



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

**Dipartimento di Ingegneria Civile
e Ambientale**

CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

Stazione meteorologica di Fondo

Docente: dott. Rigon Riccardo

Studenti: Pandiani Daniele 159986
Pedron Massimo 157381

INDICE

| | |
|--|----|
| 1. Stazione meteorologica di analisi | 3 |
| 2. Dati di massima precipitazione annuale | 4 |
| 3. Descrizione del procedimento | 6 |
| 4. Cenni di teoria statistica | 7 |
| 4.1 Tempo di ritorno e famiglia delle curve di Gumbel | 7 |
| 4.2 Metodo dei momenti | 8 |
| 4.3 Metodo dei minimi quadrati | 9 |
| 4.4 Metodo della massima verosimiglianza | 9 |
| 4.5 Test di Pearson | 10 |
| 5. Risultati ottenuti | 11 |
| 6. Fonti | 21 |
| 6.1 Fonti internet | 21 |
| 6.2 Fonti | 21 |

1. STAZIONE METEOROLOGICA DI ANALISI

Il lavoro presenta i risultati dell'elaborazione dei dati di precipitazione della stazione meteorologica di Fondo (Trento – 917m s.l.m., Latitudine: 46°26'15.7" N, Longitudine: 11°07'46.7" E). In particolare si mostrano le fasi operative per ottenere le curve di possibilità pluviometrica (*L.S.P.P.*) utilizzando i dati di massima precipitazione annuale forniti da *Meteotrentino*. Essi sono riferiti a un periodo temporale di circa 80 anni (tra il 1921 e il 2002), per intervalli di 15min, 30min, 45min, 1h, 3h, 6h, 12h, 24h e 1 giorno. L'analisi statistica è stata svolta con il software *RStudio*.



Fig.1.1 Posizione della stazione meteorologica di Fondo sulla mappa



Fig.1.2 Stazione meteorologica di Fondo

La stazione meteorologica di Fondo si trova nell'Alta Val di Non, non molto distante della sorgente del Rio di Sies, bacino di cui è stata svolta l'analisi idro-geomorfologica. In realtà la base di raccolta dati più vicina al bacino in questione è quella di Cles. Abbiamo tuttavia scelto di effettuare l'analisi con i valori della stazione di Fondo poiché quest'ultima si trova sullo stesso versante del rio, pertanto analizzare tali dati ci è sembrata una scelta più coerente con il lavoro svolto nella prima parte del semestre.

2. DATI DI MASSIMA PRECIPITAZIONE ANNUALE

Di seguito è riportata la tabella dei dati dei massimi di precipitazione annuali forniti dalla stazione meteorologica di Fondo.

| anno | 15min | 30min | 45min | 1h | 3h | 6h | 12h | 24h | 1gg |
|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 1921 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 35.2 |
| 1922 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 61 |
| 1923 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 52.3 |
| 1924 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 38.2 | 53.2 | 53.2 |
| 1925 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 130 |
| 1926 | NA | NA | NA | NA | NA | 32 | NA | NA | 104.8 |
| 1927 | NA | NA | NA | NA | 29.6 | NA | NA | NA | 48 |
| 1928 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 66.4 |
| 1929 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 40.8 |
| 1930 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 52.9 |
| 1931 | NA | NA | NA | 27.6 | 49.6 | 51.8 | 72.6 | 76.6 | 68.5 |
| 1932 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 35.8 |
| 1933 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 48.2 |
| 1934 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 40 |
| 1935 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 42.6 |
| 1936 | NA | NA | NA | 14.4 | 17.2 | 19 | 19.8 | 22.2 | 36.2 |
| 1937 | NA | NA | NA | 37.2 | 39.4 | 42.2 | 48.2 | 51.6 | 56 |
| 1938 | NA | NA | NA | 25.4 | 31.6 | 32 | 34.8 | 43.8 | 43.8 |
| 1939 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 70.2 |
| 1940 | NA | NA | NA | 18.2 | 24.2 | 38 | 69 | 80.6 | 68.8 |
| 1941 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 42.7 |
| 1942 | NA | NA | NA | 22.4 | 26.2 | 36.8 | 43 | 77.2 | 64.2 |
| 1943 | NA | NA | NA | 24.4 | 25.4 | 25.4 | 31.4 | 47.4 | 45 |
| 1944 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 34.5 |
| 1945 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA |
| 1946 | NA | NA | NA | 19.4 | 20.6 | 31.8 | 50.2 | 50.8 | 49 |
| 1947 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 52 |
| 1948 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 46.7 |
| 1949 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 47.7 |
| 1950 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 61 |
| 1951 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 73.7 |
| 1952 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 48.2 |
| 1953 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 54 |
| 1954 | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | NA | 68 |
| 1955 | NA | NA | NA | 14.8 | 21.0 | 27.0 | 33.2 | 39.0 | 32.8 |
| 1956 | NA | NA | 28.6 | 29.2 | 30.2 | 34.2 | 45.4 | 53.6 | 65 |
| 1957 | 9.0 | 12.0 | NA | 13.0 | 17.2 | 28.0 | 46.4 | 55.4 | 44.2 |
| 1958 | NA | 13.6 | 12.0 | 16.6 | 20.2 | 22.2 | 33.8 | 38.6 | 40.4 |

| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 1959 | NA | NA | NA | 9.2 | 14.4 | 26.4 | 40.4 | 79.4 | 63 |
| 1960 | NA | NA | NA | 17.2 | 27.2 | 33.0 | 46.4 | 63.4 | 61.8 |
| 1961 | NA | 11.4 | NA | 18.6 | 31.2 | 44.8 | 49.4 | 51.2 | 49.4 |
| 1962 | 14.2 | NA | 28.8 | 30.8 | 34.6 | 34.8 | 34.8 | 37.2 | 37.2 |
| 1963 | 12.0 | 21.0 | 22.4 | 23.2 | 31.2 | 32.6 | 32.6 | 46.0 | 34 |
| 1964 | NA | 34 |
| 1965 | NA | 12.0 | 16.0 | 17.2 | 21.2 | 30.8 | 45.6 | 54.4 | 50.6 |
| 1966 | 5.4 | 9.0 | 12.0 | 13.4 | 23.6 | 43.6 | 75.0 | 116.2 | 71.2 |
| 1967 | NA | 12.0 | 13.0 | 19.0 | 22.4 | 27.0 | 33.6 | 33.6 | 38.5 |
| 1968 | 7.2 | 9.4 | 11.2 | 13.0 | 18.2 | 33.0 | 45.6 | 57.8 | 40.8 |
| 1969 | 7.4 | 8.4 | 8.4 | 8.4 | 12.8 | 17.6 | 29.8 | 44.0 | 24.2 |
| 1970 | 6.4 | 9.6 | NA | 11.8 | 15.8 | 17.8 | 18.2 | 34.4 | 34.4 |
| 1971 | 10.2 | 13.8 | NA | 14.0 | 14.8 | 15.4 | 22.6 | 37.5 | 37.5 |
| 1972 | 8.0 | 13.2 | 18.4 | 19.4 | 19.6 | 19.6 | 23.4 | 39.1 | 39.1 |
| 1973 | 13.2 | 19.0 | 19.8 | 19.8 | 29.2 | 30.6 | 30.6 | 49.8 | 46.3 |
| 1974 | NA | 30.4 |
| 1975 | 13.4 | NA | NA | 17.4 | 34.0 | 41.0 | 41.6 | 43.4 | 43.4 |
| 1976 | NA | 7.0 | NA | 11.0 | 19.8 | 30.8 | 46.4 | 74.6 | 61.2 |
| 1977 | 10.8 | 13.4 | 15.4 | 17.8 | 19.0 | 23.8 | 31.0 | 55.2 | 55.2 |
| 1978 | 9.0 | 13.8 | 14.6 | 16.0 | 25.2 | 30.0 | 44.2 | 59.2 | 45.4 |
| 1979 | 12.8 | 13.0 | 13.2 | 13.2 | 17.2 | 22.8 | 45.0 | 82.4 | 82 |
| 1980 | 17.0 | 18.0 | 18.2 | 18.2 | 18.6 | 28.2 | 53.4 | 80.8 | 58 |
| 1981 | 8.4 | 10.2 | 11.6 | 12.2 | 15.6 | 24.4 | 47.4 | 74.4 | 74.4 |
| 1982 | 11.6 | 13.8 | 13.8 | 13.8 | 17.6 | 21.0 | 29.0 | 33.6 | 33.6 |
| 1983 | 9.8 | 12.4 | 13.6 | 14.4 | 18.8 | 27.0 | 33.0 | 51.0 | 51 |
| 1984 | 3.8 | 6.2 | 9.0 | 10.6 | 20.6 | 25.4 | 29.2 | 56.4 | 40.4 |
| 1985 | 13.2 | 16.4 | 22.6 | 26.8 | 33.8 | 43.4 | 58.2 | 60.6 | 44.6 |
| 1986 | 18.8 | 24.6 | 24.6 | 24.6 | 24.8 | 31.2 | 60.4 | 120.2 | 120.2 |
| 1987 | 6.0 | 10.4 | 13.4 | 14.4 | 23.0 | 35.6 | 39.0 | 58.8 | 53.8 |
| 1988 | 10.0 | 16.2 | 24.2 | 29.2 | 36.0 | 36.2 | 36.4 | 55.8 | 46.4 |
| 1989 | 13.8 | 24.0 | 35.0 | 39.8 | 39.8 | 39.8 | 41.0 | 43.4 | 58 |
| 1990 | 9.8 | 15.6 | 16.4 | 18.8 | 21.0 | 21.6 | 38.0 | 53.0 | 52.6 |
| 1991 | NA | NA |
| 1992 | NA | NA |
| 1993 | 20.8 | 32.8 | 35.4 | 40.8 | 54.2 | 54.2 | 58.2 | 76.6 | 61.2 |
| 1994 | 10.8 | 17.8 | 21.6 | 24 | 28.4 | 28.4 | 32 | 35.6 | 35.4 |
| 1995 | NA | NA |
| 1996 | NA | NA |
| 1997 | 7.6 | 10.4 | 12.8 | 13.6 | 22.2 | 31 | 39.4 | 57.6 | 43.2 |
| 1998 | 14.6 | 18.2 | 19.4 | 19.8 | 21.8 | 25.6 | 36 | 45.4 | 34 |
| 1999 | 10.2 | 10.4 | 10.4 | 11 | 21.8 | 34.8 | 59.8 | 67.6 | 61.2 |
| 2000 | 13.8 | 15 | 15.6 | 15.8 | 25.6 | 41 | 48.4 | 52.4 | 49.8 |
| 2001 | 16.8 | 23.4 | 26.8 | 28.4 | 29.2 | 29.6 | 34.4 | 41.6 | 39 |
| 2002 | 6.2 | 7.6 | 9.6 | 11 | 18.6 | 31.6 | 53.4 | 96.4 | 74.4 |

