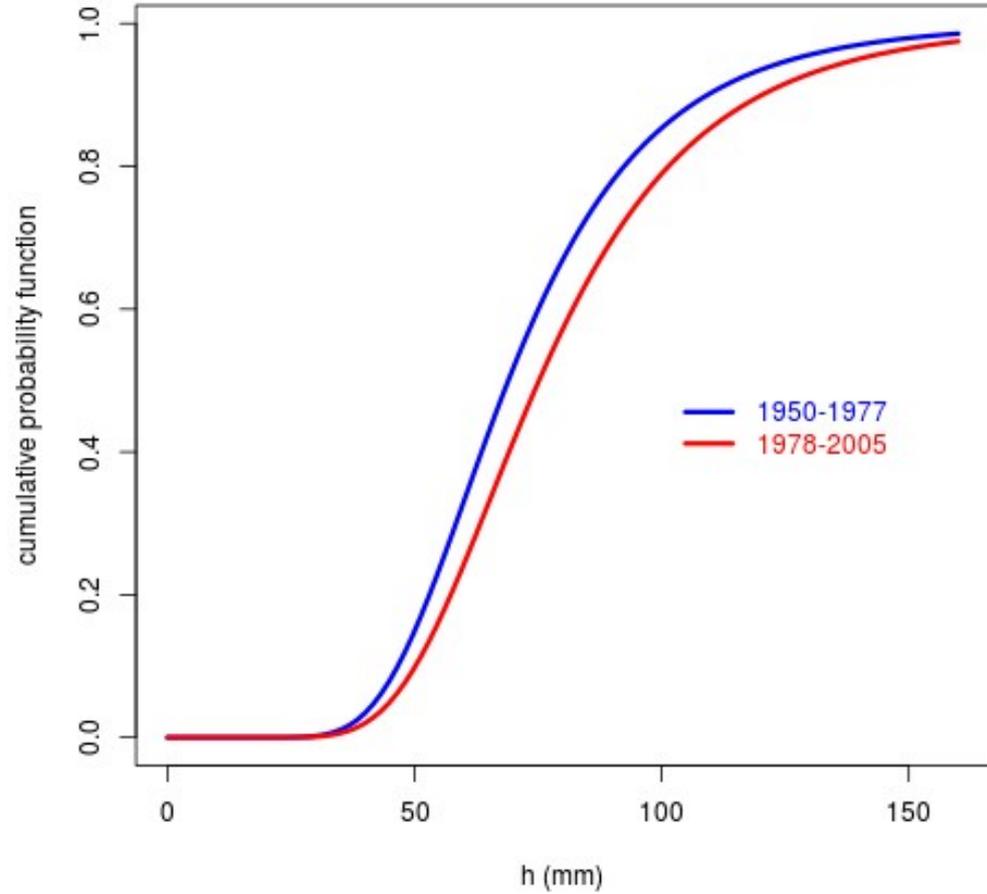


### M 12h

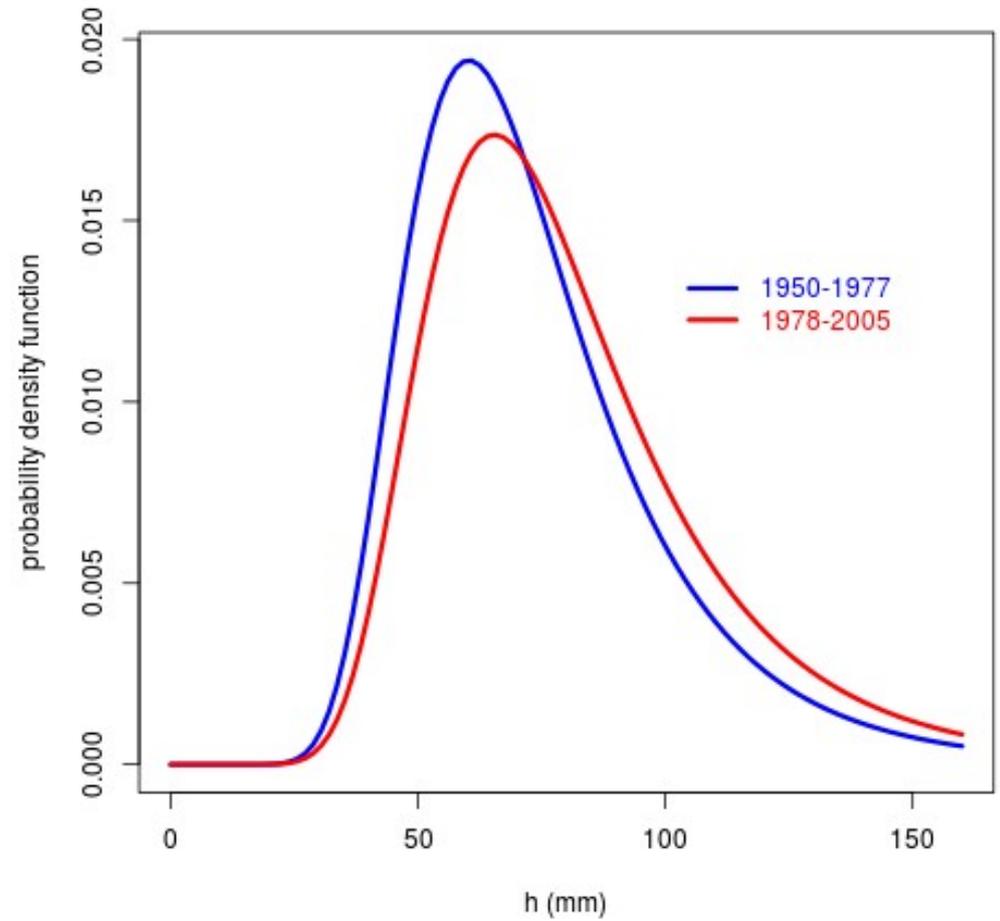


La linea rossa evidenzia la separazione tra gli intervalli di incertezza delle due mediane

