

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO



RELAZIONE PLUVIOMETRICA

CORSO DI IDROLOGIA

---

# Calcolo delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica

Stazione Meteorologica di Folgaria (TN)

---

*Studenti:*

Giovanni Maria MARCON

Riccardo BASSO

Tiziano TASINI

*Professore:*

Dr. Riccardo RIGON

ANNO ACCADEMICO 2014-2015

31 luglio 2015

### Sommario

L'obiettivo di tale relazione è quello di elaborare un'analisi pluviometrica attraverso l'utilizzo dell'Open Source Software (OSS) *R*.

I dati necessari per l'estrapolazione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) sono quelli di massima precipitazione annuale riferiti ad intervalli temporali di ore (1, 3, 6, 12, 24) e giorni (1, 2, 3, 4, 5). Tali misurazioni sono disponibili sul sito web di MeteoTrentino <http://www.meteotrentino.it/>.

## Indice

<b>Introduzione</b>	<b>1</b>
<b>1 Dati e analisi statistica preliminare</b>	<b>2</b>
1.1 Dati 1-24 ore . . . . .	2
1.2 Dati 1-5 giorni . . . . .	3
1.3 Massimi di precipitazione 1-24 ore . . . . .	5
1.4 Massimi di precipitazione 1-5 giorni . . . . .	5
1.5 Istogrammi e ECDF di precipitazione . . . . .	6
1.6 Boxplot delle precipitazioni 1-24 ore . . . . .	10
1.7 Boxplot delle precipitazioni 1-5 giorni . . . . .	11
<b>2 Teoria per l'analisi pluviometrica</b>	<b>11</b>
2.1 Tempo di ritorno e distribuzione di Gumbel . . . . .	11
2.2 Metodo dei Momenti . . . . .	12
2.3 Metodo dei Minimi Quadrati . . . . .	13
2.4 Metodo della Massima Verosimiglianza . . . . .	13
2.5 Test di Pearson . . . . .	14
<b>3 Curve di Gumbel</b>	<b>15</b>
3.1 Parametri a,b della curva di Gumbel . . . . .	15
3.2 Curve di Gumbel per intervallo orario . . . . .	17
3.3 Curve di Gumbel 1-24 ore . . . . .	22
3.4 Curve di Gumbel 1-5 giorni . . . . .	22
3.5 Densità cumulata di possibilità pluviometrica 1-24 ore . . . . .	23
3.6 Densità cumulata di possibilità pluviometrica 1-5 giorni . . . . .	23
<b>4 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica</b>	<b>24</b>
4.1 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-24 ore . . . . .	24
4.2 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-5 giorni . . . . .	25
<b>Bibliografia</b>	<b>27</b>

**Elenco delle figure**

1	Stazione meteorologica . . . . .	1
2	Massimi di precipitazione 1-24 ore . . . . .	5
3	Massimi di precipitazione 1-5 giorni . . . . .	5
4	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 1 ora . . . . .	6
5	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 3 ore . . . . .	6
6	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 6 ore . . . . .	7
7	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 12 ore . . . . .	7
8	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 24 ore . . . . .	8
9	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 2 giorni . . . . .	8
10	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 3 giorni . . . . .	9
11	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 4 giorni . . . . .	9
12	Distribuzione delle precipitazioni intervallo 5 giorni . . . . .	10
13	Boxplot precipitazioni 1-24 ore . . . . .	10
14	Boxplot precipitazioni 1-5 giorni . . . . .	11
15	Gumbel 1 ora . . . . .	17
16	Gumbel 3 ore . . . . .	18
17	Gumbel 6 ore . . . . .	18
18	Gumbel 12 ore . . . . .	19
19	Gumbel 24 ore . . . . .	19
20	Gumbel 2 giorni . . . . .	20
21	Gumbel 3 giorni . . . . .	20
22	Gumbel 4 giorni . . . . .	21
23	Gumbel 5 giorni . . . . .	21
24	Gumbel 1-24 ore . . . . .	22
25	Gumbel 1-5 giorni . . . . .	22
26	Densità di probabilità 1-24 ore . . . . .	23
27	Densità di probabilità 1-5 giorni . . . . .	23
28	Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-24 ore . . . . .	24
29	Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-24 ore su un piano bilogarithmico . . . . .	25
30	Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-5 giorni . . . . .	25
31	Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-5 giorni su un piano bilogarithmico . . . . .	26

**Elenco delle tabelle**

1	Dati precipitazione 1-24 ore . . . . .	3
2	Dati precipitazione 1-5 giorni . . . . .	4
3	Parametri della curva di Gumbel 1-24 ore . . . . .	15
4	Parametri della curva di Gumbel 1-5 giorni . . . . .	15
5	Valori $\chi^2$ 1-24 ore . . . . .	16
6	Valori $\chi^2$ 1-5 giorni . . . . .	16

## Introduzione

La zona su cui è effettuato lo studio è quella di Folgaria, piccolo comune di circa 3000 abitanti, situato in provincia di Trento. La stazione meteorologica T0210 di Folgaria è posta ad un'altitudine di 1168 m s.l.m., di latitudine  $45^{\circ}54'55.3''$  Nord e longitudine  $11^{\circ}9'51.7''$  Est. Essa è attiva dal 01/01/1921, ma solo a partire da 1951 i dati rilevati continuano ad essere più continui.

*Stazione*

Ottenute le misurazioni delle massime precipitazioni annuali, si è creato un file di estensione `.txt` contenente i dati relativi alle durate orarie (1, 3, 6, 12, 24) e giornaliere (1, 2, 3, 4, 5) nel periodo di tempo che si protrae dal 1951 al 1990. Si è poi inserito manualmente il valore *NA* (not a number) negli spazi in cui non erano presenti misurazione. Infine il file contenente tali dati è stato importato in *R* per effettuare l'analisi statistica.

*Dati  
analizzati*

L'obiettivo principale è quello di tracciare le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica partendo dai dati di massima precipitazione annuale. Per fare ciò è fondamentale ricavare le *curve di Gumbel* che meglio approssimano le precipitazioni cumulate. Per ogni step temporale (1, 3, 6, 12, 24 ore e 1, 2, 3, 4, 5 giorni) si tracciano tre diverse curve di Gumbel, una per ogni metodo utilizzato:

*Concisa  
procedura  
teorica*

- metodo dei momenti;
- metodo dei minimi quadrati;
- metodo della massima verosimiglianza.

Ottenute le tre curve, calcolando i relativi coefficienti, si procede con il *test di Pearson* che permette di individuare per ogni step quale è quella che meglio approssima la distribuzione dei dati.