Tab.2.1 Tabella contenente i dati di massima precipitazione annuale

3. DESCRIZIONE DEL PROCEDIMENTO

La prima operazione, per ottenere un risultato migliore delle analisi statistiche (in particolare per il calcolo dei tempi di ritorno), è stata verificare i valori delle massime precipitazioni annuali forniti dalla banca dati, in modo che non fossero decrescenti all'aumentare della durata di misura della precipitazione.

Per avere una visione più chiara dei dati forniti dalla stazione meteorologica è stato creato il grafico (fig.3.1 e 3.2) dei dati presentati in tabella (tab.2.1). Esso mostra l'altezza di precipitazione massima annuale per ogni fascia oraria (mm) in funzione del tempo (anni). Per iniziare l'analisi statistica è stato necessario calcolare i parametri a e b che caratterizzano la *curva di Gumbel*. A tale scopo sono stati utilizzati il metodo dei momenti, il metodo della massima verosimiglianza e il metodo dei minimi quadrati. Per valutare i risultati più accurati occorre applicare il *test di Pearson*, che indica quale dei tre metodi utilizzati risulta più preciso per ogni intervallo temporale (viene calcolato χ^2 per ogni metodo e viene scelto quello che fornisce il valore più basso), ossia quello che descrive la curva che meglio interpola la distribuzione dei valori tabulati.

A questo punto si tracciano il grafico delle densità di probabilità delle *curve di Gumbel* (fig.5.10) e delle distribuzioni delle *curve di Gumbel* per le fasce di 15min, 30min, 45min, 1h, 3h, 6h, 12h, 24h. È grazie ai valori interpolati dalle probabilità cumulate relative ai tempi di ritorno equivalenti a 10, 50 e 100 anni (figg.5.11,5.12 e 5.13) con le curve della distribuzione che è possibile ottenere i dati da utilizzare per disegnare le *L.S.P.P.* (linee segnalatrici di possibilità pluviometrica) relative ai tempi di 15min, 30min, 45min, 1h, 3h, 6h, 12h e 24h.

Nel lavoro sono stati utilizzati anche i dati di precipitazione corrispondenti ad un giorno (1gg). Tuttavia per evitare una probabile ridondanza di informazioni visti i valori simili ai dati riferiti alle 24h, si è deciso di trascurarli nella produzione delle *L.S.P.P.*