CoVa M 12h GEV cumulative



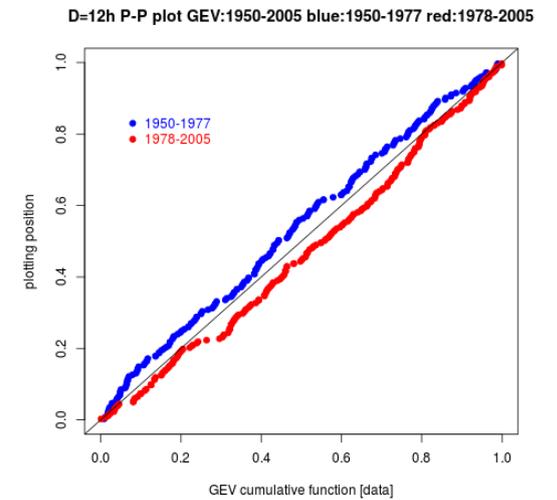
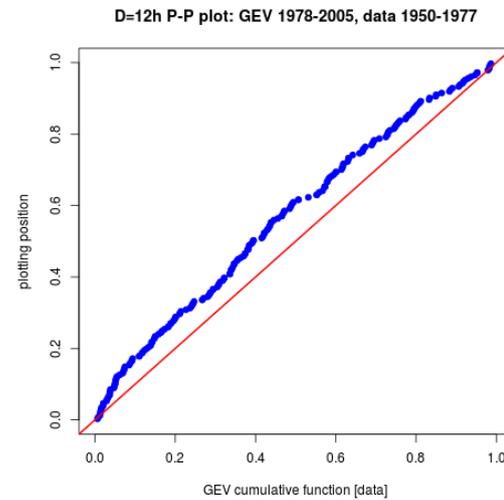
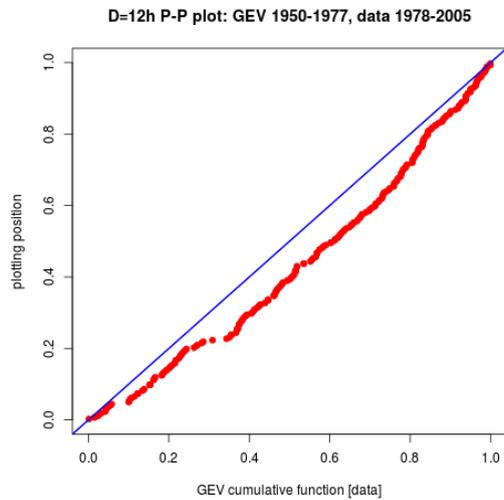
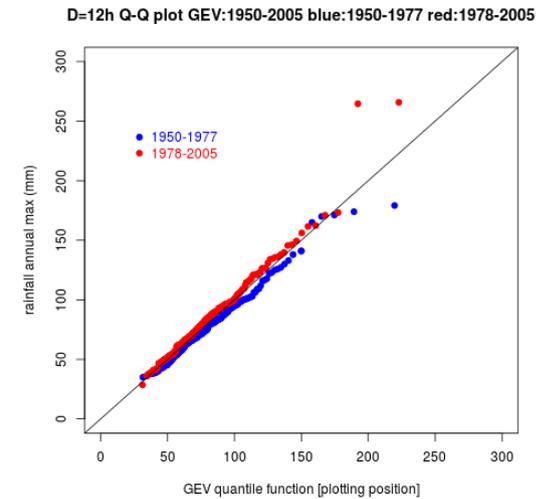
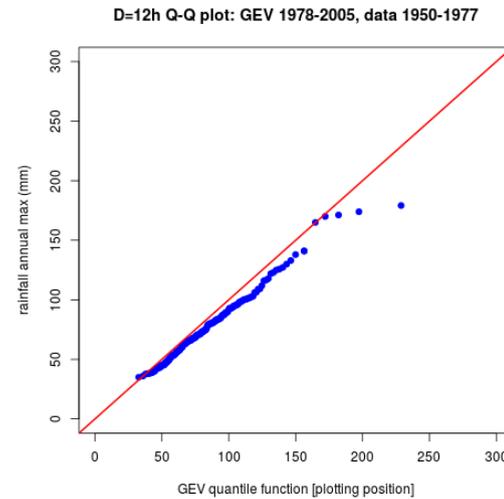
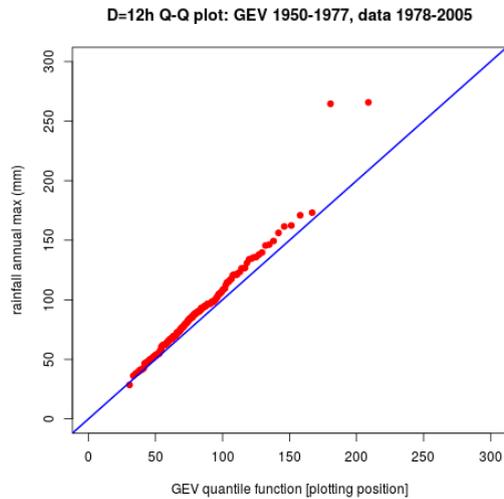
CoVa M 12h GEV density



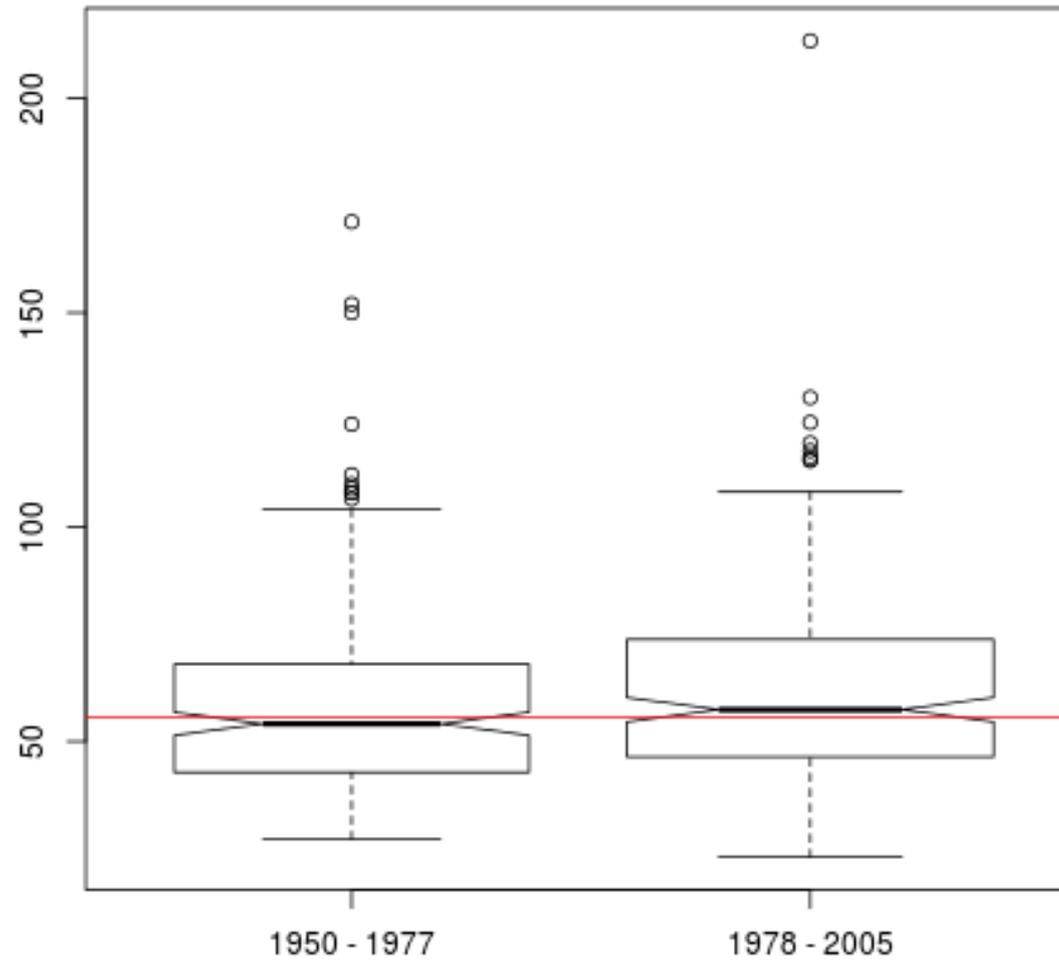
$D = 12 h$	1950 - 1977	1978 - 2005
$N$	<b>219</b>	<b>240</b>
location $\mu$	<b>61.8613</b>	<b>67.2327</b>
scale $\sigma$	<b>19.0176</b>	<b>21.2661</b>
shape $\xi$	<b>0.0887</b>	<b>0.0896</b>

test	D	result	CV 10%	result	CV 5%	result	CV 1%	result
KS-A1D2	12h		0.0784		0.0869		0.1042	<b>0.1209</b>
KS-A2D1	12h		0.0820		0.0910		0.1091	<b>0.1175</b>
S	12h		0.1144	<b>0.1217</b>	0.1269		0.1521	
$\Lambda^*$	12h		6.2514		7.8147	<b>7.9183</b> <b>p=4.77%</b>	11.3449	