(a) Mappa stazione meteorologica



(b) Foto stazione meteorologica

Figura 1: Stazione meteorologica

# 1 Dati e analisi statistica preliminare

## 1.1 Dati 1-24 ore

Anno	1 ora	3 ora	6 ora	12 ora	24 ora
	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]
1951	19.4	27.4	45.4	58.4	80.6
1952	18.6	26.2	47.2	84.2	103.0
1953	46.8	53.6	63.0	89.0	136.0
1954	19.8	22.4	30.4	51.2	57.2
1955	11.4	18.2	27.4	34.8	40.8
1956	22.2	26.4	38.6	51.8	61.2
1957	17.2	33.2	45.4	76.0	107.6
1958	16.8	28.0	51.0	92.0	131.6
1959	32.4	34.6	37.8	55.4	94.2
1960	21.6	39.4	54.2	76.2	82.4
1961	24.6	26.6	33.0	33.6	58.0
1962	22.8	26.8	40.2	71.0	77.2
1963	NA	NA	NA	NA	NA
1964	23.0	25.4	29.2	47.8	73.6
1965	21.8	50.6	77.2	121.2	190.2
1966	24.2	39.0	74.0	117.0	167.4
1967	12.0	23.6	27.4	27.4	43.8
1968	26.2	37.0	52.6	54.8	57.8
1969	23.6	25.8	31.2	32.4	54.6
1970	48.0	60.6	62.8	63.4	64.4
1971	21.6	36.2	52.4	72.6	98.6
1972	27.2	30.0	50.8	63.4	74.0
1973	29.4	30.0	38.4	46.6	56.0
1974	26.4	27.6	38.0	57.0	75.8
1975	17.4	20.6	36.0	54.0	76.0
1976	21.0	30.2	42.6	58.0	184.0
1977	26.8	27.0	35.4	46.6	69.2
1978	20.0	33.2	51.6	77.6	126.0
1979	14.0	31.4	41.6	62.4	110.0

Anno	1 ora	3 ora	6 ora	12 ora	24 ora
	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]
1980	23.6	47.0	65.6	126.2	147.2
1981	29.0	29.2	34.4	62.4	112.0
1982	20.4	33.2	43.0	70.2	84.2
1983	22.2	26.0	35.6	57.0	60.2
1984	15.2	24.4	32.8	44.8	64.2
1985	18.6	31.6	36.4	47.8	78.2
1986	20.0	21.2	39.2	78.4	141.4
1987	50.6	57.6	57.6	78.0	98.6
1988	20.2	28.2	38.6	57.0	74.0
1989	53.4	63.0	63.0	74.6	111.4
1990	47.2	53.0	53.2	75.4	111.6

Tabella 1: Dati precipitazione 1-24 ore

## 1.2 Dati 1-5 giorni

Anno	1 giorno	2 giorno	3 giorno	4 giorni	5 giorni
	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]
1951	80.6	122	144.8	156.4	180.4
1952	103.0	107.2	107.4	107.4	107.4
1953	136.0	182.8	216	253.8	260.8
1954	57.2	60.6	63.8	70.2	76.8
1955	40.8	44.2	48.6	54	68.2
1956	61.2	68.4	95.8	109.3	126.4
1957	107.6	122.8	128.2	141.6	162.2
1958	131.6	165.4	194.6	196.8	197.4
1959	94.2	140.1	145	152	155.6
1960	82.4	141.8	141.8	151.4	162.9
1961	58.0	79.6	80.8	84.2	114.7
1962	77.2	119.3	149	197	211.8
1963	NA	142.2	167.2	168.4	174.4



Anno	1 giorno	2 giorno	3 giorno	4 giorni	5 giorni
	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]	h [mm]
1964	73.6	76.2	76.2	87	104.4
1965	190.2	243.6	270	270.2	270.2
1966	167.4	209.8	223.4	229.6	230.4
1967	43.8	53.8	55	60.4	64.8
1968	57.8	116.5	130	130.4	130.4
1969	54.6	80	92	92	94
1970	64.4	64.4	88	108	108
1971	98.6	107	126.6	137.6	145.2
1972	74.0	75.8	77.2	78.2	101.2
1973	56.0	67.9	68.9	84.2	98
1974	75.8	91	106.2	114.8	118.4
1975	76.0	114.8	152.8	191.2	197.2
1976	184.0	306	314	315	316.6
1977	69.2	76.8	85.4	92.2	92.2
1978	126.0	167.2	174.8	204	208.6
1979	110.0	200.2	202	206.2	208
1980	147.2	176	194.8	211.4	215.6
1981	112.0	122	124.8	124.8	140.6
1982	84.2	94.4	111.8	111.8	111.8
1983	60.2	82.2	98.4	109.8	113.4
1984	64.2	72.2	84.8	111	113.2
1985	78.2	94.8	107.4	134.8	160.4
1986	141.4	211.2	234.6	249.2	255
1987	98.6	116.4	126.6	126.6	134.2
1988	74.0	108	114.2	119.8	123.8
1989	111.4	154.4	156.4	158.2	162
1990	111.6	120.8	121	121	121