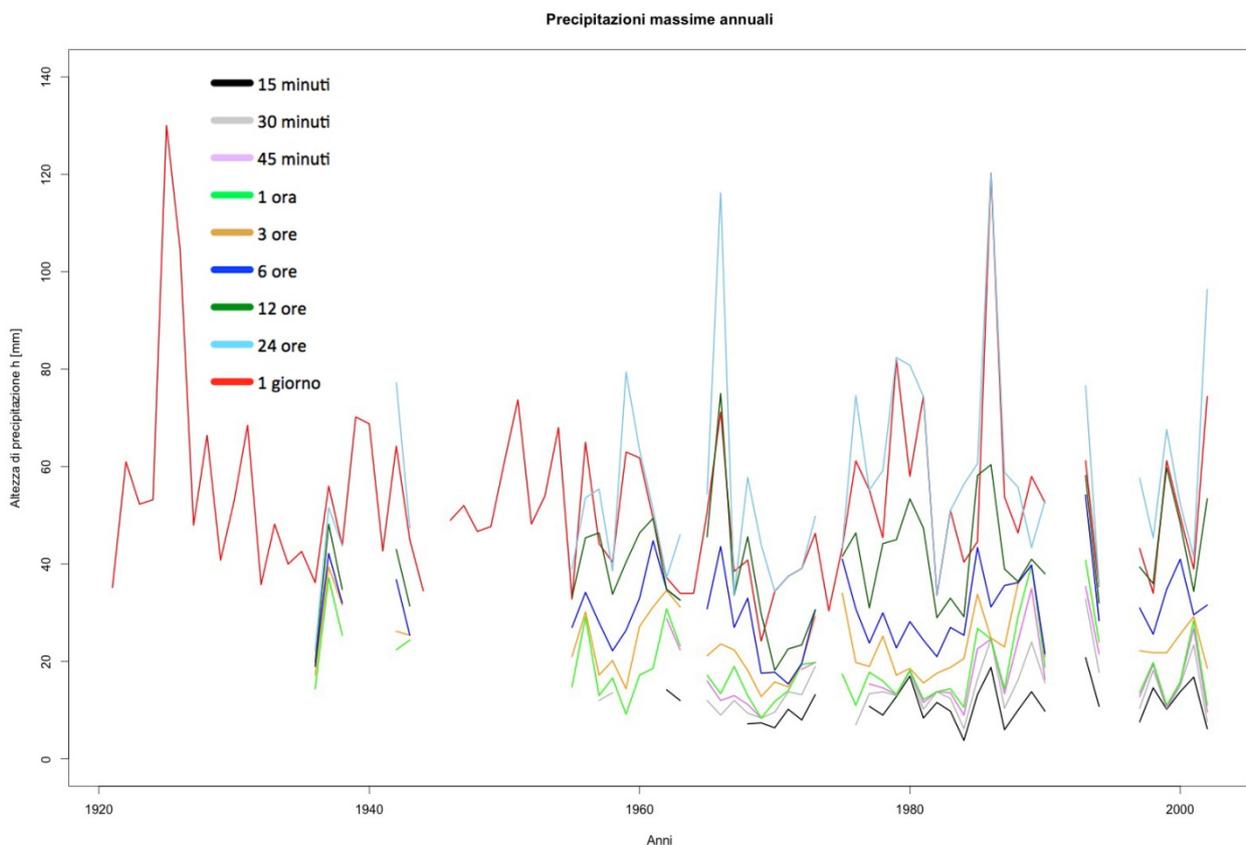


Fig.3.1 Grafico delle precipitazioni massime annuali per ogni intervallo di tempo

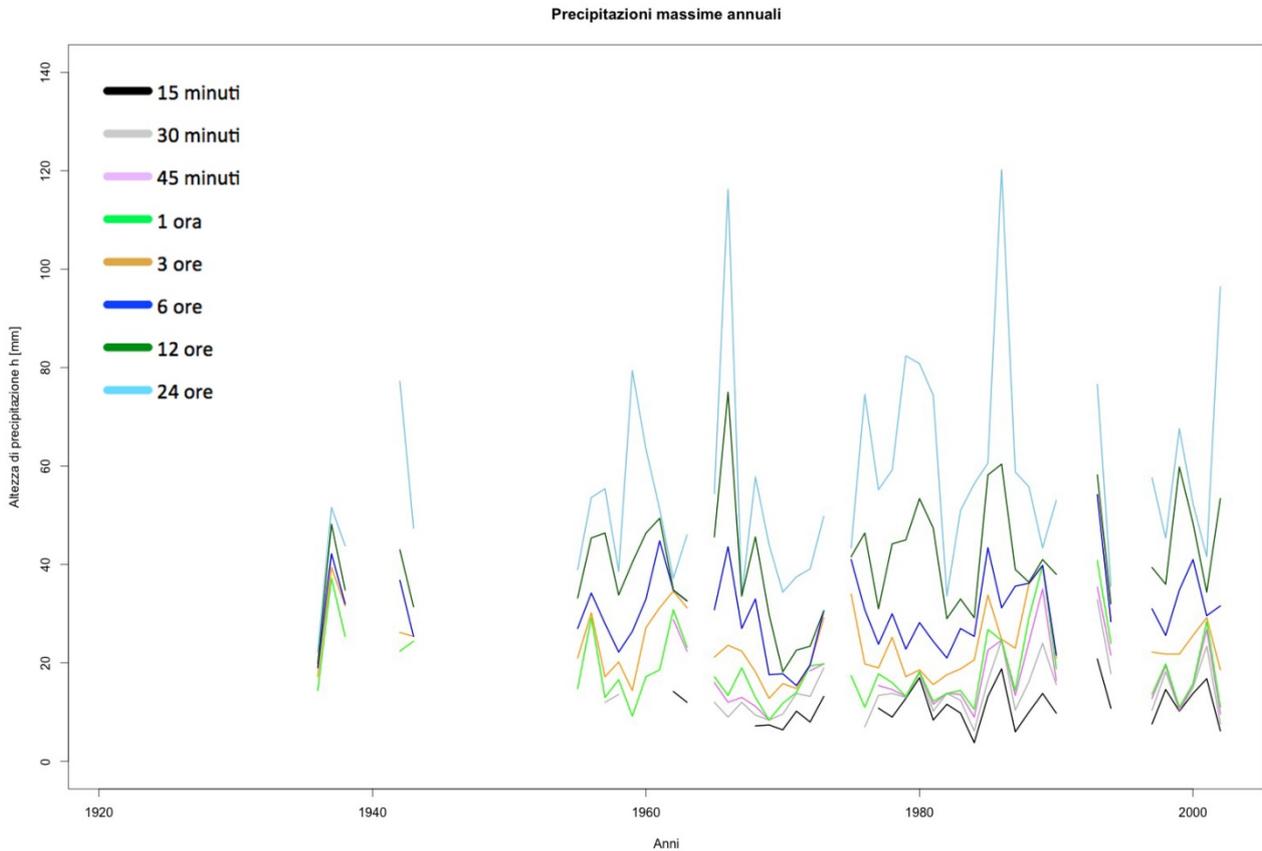


Fig.3.2 Grafico delle precipitazioni massime annuali per tutti gli intervalli di tempo escluso 1 giorno