D=12h

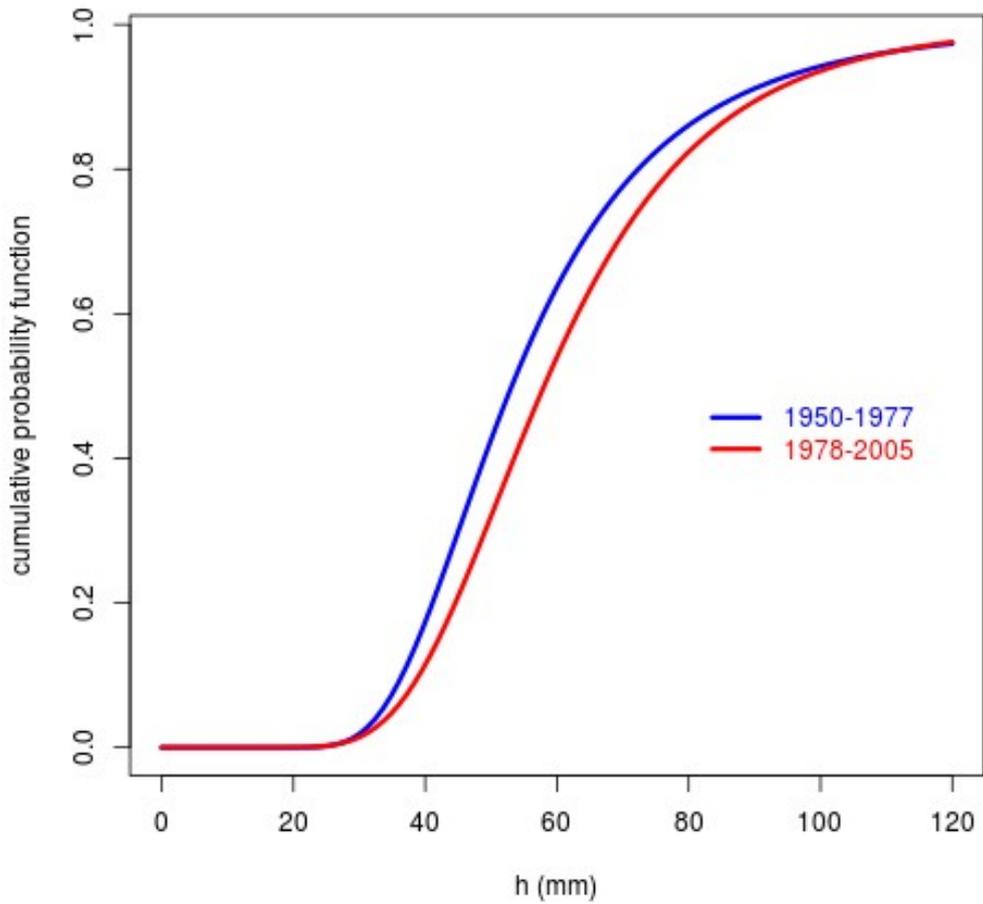


### M 06h

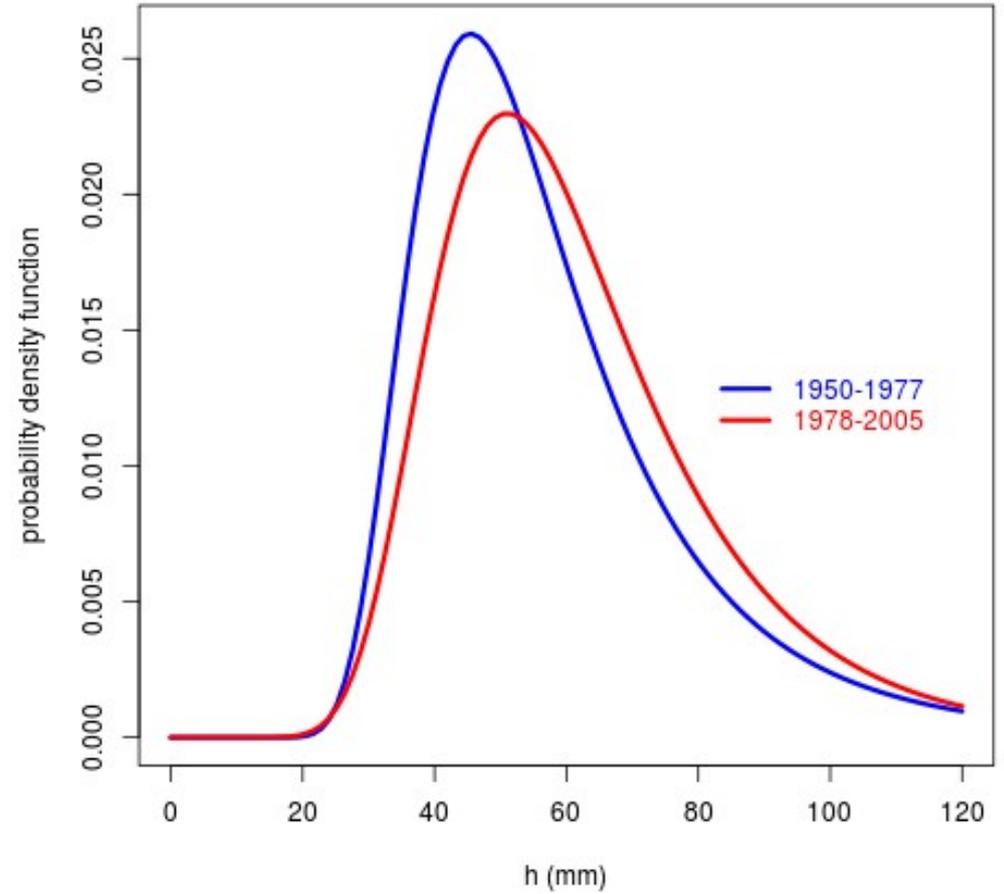


Gli intervalli di incertezza delle due mediane non sono separati per questa durata di evento