Tabella 2: Dati precipitazione 1-5 giorni

### 1.3 Massimi di precipitazione 1-24 ore

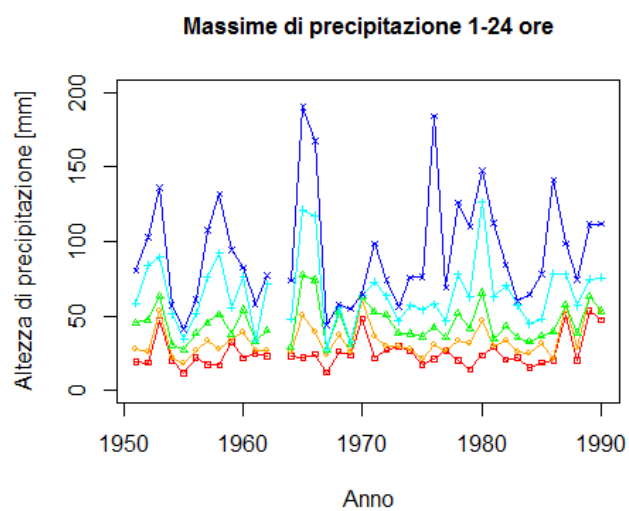


Figura 2: Massimi di precipitazione 1-24 ore

### 1.4 Massimi di precipitazione 1-5 giorni

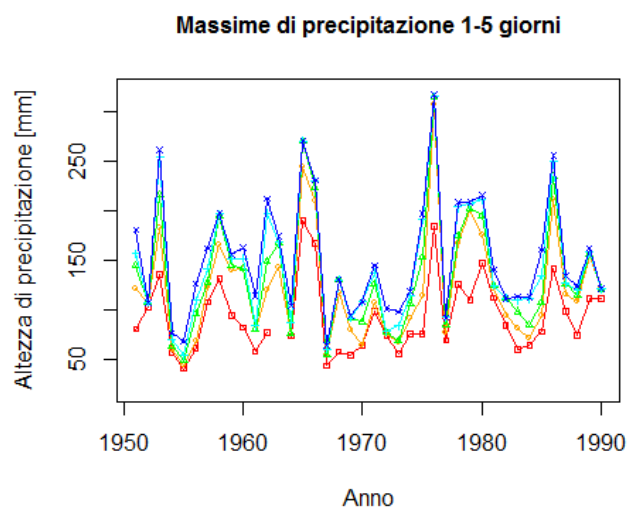


Figura 3: Massimi di precipitazione 1-5 giorni

### 1.5 Istogrammi e ECDF di precipitazione

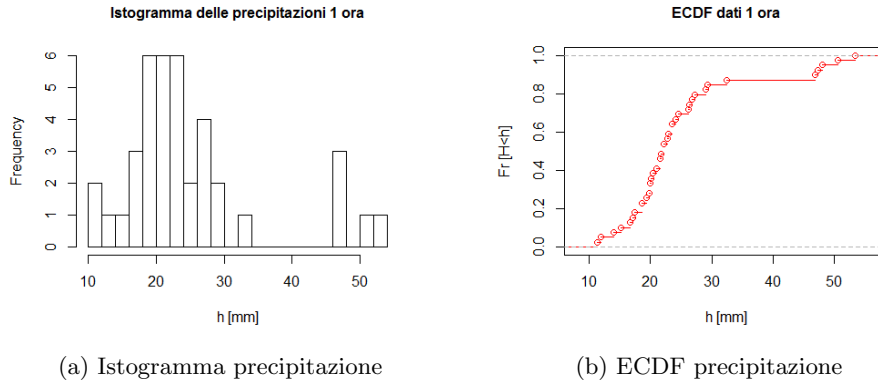


Figura 4: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 1 ora

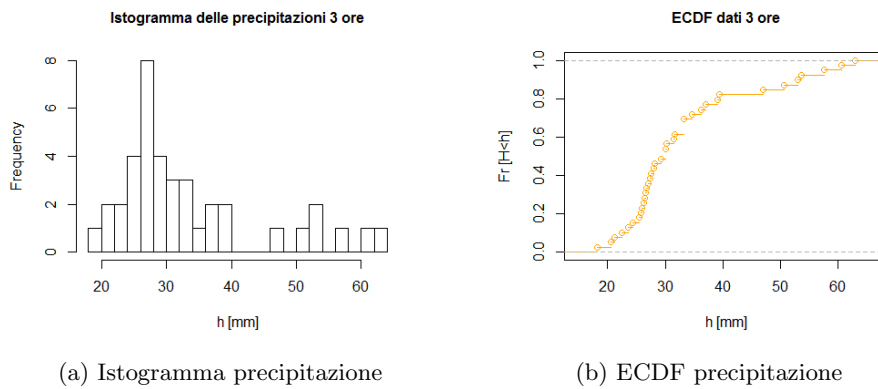
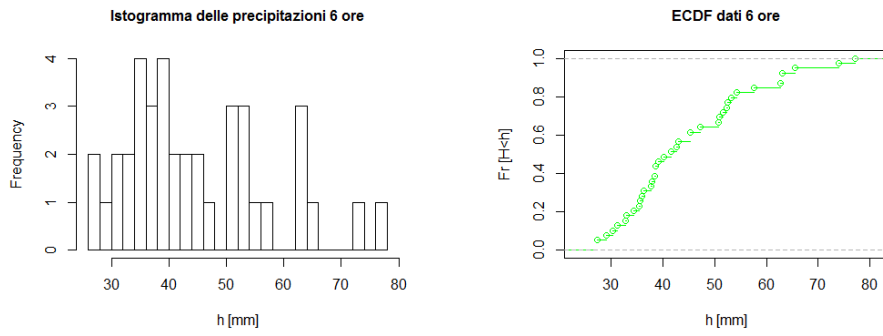


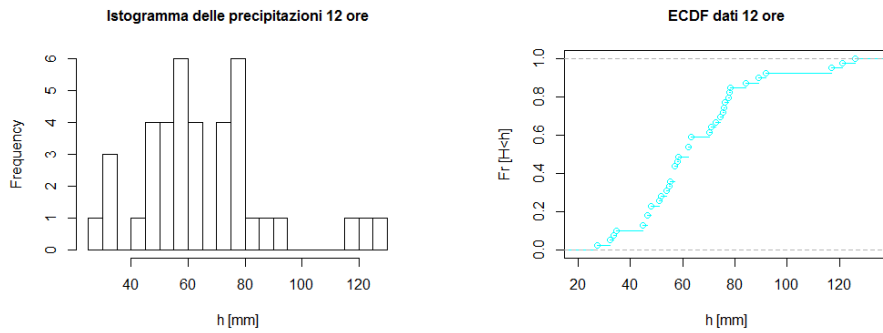
Figura 5: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 3 or3



(a) Istogramma precipitazione

(b) ECDF precipitazione

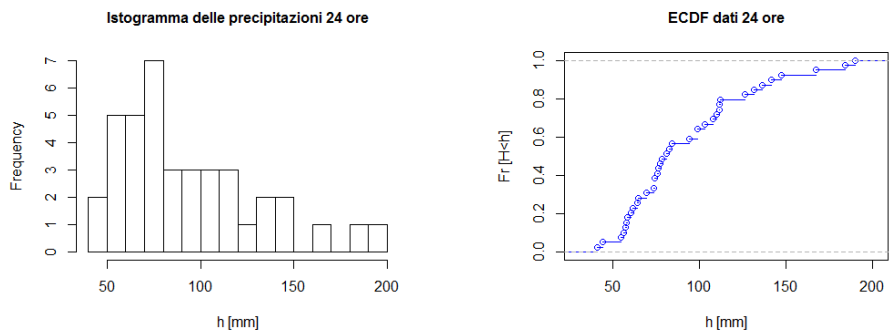
Figura 6: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 6 ore



(a) Istogramma precipitazione

(b) ECDF precipitazione

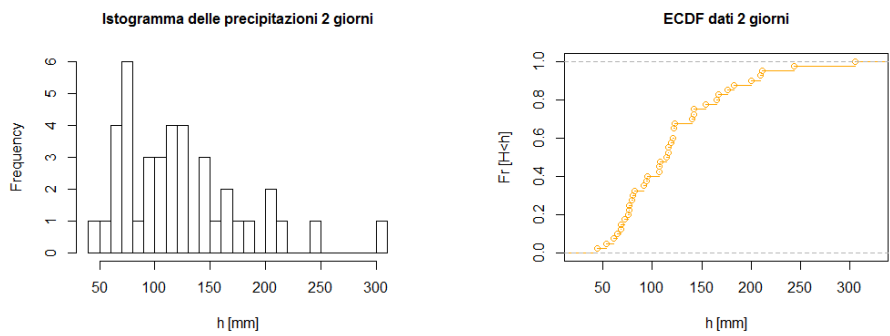
Figura 7: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 12 ore



(a) Istogramma precipitazione

(b) ECDF precipitazione

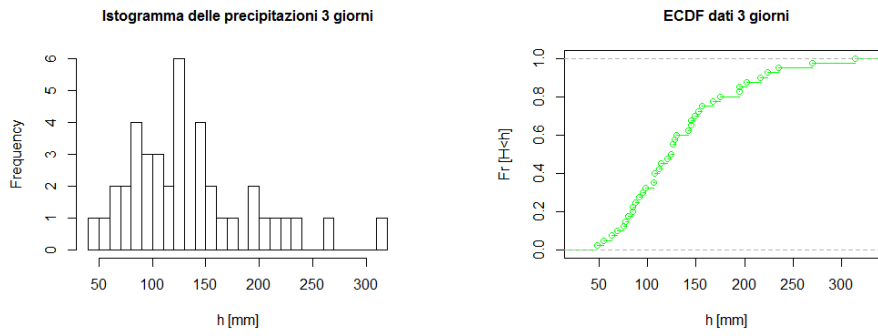
Figura 8: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 24 ore



(a) Istogramma precipitazione

(b) ECDF precipitazione

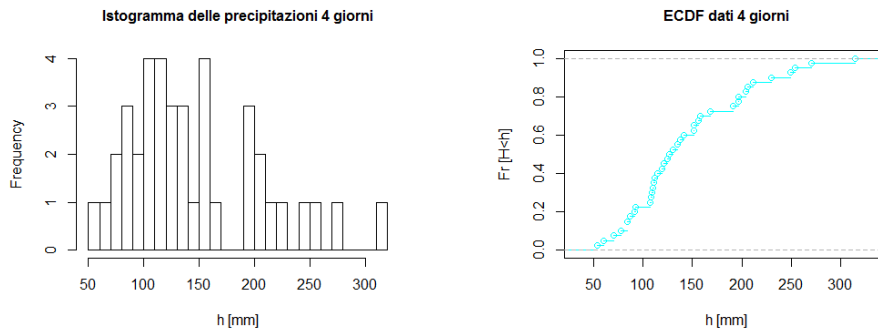
Figura 9: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 2 giorni