4. CENNI DI TEORIA

4.1 Tempo di ritorno e famiglia delle curve di Gumbel

Si definisce tempo di ritorno il tempo medio che intercorre tra due eventi di eguali caratteristiche (altezza e durata) come ad esempio eventi atmosferici estremi.

Siano T l'intervallo di tempo in cui viene fatta la campagna di misurazione, n le misurazioni fatte nell'intervallo di tempo, m il tempo di campionamento della singola misura e l il numero di eventi estremi che avvengono nell'intervallo di tempo. Il tempo di ritorno come

$$Tr := \frac{T}{l} = \frac{mn}{l}$$

Si definisce frequenza di superamento

$$Fr(H > h) := \frac{l}{n}$$

Dove $Fr(H \leq h)$ rappresenta la frequenza di misure di H (altezza di precipitazione [mm]) inferiori o uguali ad una data h stabilita.

La frequenza di superamento è complementare alla frequenza di non superamento, vale dunque la relazione

$$Fr(H > h) = 1 - Fr(H \leq h)$$

Sostituendo quest'ultima espressione nella formula del tempo di ritorno si ottiene

$$Tr = \frac{m}{Fr(H > h)} = P \frac{m}{1 - Fr(H \leq h)} = \frac{m}{1 - ECDF(h)}$$

Il denominatore rappresenta la frequenza di quelle misure di altezza di precipitazione che superano quella di riferimento h . Questa è anche definita come ECDF (*Empirical Cumulated Distribution Function*).

Verranno poi interpolate le frequenze empiriche su particolari famiglie di distribuzioni di probabilità, quindi il tempo di ritorno si può riscrivere come

$$Tr = \frac{m}{1 - P(H \leq h)}$$

Nel nostro caso la famiglia di curve scelta per descrivere la relazione tra assegnati tempi di ritorno T e corrispettive altezze di precipitazione H è la famiglia delle *curve di Gumbel*, che assumono la seguente espressione

$$P[H < h, a, b] = e^{-e^{-\frac{h-a}{b}}}$$

Dove i parametri a e b sono quei coefficienti che dovranno essere calcolati mediante il metodo dei momenti, della massima verosimiglianza e dei minimi quadrati. Infine, con il *test di Pearson*, si sceglieranno tra i diversi parametri a e b ottenuti, quelli più corretti per interpolare la nostra distribuzione di dati.

4.2 Metodo dei momenti

Il metodo dei momenti in statistica è un metodo di ricerca degli stimatori. In base a questo metodo uno stimatore deve soddisfare una condizione che caratterizza uno o più suoi momenti campionari. Si impone l'uguaglianza tra il momento campionario e la sua controparte, non osservabile, che caratterizza la popolazione (ad esempio tra media campionaria e valore atteso per la popolazione), determinando lo stimatore come soluzione del sistema di equazioni che ne risulta.

Poiché la *curva di Gumbel* è caratterizzata da due soli parametri (a e b), è sufficiente operare con due soli momenti, nel nostro caso media e varianza.

Siano

$$M_H[1, \theta] = E_H[h] = \int_{-\infty}^{\infty} h p d f_H(h, \theta) dh$$

la media della popolazione e

$$M_H[t, \theta] = \int_{-\infty}^{\infty} (h - E_H(h))^t p d f_H(h, \theta) dh$$

il momento di ordine t (ovvero la varianza se $t = 2$). Con $p d f_H(h, \theta)$ si intende la funzione di distribuzione di probabilità.

Applicato alla *curva di Gumbel* il metodo consiste nel risolvere il sistema

$$\begin{aligned} E(h^*) &= b\gamma + a \\ Var(h^*) &= b^2 \frac{\pi^2}{6} \end{aligned}$$

e trovare i parametri a e b sono i parametri incogniti.

Dove $E(h^*) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i^*$ è la stima della media campionaria e $Var(h^*) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (E(h^*) - h_i^*)^2$ è la miglior stima della varianza campionaria (queste possono essere calcolate rispettivamente con i comandi `mean()` e `var()` presenti nel pacchetto “`evd`” di R).

4.3 Metodo dei minimi quadrati

Il metodo dei minimi quadrati è una tecnica di ottimizzazione che permette di trovare una funzione che si avvicini il più possibile ad un’interpolazione di un insieme di dati. In particolare la funzione trovata deve essere quella che minimizza la somma dei quadrati delle distanze dai punti dati.