CoVa M 06h GEV cumulative



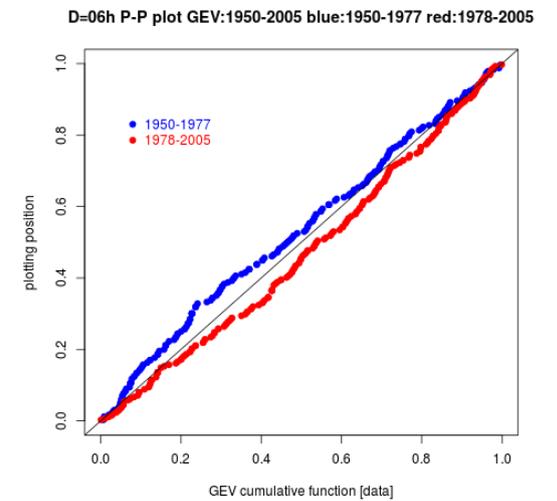
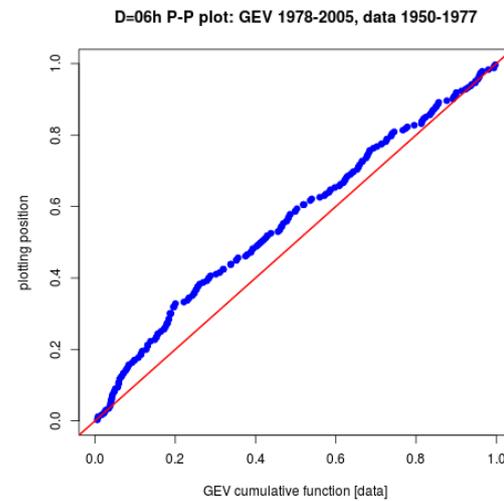
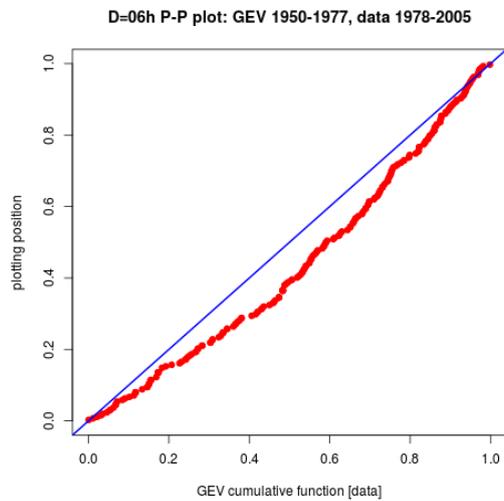
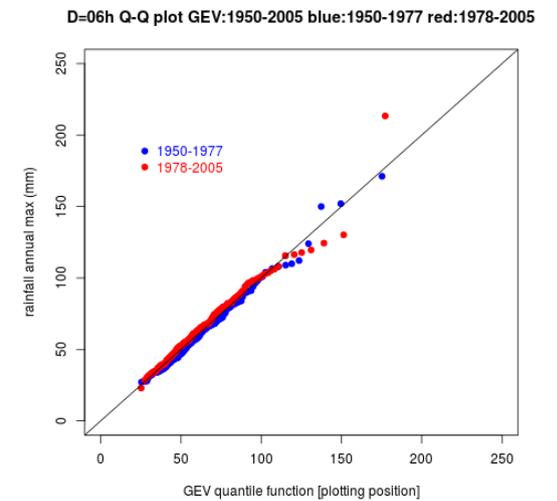
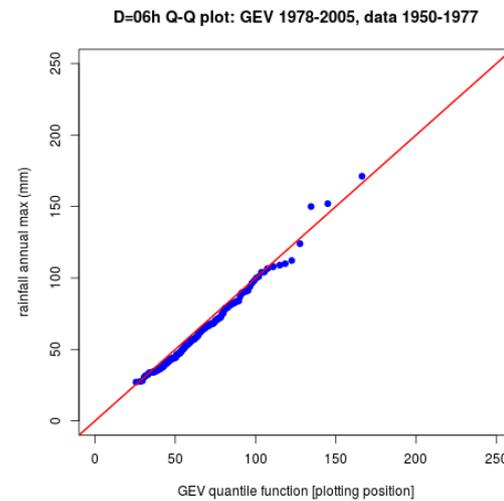
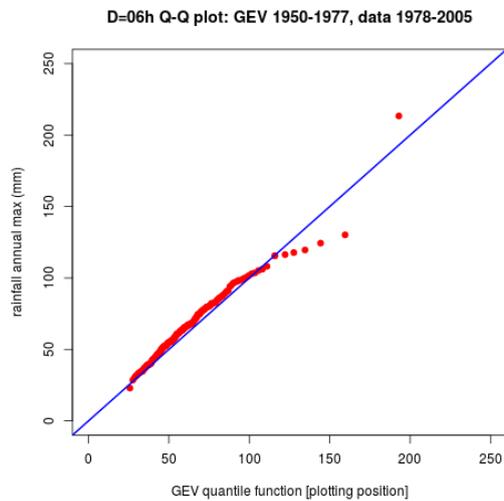
CoVa M 06h GEV density



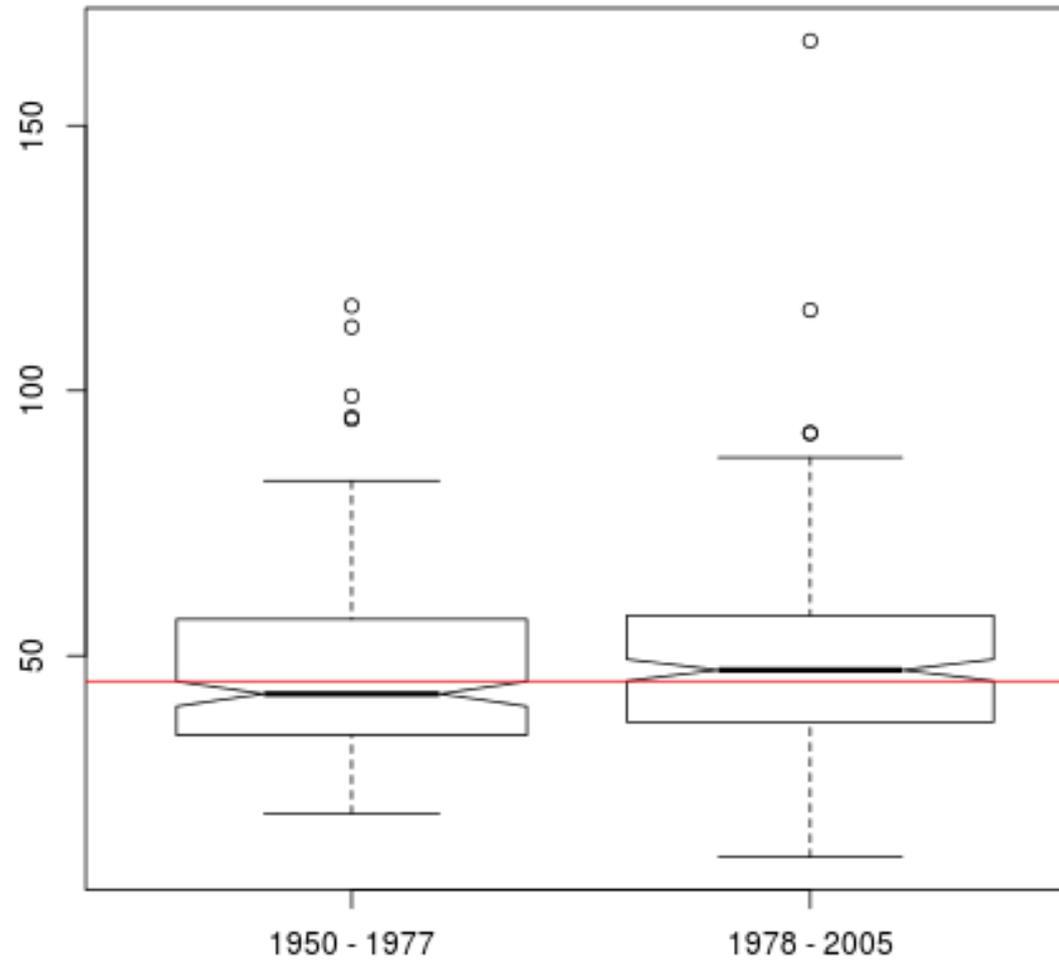
$D = 06 h$	1950 - 1977	1978 - 2005
$N$	<b>218</b>	<b>233</b>
location $\mu$	<b>47.6959</b>	<b>52.0933</b>
scale $\sigma$	<b>14.3935</b>	<b>16.0431</b>
shape $\xi$	<b>0.1716</b>	<b>0.0691</b>

test	D	result	CV 10%	result	CV 5%	result	CV 1%	result
KS-A1D2	06h		0.0795		0.0882		0.1058	<b>0.1270</b>
KS-A2D1	06h		0.0822		0.0912		0.1093	<b>0.1299</b>
S	06h		0.1153	<b>0.1194</b>	0.1280		0.1534	
$\Lambda^*$	06h		6.2514	<b>7.0975</b> <b>p=6.89 %</b>	7.8147		11.3449	