(a) Istogramma precipitazione

(b) ECDF precipitazione

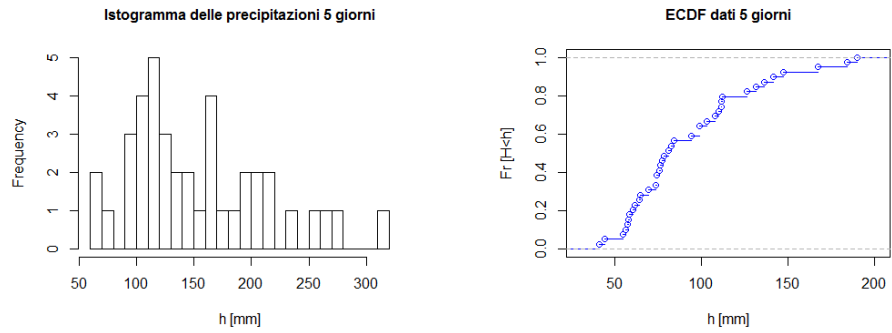
Figura 10: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 3 giorni



(a) Istogramma precipitazione

(b) ECDF precipitazione

Figura 11: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 4 giorni



(a) Istogramma precipitazione

(b) ECDF precipitazione

Figura 12: Distribuzione delle precipitazioni intervallo 5 giorni

### 1.6 Boxplot delle precipitazioni 1-24 ore

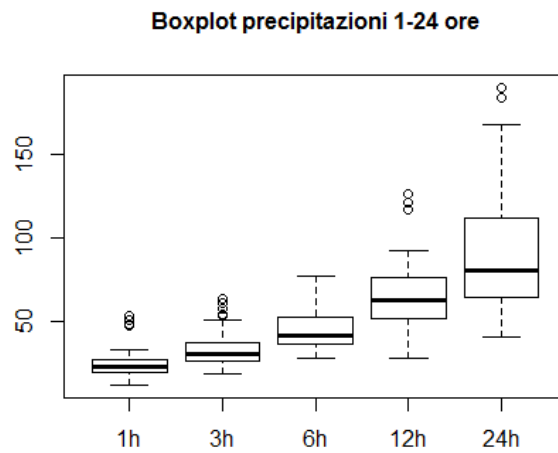


Figura 13: Boxplot precipitazioni 1-24 ore

## 1.7 Boxplot delle precipitazioni 1-5 giorni

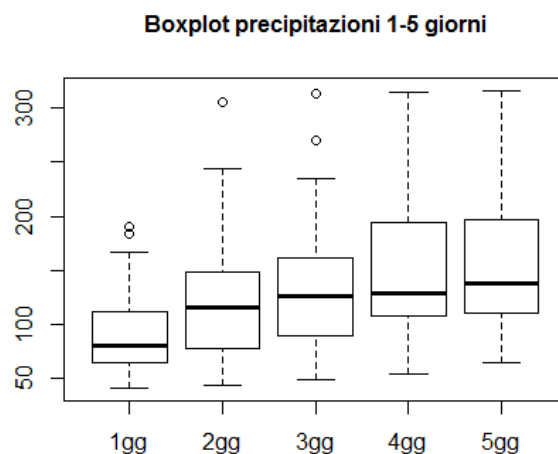


Figura 14: Boxplot precipitazioni 1-5 giorni

## 2 Teoria per l'analisi pluviometrica

### 2.1 Tempo di ritorno e distribuzione di Gumbel

Il tempo di ritorno  $Tr$  è il tempo medio che intercorre tra due eventi di eguali caratteristiche (altezza e durata).

Si definiscono:  $T$  l'intervallo di tempo durante il quale viene fatta la campagna di misurazione,  $l$  il numero di eventi estremi che avvengono durante il tempo scelto come arco temporale,  $n$  il numero di misurazioni fatte nell'intervallo e  $m$  il tempo di campionamento di ogni singola misura.

$$Tr := \frac{T}{l} = \frac{mn}{l} = \frac{m}{Fr(H > h)} = \frac{m}{1 - Fr(H < h)} = \frac{m}{1 - ECDF(h)}$$

Il rapporto tra  $l$  e  $n$  determina la frequenza di superamento del valore  $h$ . Il denominatore quindi rappresenta la frequenza di quelle misure di altezza di precipitazione che superano quella di riferimento  $h$ .

Per definizione  $Fr(H > h) = 1 - Fr(H < h)$ , dove  $Fr(H < h)$  rappresenta la frequenza di misure di  $H$  (altezza di precipitazione [mm]) inferiori o uguali ad una data altezza  $h$  stabilita.



La frequenza empirica di non superamento è definita *ECDF* (empirical cumulative distribution function).

$$ECDF(h) = Fr(H < h)$$

Tramite l'equazione parametrica della distribuzione di Gumbel è poi possibile descrivere la relazione tra tempi di ritorno *Tr* assegnati e le corrispondenti altezze di precipitazione *H*.

$$f(x, a, b) = e^{-e^{-\frac{x-a}{b}}}$$

I parametri *a* e *b*, rispettivamente parametro di posizione e di forma, sono i coefficienti che si calcolano tramite:

- metodo dei momenti;
- metodo dei minimi quadrati;
- metodo della massima verosimiglianza.

## 2.2 Metodo dei Momenti

Dato un campione di dati, il metodo dei momenti consiste nell'eguagliare i momenti del campione con quelli della sua controparte non osservabile (della popolazione). Inizialmente si calcola la media,  $\mu_H$ , e la varianza,  $\sigma_H^2$ , del campione e in seguito si definiscono la media e la varianza della popolazione. Assumendo che la popolazione sia descritta dalla curva di Gumbel, è possibile calcolare il primo momento (la media del campione) attraverso la definizione:

$$M_H[1; \theta] = E_H[h] = \int_{-\infty}^{+\infty} h \cdot pdf_H(h; \theta) dh$$

in cui  $pdf_H(h; \theta)$  rappresenta la distribuzione di probabilità.

Il momento di ordine *t* è definito come:

$$M_H[t; \theta] = E_H[h] = \int_{-\infty}^{+\infty} (h - E_H(h))^t \cdot pdf_H(h; \theta) dh; t > 1$$

nel caso delle curve di Gumbel i parametri incogniti sono 2 e quindi si assume  $t = 2$ . Dunque si risolve il sistema:

$$\begin{cases} \mu_H = a + b\gamma \\ \sigma_H^2 = b^2 \frac{\pi^2}{6} \end{cases}$$

ed splicitando i parametri dell'equazione si ottiene:

$$\begin{cases} a = \mu_H - \frac{\gamma}{\mu} \\ b = \frac{\pi}{\sqrt{6\sigma_H^2}} \end{cases}$$

### 2.3 Metodo dei Minimi Quadrati

Il metodo dei minimi quadrati è una tecnica che permette di calcolare una funzione che si avvicini il più possibile ad un'interpolazione di un insieme di dati. Tale funzione deve essere quella che minimizza la somma dei quadrati delle distanze tra i punti dei dati osservati e quelli della curva della funzione stessa.

In sostanza esso consiste nel determinare lo scarto quadratico medio  $\delta^2(\theta)$  del campione di dati e di minimizzarlo.

$$\delta^2(\theta) = \sum_{i=1}^n (F_i - P[H < h_i; \theta])^2$$

$P[H < h_i; \theta]$  indica la probabilità e  $F_i$  la frequenza empirica di non superamento (*ECDF*).