Siano (x_i, y_i) i punti che rappresentano i dati in input. Si vuole trovare una funzione $f(x)$ tale che approssimi la successione di punti data. Questa può essere determinata minimizzando la distanza (euclidea) tra le due successioni y_i e $f(x_i)$, ovvero la quantità

$$\sum_{i=1}^n (y_i - f(x_i))^2$$

La funzione $f(x)$ di solito è parametrica tale per cui il numero di parametri da stimare sia minore dei dati disponibili.

In idrologia questo metodo è usato per determinare i parametri della *curva di Gumbel*. In questo caso si tratta di definire lo scarto quadratico medio e di minimizzarlo.

Si consideri allora una serie di n misure $h = h_1, \dots, h_n$ si definisce scarto quadratico medio la quantità

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

Dove F_i rappresenta la frequenza empirica di non superamento.

Il minimo si ottiene imponendo nulle le derivate parziali dello scarto quadratico medio rispetto ai parametri (nel nostro caso i parametri a e b della *curva di Gumbel*).

4.4 Metodo della massima verosimiglianza

Il metodo di massima verosimiglianza in statistica è un procedimento matematico per determinare uno stimatore. Il metodo consiste nel massimizzare la funzione di verosimiglianza, definita in base alla probabilità di osservare una data realizzazione campionaria, condizionatamente ai valori assunti dai parametri oggetto di stima.

Il metodo si fonda sulla valutazione della probabilità (composta) di ottenere la serie temporale registrata

$$P[\{h_1, \dots, h_n\}, a, b]$$

Che in caso di indipendenza dei dati osservati diventa

$$P[\{h_1, \dots, h_n\}, a, b] = P[\{h_1, \dots, h_n\} | a, b] = \prod_{k=1}^n P[h_k | a, b]$$

La precedente probabilità si chiama anche funzione di verosimiglianza ed è funzione dei parametri a e b . Per semplificare i calcoli si definisce anche la funzione detta di log-verosimiglianza.

$$\log(P[\{h_1, \dots, h_n\}, a, b]) = \log \left(\prod_{k=1}^n P[h_k | a, b] \right)$$

Imponendo nulle le derivate rispetto ai parametri a e b della funzione di log-verosimiglianza, si trovano i valori dei parametri.

4.5 Test di Pearson

Il *test di Pearson* è un test non parametrico utilizzato per determinare quale metodo approssima meglio i parametri di una distribuzione che consiste in varie fasi:

1. Suddividere il campo di probabilità in k parti;
2. Derivare una suddivisione del dominio;
3. Contare il numero di dati presenti in ciascuna suddivisione;
4. Calcolare la funzione.

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

Una volta applicato il *test di Pearson* ai tre metodi usati per stimare i parametri a e b della *curva di Gumbel* vanno scelti gli outputs del metodo con χ^2 minore.

5. RISULTATI OTTENUTI

Nella tab.5.1 sono riportati i valori dei parametri a e b calcolati con i tre metodi sopra citati e il corrispondente valore di χ^2 .

| FASCIA DI TEMPO | METODO DEI MOMENTI | | | METODO DEI MINIMI QUADRATI | | | METODO DI MASSIMA VEROSIMIGLIANZA | | |
|-----------------|--------------------|----------|-----------|----------------------------|----------|-----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| | a | b | χ^2 | a | b | χ^2 | a | b | χ^2 |
| 15 minuti | 9.180472 | 3.099754 | 1.645546 | 9.10345 | 3.357036 | 0.4701561 | 8.862685 | 3.336782 | 0.7640037 |
| 30 minuti | 11.76919 | 4.394137 | 0.3780864 | 11.85707 | 4.090823 | 3.618827 | 11.28193 | 4.861132 | 0.2700617 |
| 45 minuti | 14.56823 | 5.619897 | 1.351699 | 14.61171 | 5.222128 | 3.114784 | 14.09901 | 5.872711 | 1.645546 |
| 1 ora | 15.75959 | 5.967297 | 2.548 | 15.8433 | 5.510008 | 3.332 | 15.29521 | 6.139181 | 3.332 |
| 3 ore | 21.15216 | 6.673001 | 1.999231 | 21.31731 | 6.04404 | 2.191465 | 20.67511 | 6.835721 | 2.575932 |
| 6 ore | 27.30339 | 6.567277 | 0.8458285 | 27.12314 | 7.242975 | 1.038062 | 26.83524 | 6.84288 | 0.6535948 |
| 12 ore | 36.07622 | 9.814288 | 2.575932 | 35.87156 | 10.65792 | 3.729335 | 35.41695 | 10.14373 | 2.575932 |
| 24 ore | 48.08472 | 15.54724 | 6.612841 | 48.3281 | 14.90995 | 4.690504 | 47.10217 | 15.81044 | 6.612841 |
| 1 giorno | 44.12812 | 14.32618 | 1.102378 | 44.84638 | 12.35779 | 1.102378 | 43.36486 | 14.35425 | 0.2050936 |