D=06h

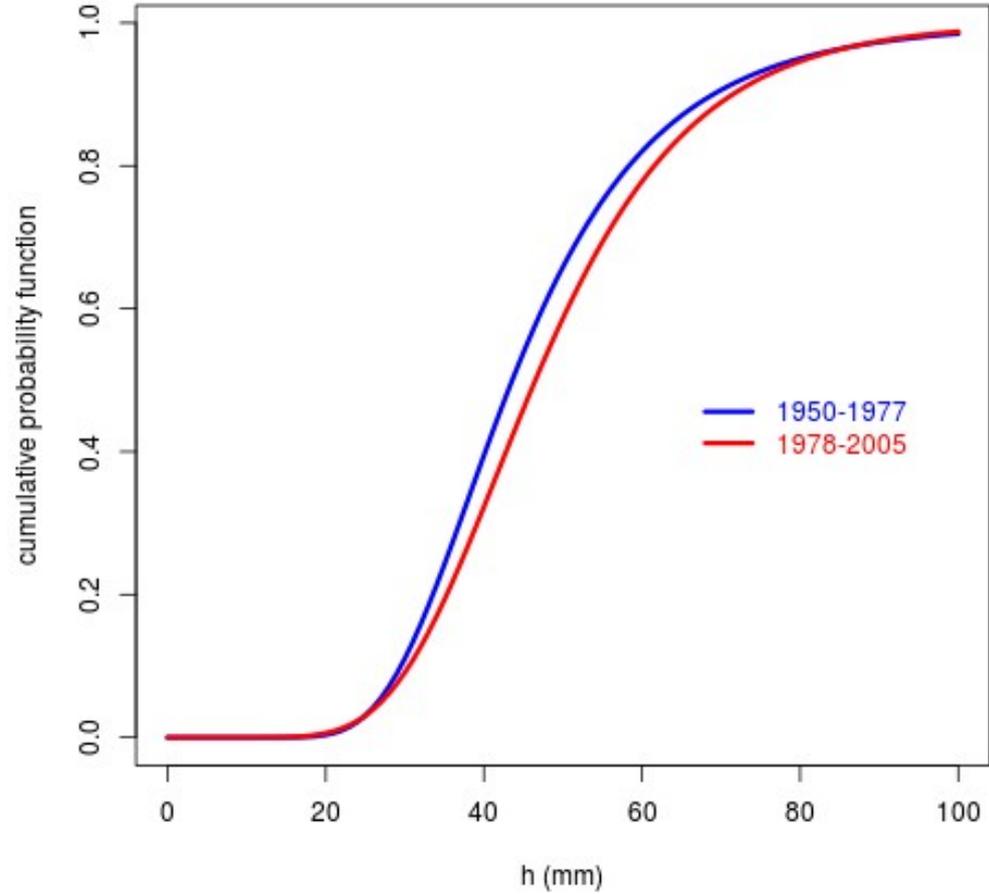


### M 03h

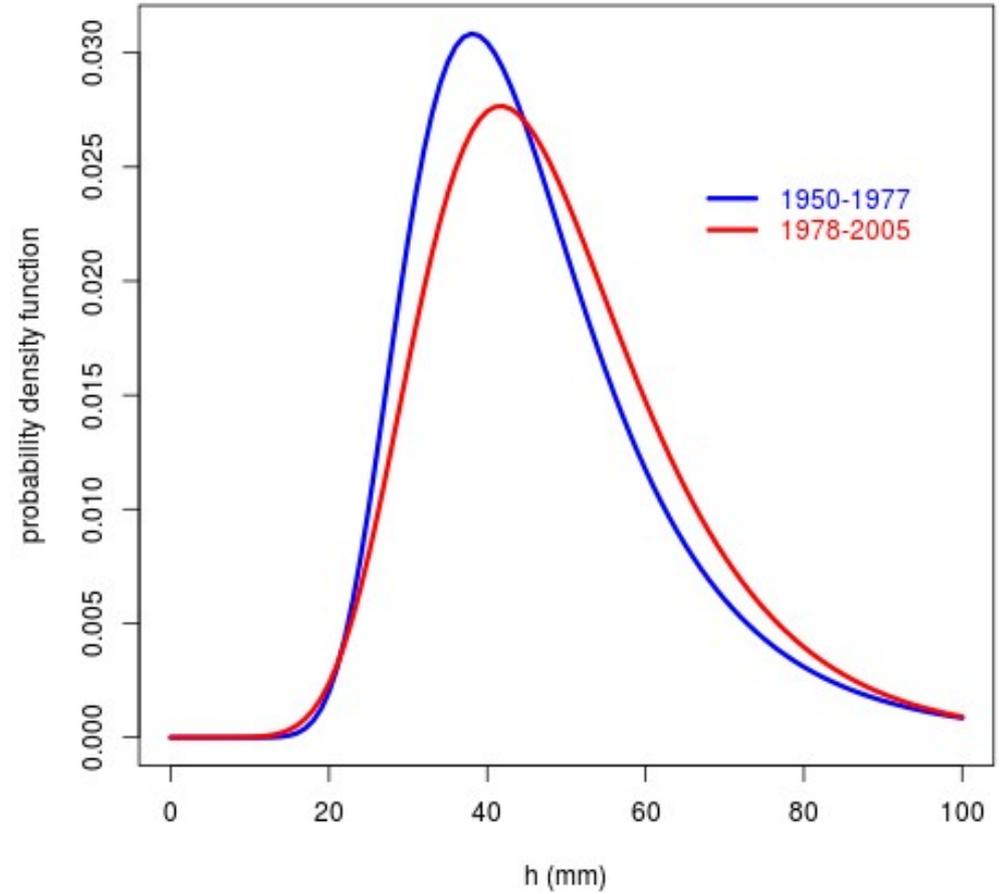


La linea rossa evidenzia la separazione tra gli intervalli di incertezza delle due mediane

CoVa M 03h GEV cumulative



CoVa M 03h GEV density

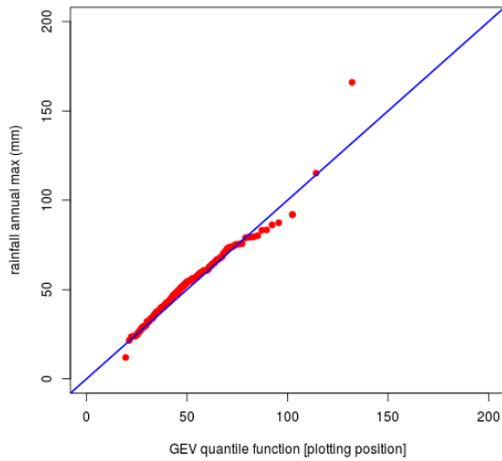


$D = 03 h$	1950 - 1977	1978 - 2005
$N$	<b>219</b>	<b>240</b>
location $\mu$	<b>39.1261</b>	<b>41.6436</b>
scale $\sigma$	<b>11.9758</b>	<b>13.2945</b>
shape $\xi$	<b>0.0902</b>	<b>-0.0023</b>

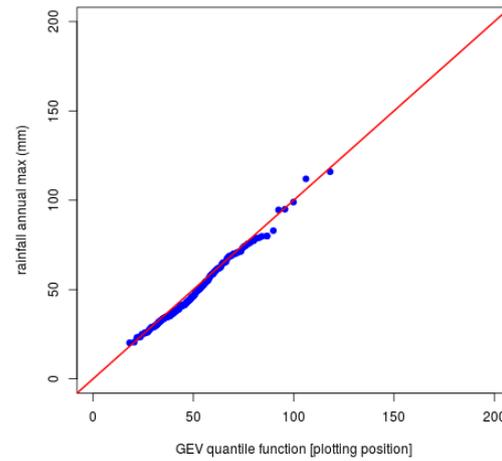
test	D	result	CV 10%	result	CV 5%	result	CV 1%	result
KS-A1D2	03h		0.0784		0.0869	<b>0.0947</b>	0.1042	
KS-A2D1	03h		0.0820		0.0910		0.1091	<b>0.1173</b>
S	03h	<b>0.1128</b> <b>P=10.8%</b>	0.1144		0.1269		0.1521	
$\Lambda^*$	03h	<b>4.4367</b> <b>p=21.8%</b>	6.2514		7.8147		11.3449	