Una volta ottenuto lo scarto quadratico medio è possibile ricavarne il minimo derivando  $\delta^2(\theta)$  rispetto ai parametri ed imponendo tale derivata pari a zero.

$$\frac{\partial \delta^2(\theta_j)}{\partial \theta_j} = 0; j = 1, \dots, m$$

Nel caso specifico della curva di Gumbel si ha:

- $m = 2$
- $\theta_1 = a$
- $\theta_2 = b$

### 2.4 Metodo della Massima Verosimiglianza

E' un procedimento statistico che consiste sostanzialmente nel massimizzare la funzione di verosimiglianza, definita dalla probabilità di osservare una data realizzazione campionaria, in base ai valori assunti dai parametri oggetto di stima.

Questo metodo si basa sulla valutazione della probabilità composta di ottenere la serie temporale di dati. Assegnato un insieme di misure  $h = h_1, \dots, h_N$  è possibile ottenere  $P[h_1, \dots, h_N; a, b]$ , che può essere considerata come la probabilità di ottenere la serie temporale registrata, assegnati i parametri:

$$P[h_1, \dots, h_N; a, b] = P[h_1, \dots, h_N | a, b]$$

Se si assume l'ipotesi di indipendenza dei dati assegnati si può definire la funzione di verosimiglianza nel seguente modo:

$$P[h_1, \dots, h_N | a, b] = \prod_{i=1}^N P[h_i | a, b]$$

Facendo ricorso al teorema di Bayes è possibile dimostrare che calcolare i massimi di  $P[a, b | h_1, \dots, h_N]$  coincide con il calcolo dei massimi della funzione di verosimiglianza. Applicando il teorema si ottiene:

$$p[a, b | h_1, \dots, h_N] = \frac{\prod_{i=1}^N P[h_i | a, b]}{p(h_1, \dots, h_N)} p(a, b)$$

dove  $p(h_1, \dots, h_N)$  è un numero (assegnate le misure), mentre  $p(a, b)$  è la distribuzione a priori dei parametri.

Per semplificare i calcoli, si definisce la funzione di log-verosimiglianza:

$$\log(P[h_1, \dots, h_N; a, b]) = \sum_{i=1}^N \log(P[h_i | a, b])$$

I massimi della distribuzione si ottengono derivando la funzione di log-verosimiglianza per i parametri  $a$  e  $b$  e ponendo le due derivate pari a zero.

Così è possibile stimare i due parametri della curva di Gumbel risolvendo il sistema a due equazioni e due incognite:

$$\begin{cases} \frac{\partial \log(P[h_1, \dots, h_N; a, b])}{\partial a} = 0 \\ \frac{\partial \log(P[h_1, \dots, h_N; a, b])}{\partial b} = 0 \end{cases}$$

## 2.5 Test di Pearson

Terminata l'applicazione dei tre metodi si hanno tre coppie di parametri, tutti in un certo senso ottimi. Per poter capire quale tra questi insiemi di parametri sia il migliore si attua il test di Pearson, un criterio di confronto non parametrico che si divide in più fasi:

1. suddividere il campo delle probabilità in  $k$  parti;
2. derivarne una suddivisione del dominio in intervalli;
3. contare il numero di dati sperimentali presenti in ciascun intervallo;
4. calcolo della funzione  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(N_j - n(P[H < h_{j+1}] - P[H < h_j]))^2}{n(P[H < h_{j+1}] - P[H < h_j])}$$

in cui:  $P[H < h_0] = P[H < 0]$  e  $P[H < h_{n+i}] = P[H < \infty]$

5. scegliere la coppia di parametri della curva di Gumbel per cui  $\chi^2$  è minore.

### 3 Curve di Gumbel

#### 3.1 Parametri a,b della curva di Gumbel

La tabella sottostante mostra la stima dei parametri di posizione e forma riferiti a tutti e tre i metodi nelle diverse durate di tempo.

Durata	Momenti		Min Quad.		Max Ver.	
	a	b	a	b	a	b
1h	20.3489	8.1290	19.4926	8.6924	20.7649	6.7428
3h	28.3103	8.9421	27.5047	9.4029	28.6059	7.6300
6h	39.2651	9.9000	38.4252	10.1916	39.2214	9.6614
12h	55.1572	17.6120	53.6063	18.1804	55.1239	18.0096
24h	76.3430	29.1774	74.2478	29.9775	76.5763	27.3262

Tabella 3: Parametri della curva di Gumbel 1-24 ore

Durata	Momenti		Min Quad.		Max Ver.	
	a	b	a	b	a	b
1gg	76.3430	29.1774	74.2478	29.9775	76.5763	27.3262
2gg	97.1334	43.9378	94.7568	42.2427	97.9290	40.3822
3gg	108.1583	46.5150	105.3105	45.9267	108.5554	44.3095
4gg	117.9008	47.8967	114.6279	48.7277	117.8692	46.6373
5gg	126.5944	46.5087	123.5338	47.3699	126.4355	45.6213

Tabella 4: Parametri della curva di Gumbel 1-5 giorni

Applicando il test di Pearson si ottengono tutti i valori di chi quadro ed è possibile determinare per ogni durata di tempo quale metodo sia il migliore:

Durata	$\chi^2$			Migliore
	Momenti	Min Quad.	Max Ver.	
1h	6.5128	7.0256	2.4103	Max Ver.
3h	5.7436	8.0513	4.9744	Max Ver.
6h	1.1282	3.4359	1.1282	Max Ver.
12h	1.3846	2.6667	2.4103	Momenti
24h	2.6667	1.1282	6.6667	Min Quad.

Tabella 5: Valori  $\chi^2$  1-24 ore

Durata	$\chi^2$			Migliore
	Momenti	Min Quad.	Max Ver.	
1gg	2.6667	1.1282	6.6667	Min Quad.
2gg	3.5000	3.5000	4.2500	Momenti
3gg	0.2500	0.5000	0.2500	Momenti
4gg	3.0000	2.5000	3.0000	Min Quad.
5gg	4.7500	5.7500	4.7500	Momenti

Tabella 6: Valori  $\chi^2$  1-5 giorni

### 3.2 Curve di Gumbel per intervallo orario

Di seguito sono confrontate le curve di Gumbel per ogni singolo intervallo di tempo descritti con i tre metodi.