Tab.5.1 Tabella contenente i valori dei parametri a e b e il valore del χ^2

Come si può notare, nella fascia 12 ore, il valore di χ^2 minore è uguale sia per il metodo dei momenti che per la massima verosimiglianza. Per ovviare al problema, è stata ripetuta l'operazione di calcolo dei parametri rimuovendo il valore massimo e il valore minimo. Nella tab.5.2 sono contenuti i nuovi valori, ricalcolati per le 12 ore.

| FASCIA DI TEMPO | METODO DEI MOMENTI | | | METODO DEI MINIMI QUADRATI | | | METODO DI MASSIMA VEROSIMIGLIANZA | | |
|----------------------|--------------------|----------|----------|----------------------------|----------|-----------|-----------------------------------|----------|-----------|
| | a | b | χ^2 | a | b | χ^2 | a | b | χ^2 |
| 12 ore (ricalcolato) | 36.40335 | 8.903976 | 1.879217 | 35.77462 | 9.211451 | 2.6788838 | 36.20118 | 9.675374 | 3.0787172 |

Tab.5.2 Tabella contenente i valori dei parametri a e b e il valore del χ^2 ricalcolato per le 12 ore

Infine nella tab.5.3 sono presenti i valori di a e b corrispondenti al valore di χ^2 minore, che sono stati utilizzati per produrre i grafici delle densità di probabilità di precipitazione delle *curve di Gumbel* (fig.5.10) e delle distribuzioni delle *curve di Gumbel* approssimanti le precipitazioni. Su quest'ultimo sono state tracciate le rette di interpolazione corrispondenti ai tempi di ritorno di 10 (fig.5.11), 50 (fig.5.12) e 100 anni (fig.5.13).

| FASCIA DI TEMPO | a | b | χ^2 | METODO |
|-----------------|----------|----------|-----------|-------------------------|
| 15 minuti | 8.862685 | 3.336782 | 0.4701561 | Minimi quadrati |
| 30 minuti | 11.85707 | 4.090823 | 0.2700617 | Massima verosimiglianza |
| 45 minuti | 14.56823 | 5.619897 | 1.351699 | Momenti |
| 1 ora | 15.75959 | 5.967297 | 2.548 | Momenti |
| 3 ore | 21.15216 | 6.673001 | 1.999231 | Momenti |
| 6 ore | 27.12314 | 7.242975 | 0.6535948 | Massima verosimiglianza |
| 12 ore | 36.40335 | 8.903976 | 1.879217 | Momenti |
| 24 ore | 47.10217 | 15.81044 | 4.690504 | Minimi quadrati |
| 1 giorno | 44.84638 | 12.35779 | 0.2050936 | Massima verosimiglianza |

Tab.5.3 Tabella contenente i valori dei parametri a e b corrispondenti al valore del χ^2 minore