D=03h

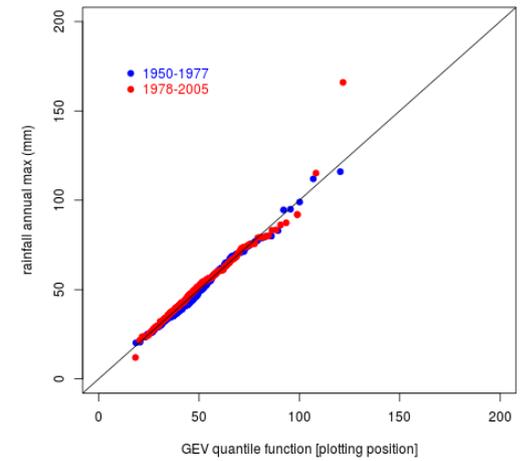
D=03h Q-Q plot: GEV 1950-1977, data 1978-2005



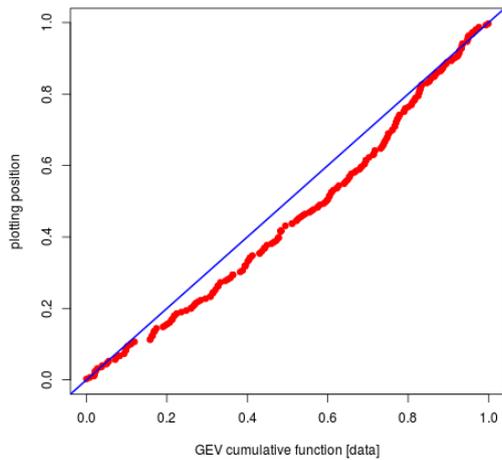
D=03h Q-Q plot: GEV 1978-2005, data 1950-1977



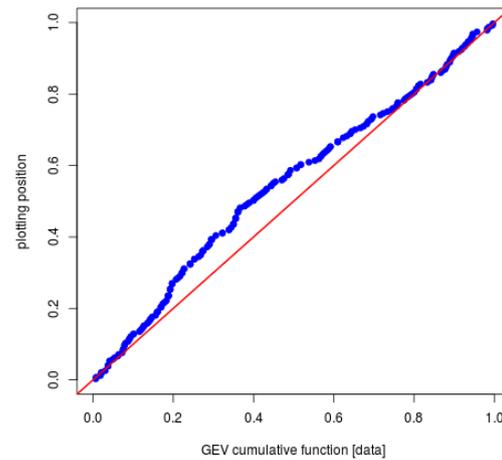
D=03h Q-Q plot GEV:1950-2005 blue:1950-1977 red:1978-2005



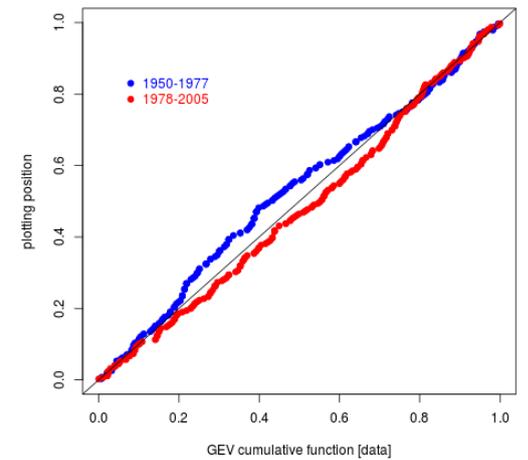
D=03h P-P plot: GEV 1950-1977, data 1978-2005



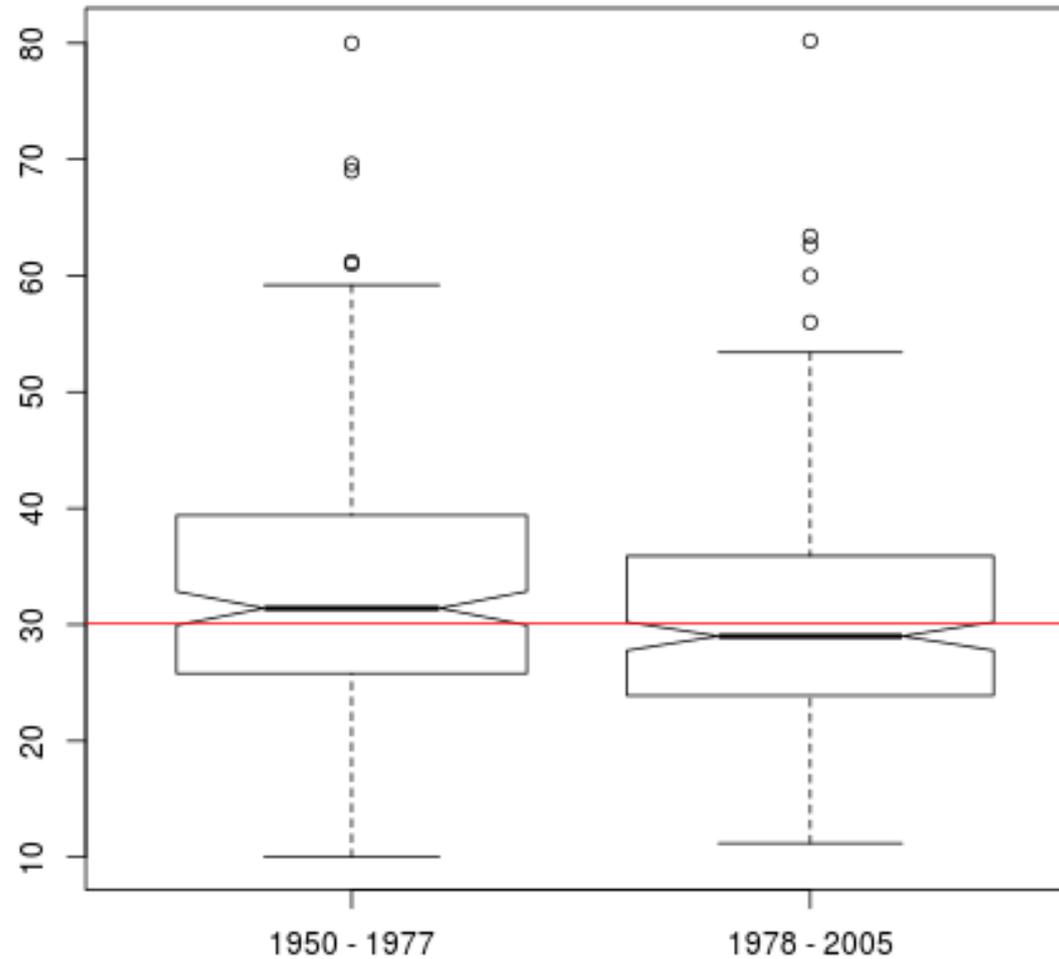
D=03h P-P plot: GEV 1978-2005, data 1950-1977