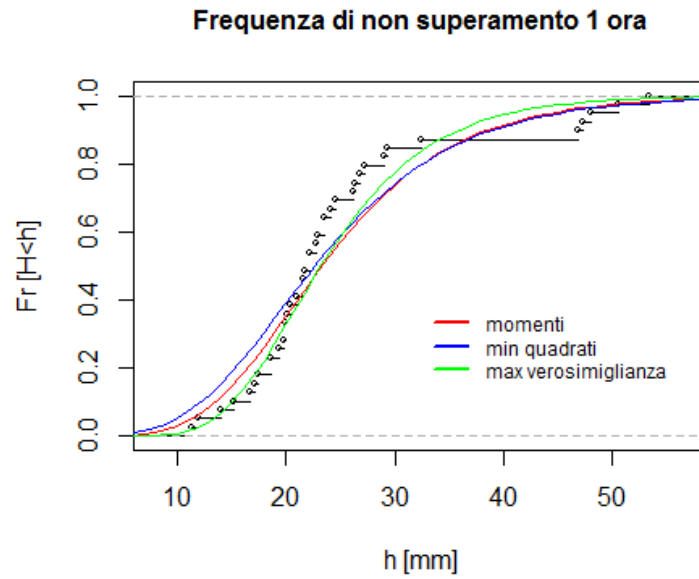


Figura 15: Gumbel 1 ora

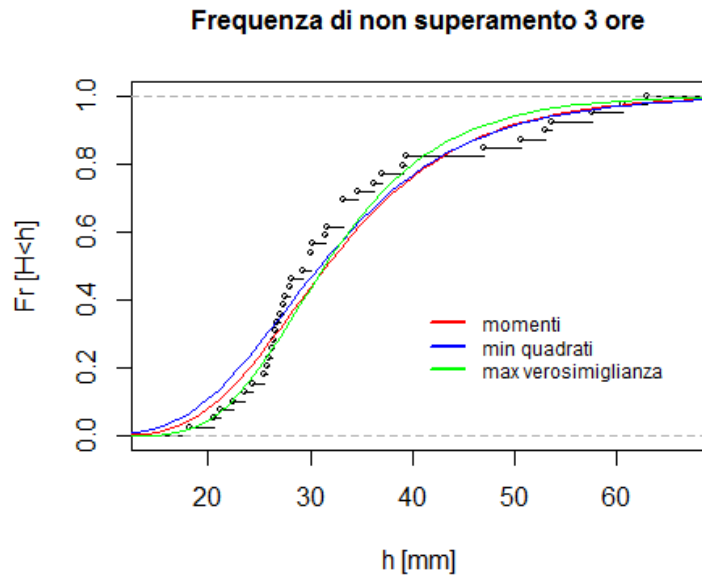


Figura 16: Gumbel 3 ore

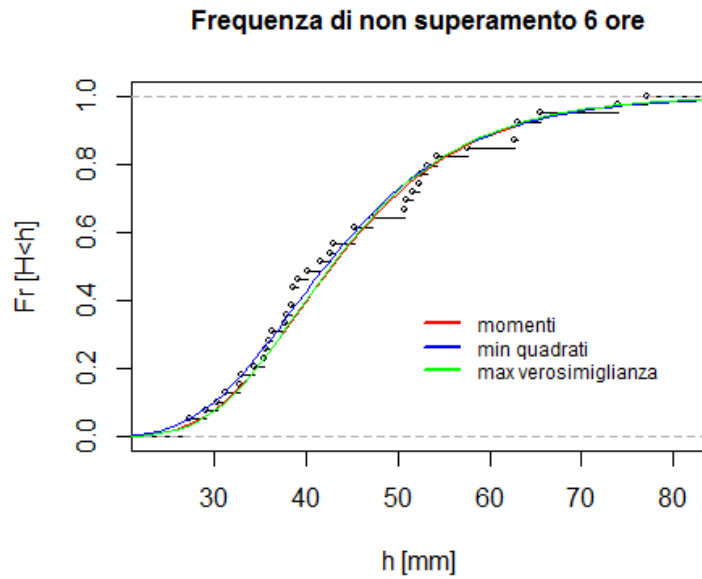


Figura 17: Gumbel 6 ore

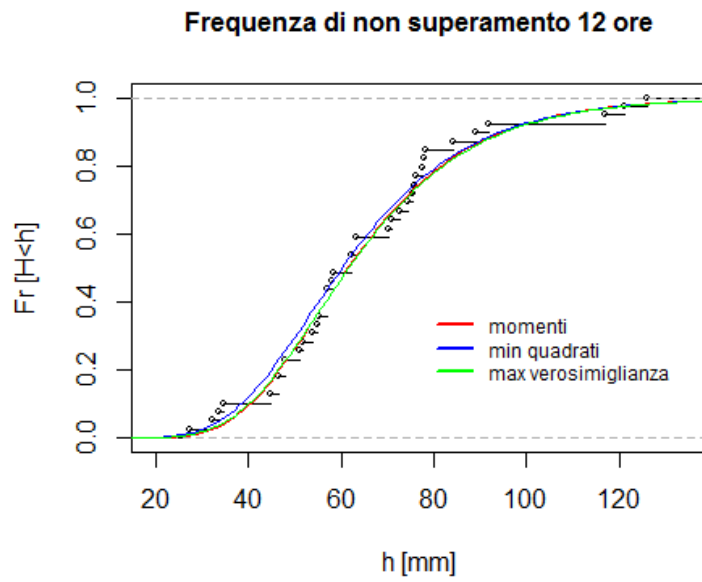


Figura 18: Gumbel 12 ore

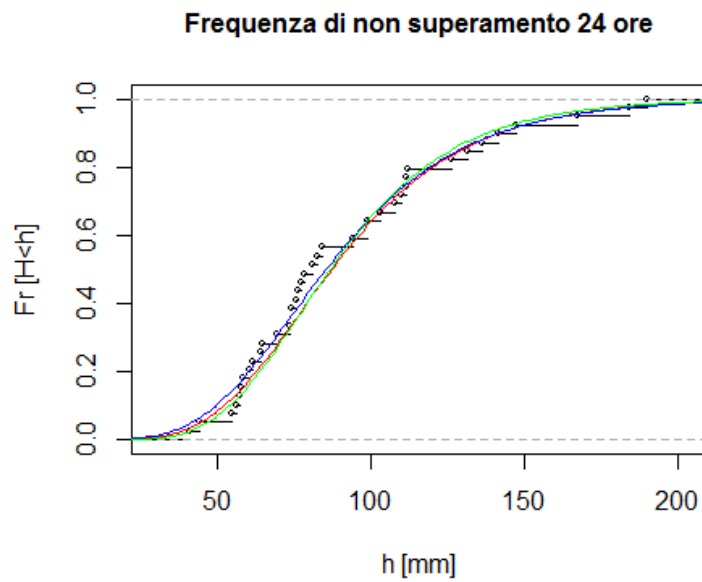


Figura 19: Gumbel 24 ore



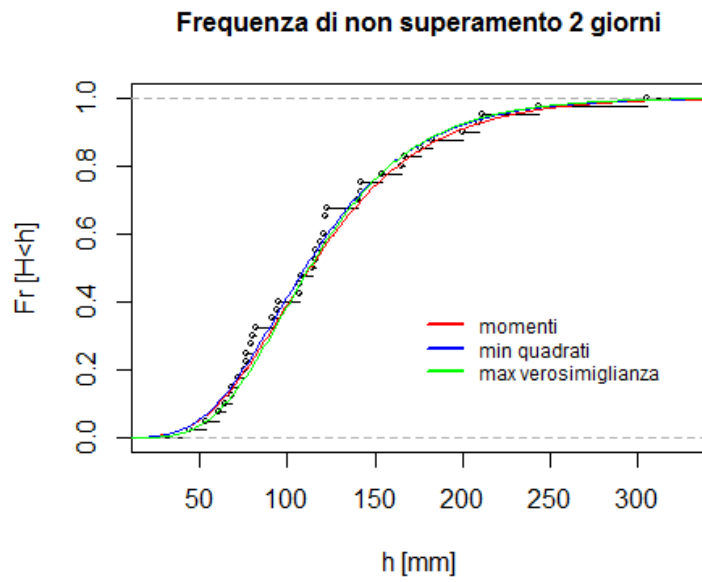


Figura 20: Gumbel 2 giorni

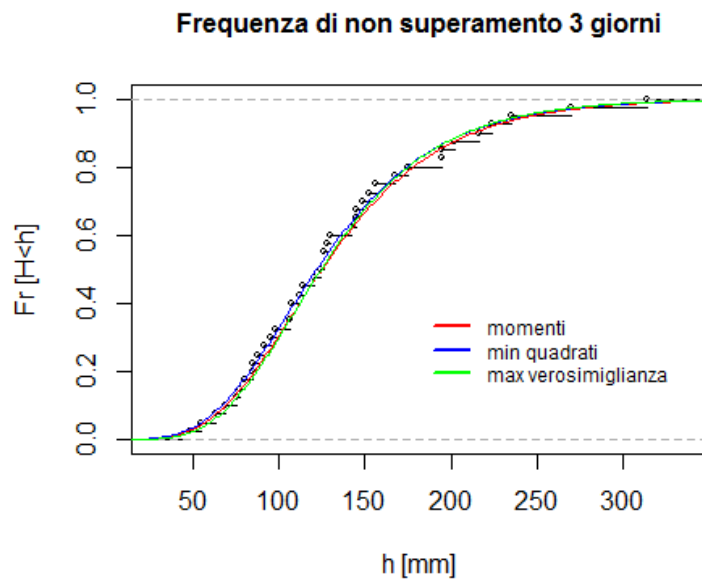


Figura 21: Gumbel 3 giorni

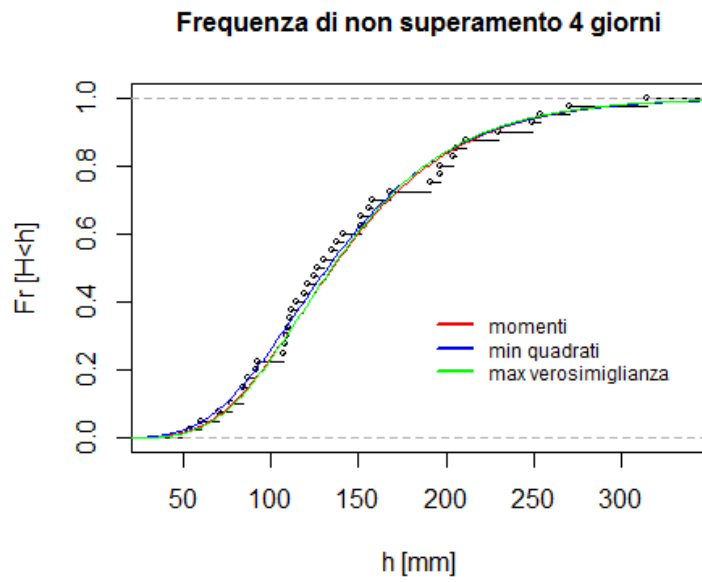


Figura 22: Gumbel 4 giorni

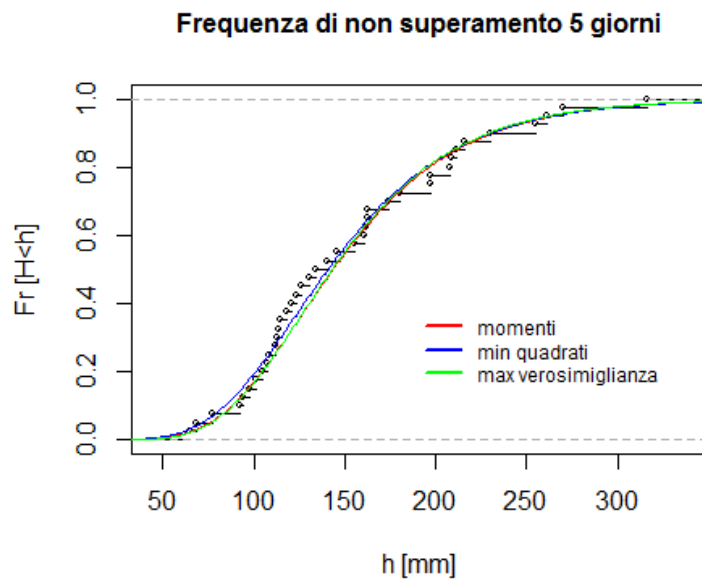


Figura 23: Gumbel 5 giorni

### 3.3 Curve di Gumbel 1-24 ore

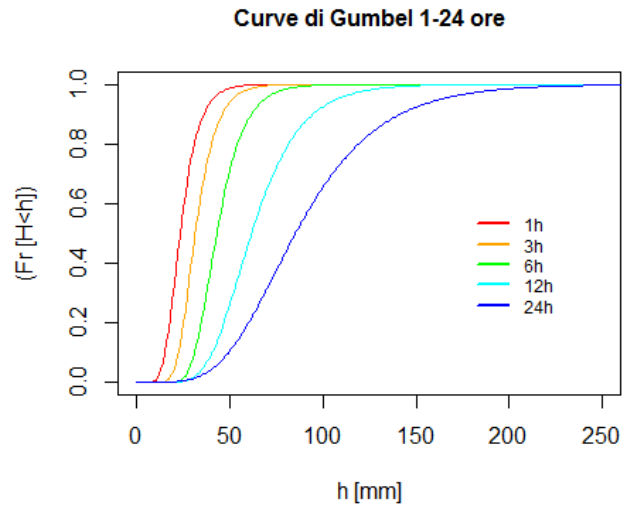


Figura 24: Gumbel 1-24 ore

### 3.4 Curve di Gumbel 1-5 giorni

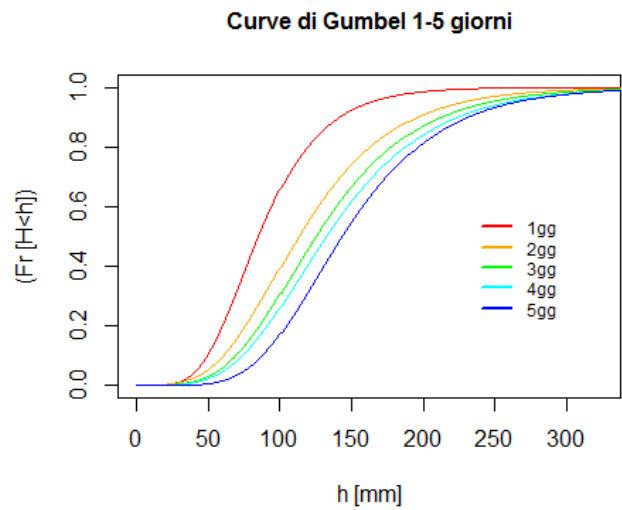


Figura 25: Gumbel 1-5 giorni

### 3.5 Densità cumulata di possibilità pluviometrica 1-24 ore

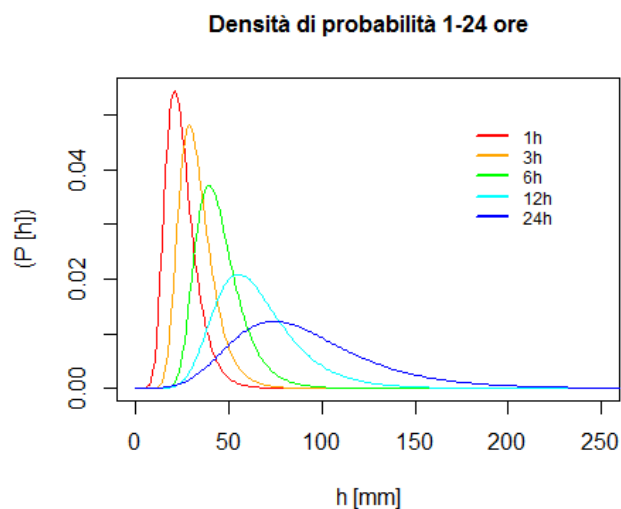


Figura 26: Densità di probabilità 1-24 ore

### 3.6 Densità cumulata di possibilità pluviometrica 1-5 giorni

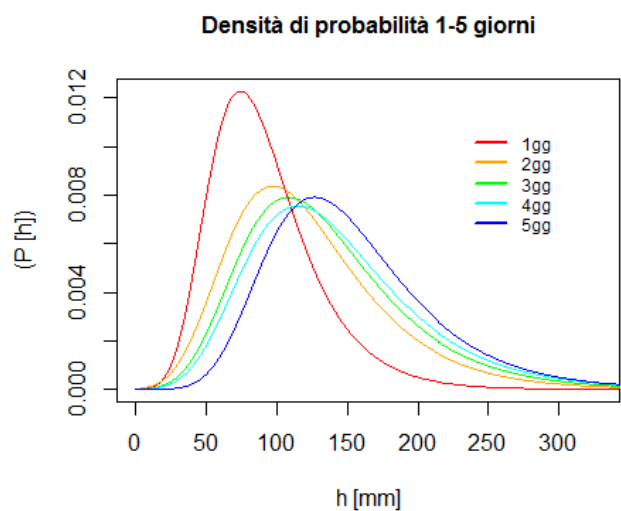


Figura 27: Densità di probabilità 1-5 giorni

## 4 Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica sono delle particolari funzioni che mettono in relazione l'altezza di precipitazione e la sua durata. Esse sono generalmente espresse dalla legge di potenza:

$$h(t_p; T_r) = a(T_r)t_p^n$$

in cui  $h$  è l'altezza di precipitazione,  $t_p$  è il tempo di precipitazione,  $T_r$  il tempo di ritorno ed  $a$  e  $n$  dei parametri che dipendono dalle caratteristiche pluviometriche, con  $n$  che non dipende dal tempo di ritorno.

Esse sono ottenute interpolando le durate con le altezze di precipitazione. I tempi di ritorno considerati sono rispettivamente di 10, 50 e 100 anni.

### 4.1 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-24 ore

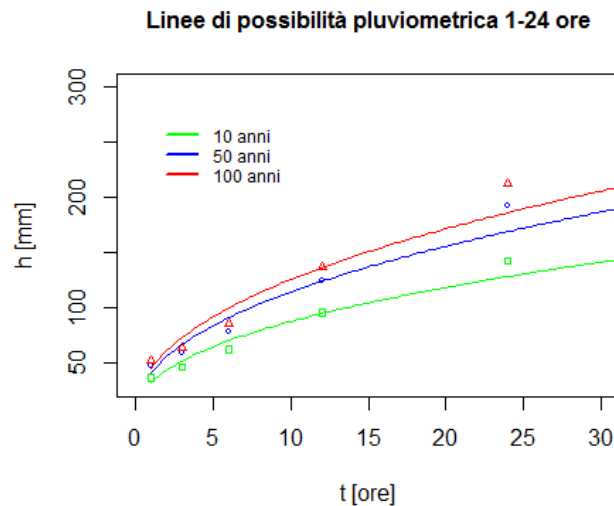


Figura 28: Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-24 ore

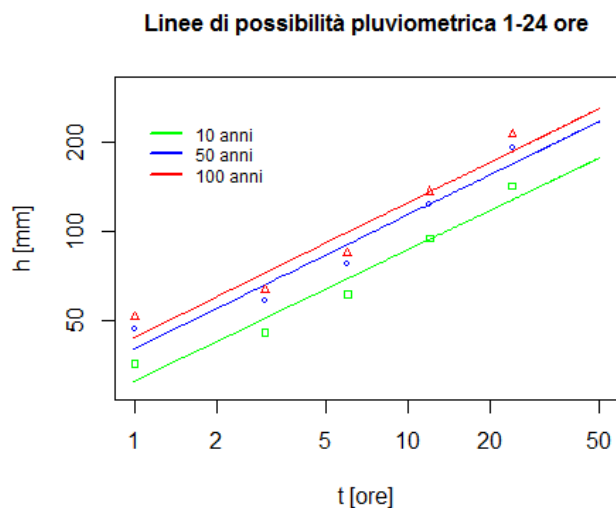