D=03h P-P plot GEV:1950-2005 blue:1950-1977 red:1978-2005

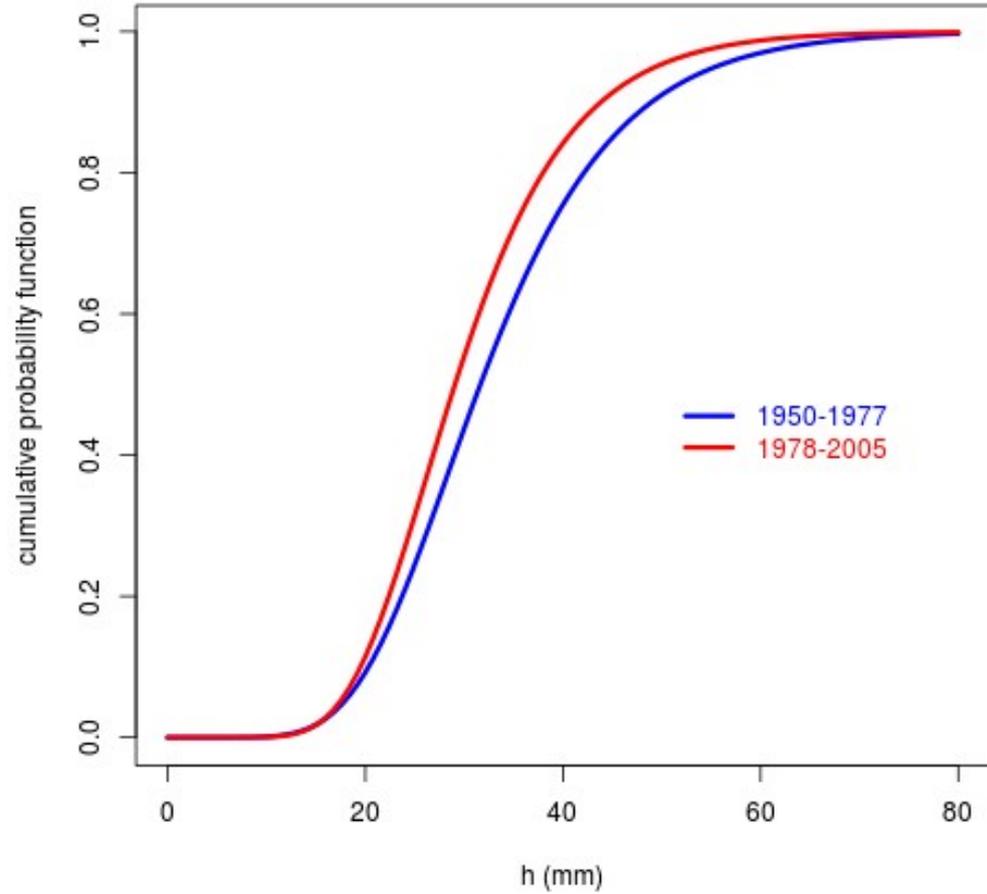


## M 01h

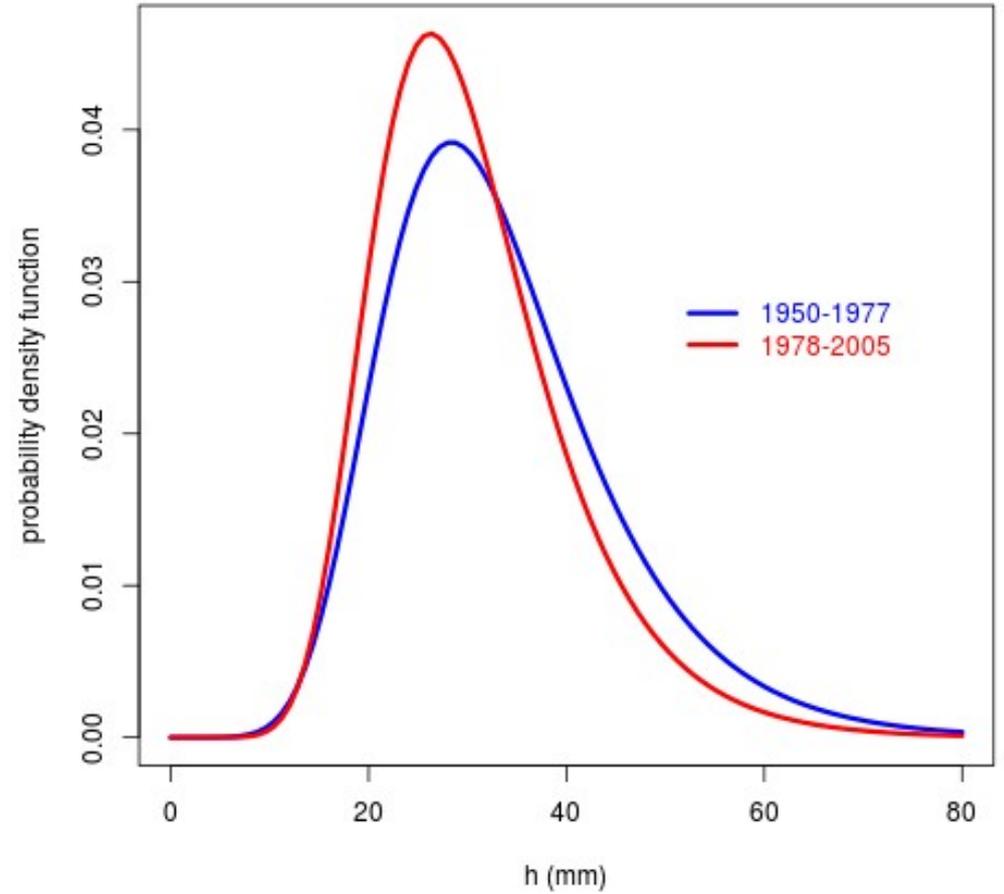


Gli intervalli di incertezza delle due mediane sono *QUASI* separati, ma si nota che nel caso della durata di 1 ora, al contrario delle altre durate, la distribuzione si sposta nel secondo periodo verso valori più bassi.