Figura 29: Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-24 ore su un piano bilogarithmico

#### 4.2 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-5 giorni

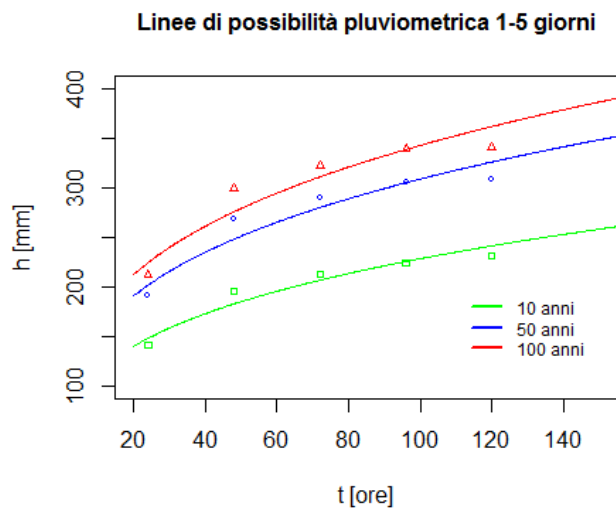


Figura 30: Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-5 giorni

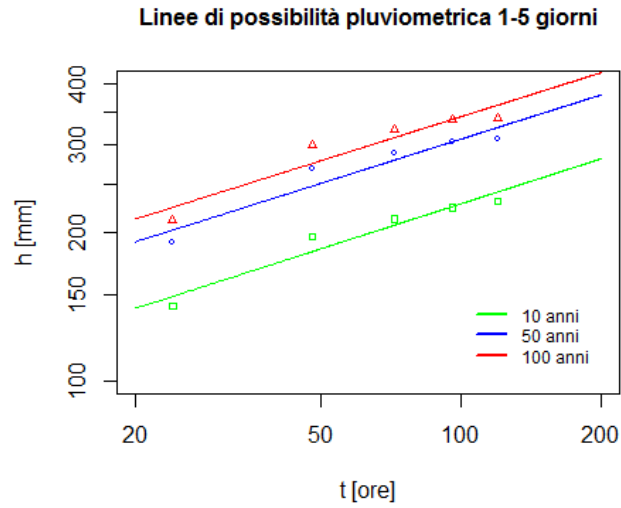


Figura 31: Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica 1-5 giorni su un piano bilogarithmico

## Riferimenti bibliografici

- [1] R. Rigon, *Slides del corso di Idrologia*, Università degli studi di Trento, <http://abouthydrology.blogspot.it/2012/02/il-corso-di-idrologia-2012-my-hydrology.html>.
- [2] Meteotrentino, <http://www.meteotrentino.it/>.
- [3] Wikipedia, *Folgaria*, <https://it.wikipedia.org/wiki/Folgaria>.
- [4] Wikipedia, *Curva di possibilità pluviometrica*, [https://it.wikipedia.org/wiki/Curva\\_di\\_possibilit\\_pluviometrica](https://it.wikipedia.org/wiki/Curva_di_possibilit_pluviometrica).
- [5] L. Pantieri, T. Gordini (2012), *L'arte di scrivere con L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X*.