CoVa M 01h GEV cumulative



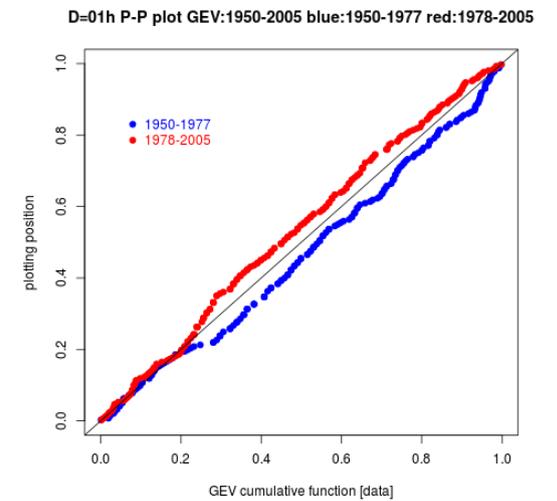
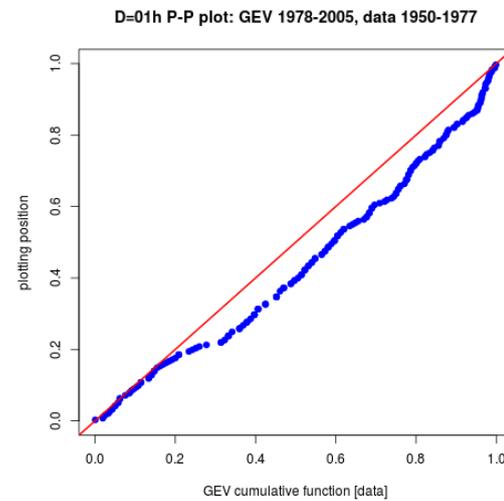
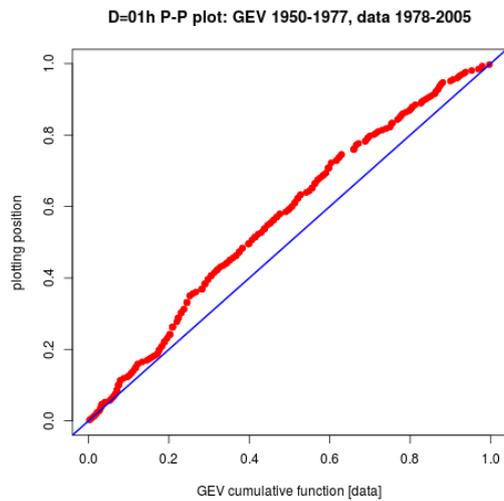
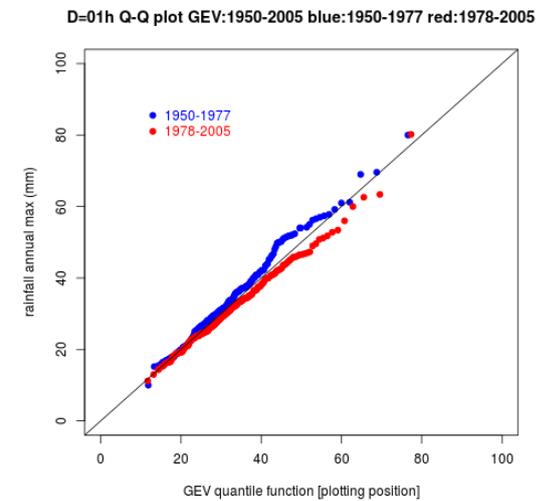
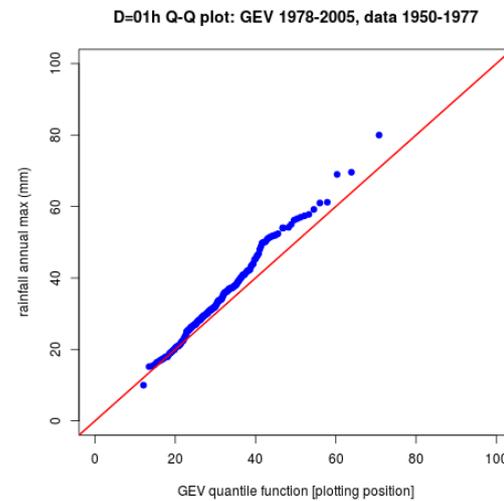
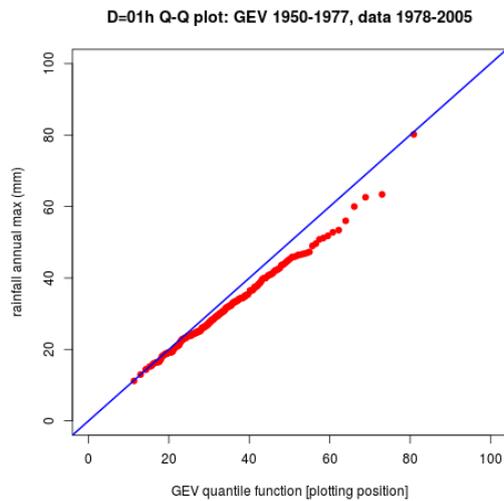
CoVa M 01h GEV density



$D = 01 h$	1950 - 1977	1978 - 2005
$N$	<b>219</b>	<b>240</b>
location $\mu$	<b>28.2171</b>	<b>26.1693</b>
scale $\sigma$	<b>9.3891</b>	<b>7.9398</b>
shape $\xi$	<b>-0.0164</b>	<b>-0.0107</b>

test	D	result	CV 10%	result	CV 5%	result	CV 1%	result
KS-A1D2	01h		0.0784		0.0869		0.1042	<b>0.1214</b>
KS-A2D1	01h		0.0820		0.0910		0.1091	<b>0.1144</b>
S	01h		0.1144		0.1269	<b>0.1270</b>	0.1521	
$\Lambda^*$	01h		6.2514		7.8147	<b>8.4182</b> <b>p=3.81%</b>	11.3449	

D=01h



# Conclusioni

Si sono considerate le distribuzioni dei **massimi annuali di precipitazione** osservati da stazioni **Meccaniche** nell'area lombarda di **Como e Varese**.

L'analisi del dataset, dopo i controlli di qualità, con l'esclusione di stazioni affette da errori grossolani (per dettagli: Uboldi et al. EMS 2013), ha permesso di individuare due periodi con numero di dati stabile e di sufficiente lunghezza (28 anni), da essere confrontabili e significativi per un'analisi di stazionarietà della statistica: **1950-1977** e **1978-2005**.

1) Per massimi calcolati con durate di evento **24h** e **12h** (ma anche, sebbene in modo meno evidente, **6h** e **3h**) la distribuzione statistica si sposta nel secondo periodo, **1978-2005**, su **valori significativamente più alti**. Questo corrisponde a un **aumento nel tempo della frequenza di eventi con grandi quantitativi di precipitazione cumulata su diverse ore**.

2) Per la durata di **1h**, la distribuzione nel secondo periodo, **1978-2005**, si sposta invece verso **valori significativamente più bassi**. Si riscontra cioè una tendenza alla **diminuzione della frequenza dei picchi intensi di breve durata**.

Queste variazioni temporali della climatologia appaiono sufficienti per stimolare:

1 l'utilizzo futuro di tecniche statistiche **non stazionarie**;

2 l'attenzione alla **qualità del *dataset* pluviometrico**, oggi costituito da stazioni **automatiche**, in particolare alla qualità e accessibilità dei **METADATI**.

## Conclusioni sintetiche

### ● “La climatologia della precipitazione è stazionaria”: **FALSO**

- ◆ I massimi annuali di precipitazione sono descritti dalla **statistica dei valori estremi**.
- ◆ La climatologia dei massimi annuali di precipitazione **CAMBIA**
- ◆ **ATTENZIONE: NON** cambia dappertutto allo stesso modo.

Il sistema globale atmosfera-oceano ha MOLTE COMPONENTI diverse tra loro —**COMPLESSITÀ** — e molte fonti di **NON-LINEARITÀ** (CAOS: l'evoluzione del sistema è sensibile a piccole perturbazioni).

QUINDI, a parte le variabilità intrinseche del clima, **non ci si può aspettare che la risposta del sistema a una forzante come l'incremento antropogenico dell'effetto-serra sia dappertutto la stessa.**

Ci si deve invece aspettare **VARIETÀ** nelle risposte locali e nella loro evoluzione, riguardo alle diverse variabili e fenomeni.

SI RACCOMANDA:

- **Revisione periodica delle statistiche.**
- Considerare in futuro tecniche statistiche **non stazionarie**.
- **Qualità del *dataset* pluviometrico**, oggi costituito da stazioni **automatiche**, in particolare alla qualità e accessibilità dei **METADATI**.

Massimi annuali di precipitazione cumulata in intervalli temporali di durata prefissata: 1h, 3h, 6h, 12h, 24h.

Un metodo generale per caratterizzare sinteticamente una distribuzione **campionaria**, in particolare una distribuzione non simmetrica, è basato sui **quartili**, ovvero i quantili 0.25 – primo quartile; 0.5 – **mediana**; 0.75 – terzo quartile. La loro rappresentazione grafica è il **BOXPLOT**.

Per massimi individuati tra eventi di durata fissata la distribuzione statistica appropriata è la GEV : **Generalized Extreme-Value distribution**.

Funzione di probabilità cumulata:

$$F(h) = \exp \left[ - \left( 1 + \xi \frac{h - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{-1}{\xi}} \right]$$

Funzione densità di probabilità:

$$f(h) = \frac{1}{\sigma} \left( 1 + \xi \frac{h - \mu}{\sigma} \right)^{-\frac{1+\xi}{\xi}} \exp \left[ - \left( 1 + \xi \frac{h - \mu}{\sigma} \right)^{\frac{-1}{\xi}} \right]$$

Parametri della GEV: *location*  $\mu$  (mm), *scale*  $\sigma$  (mm), *shape*  $\xi$  (adim.).

La stima è stata effettuata con il metodo della massima verosimiglianza, applicato ai massimi annuali di precipitazione registrati in tutte le stazioni comprese nell'area considerata, in ognuno dei due periodi in esame.