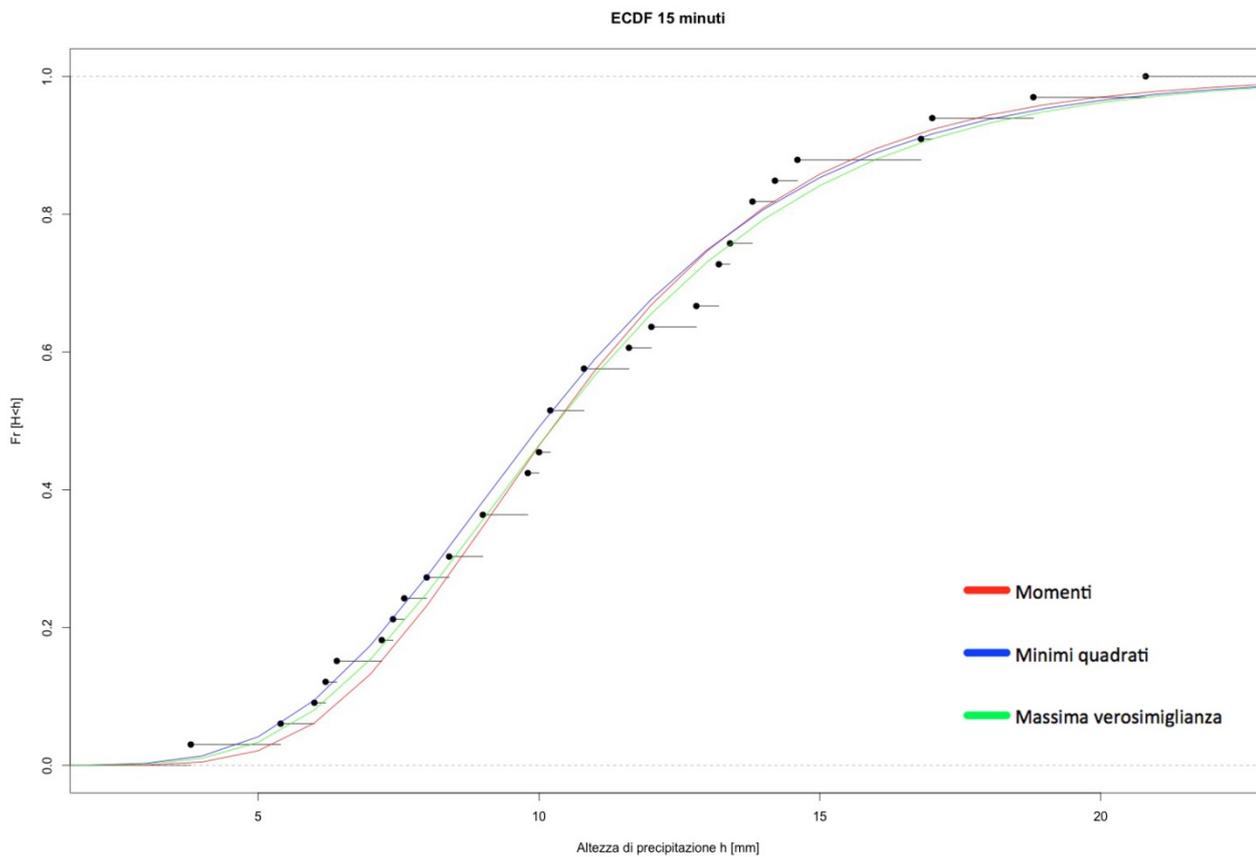


Fig.5.1 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 15 minuti

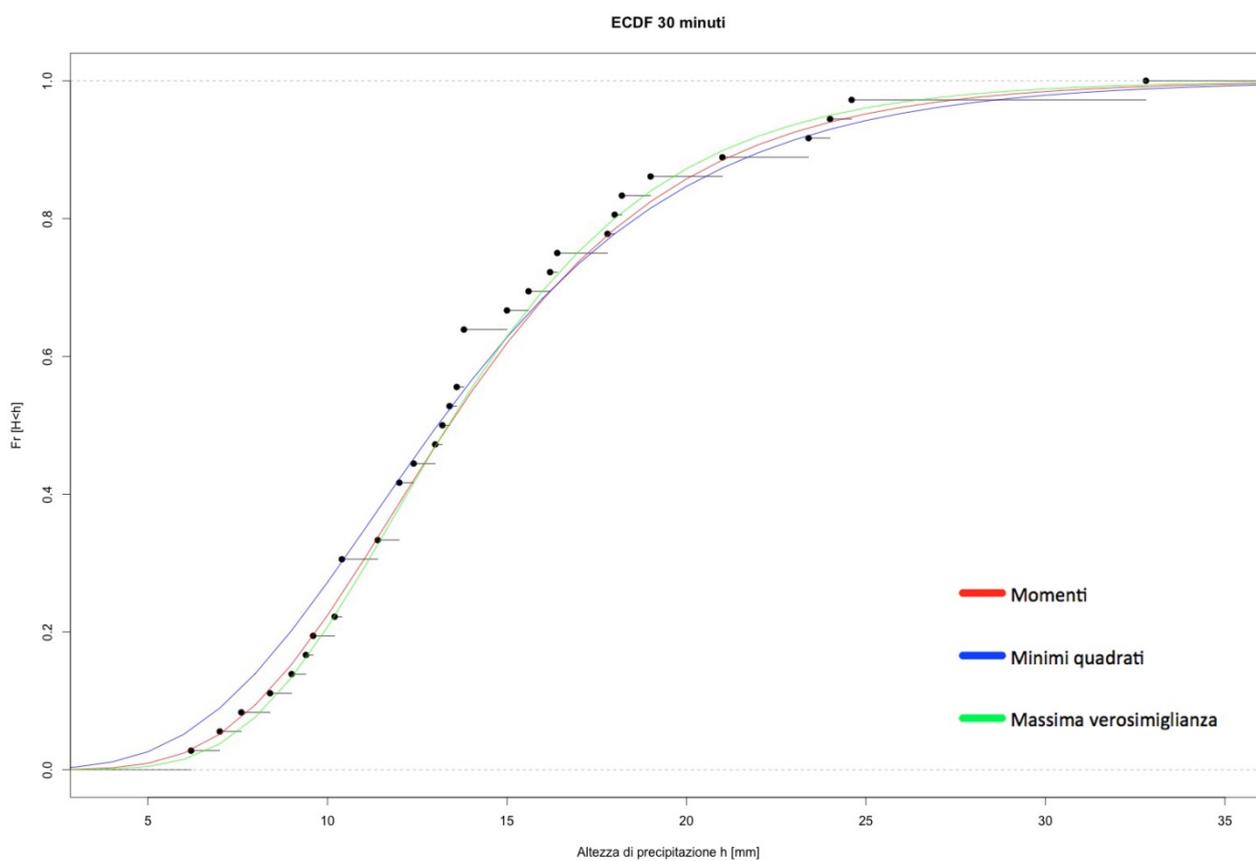


Fig.5.2 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 30 minuti

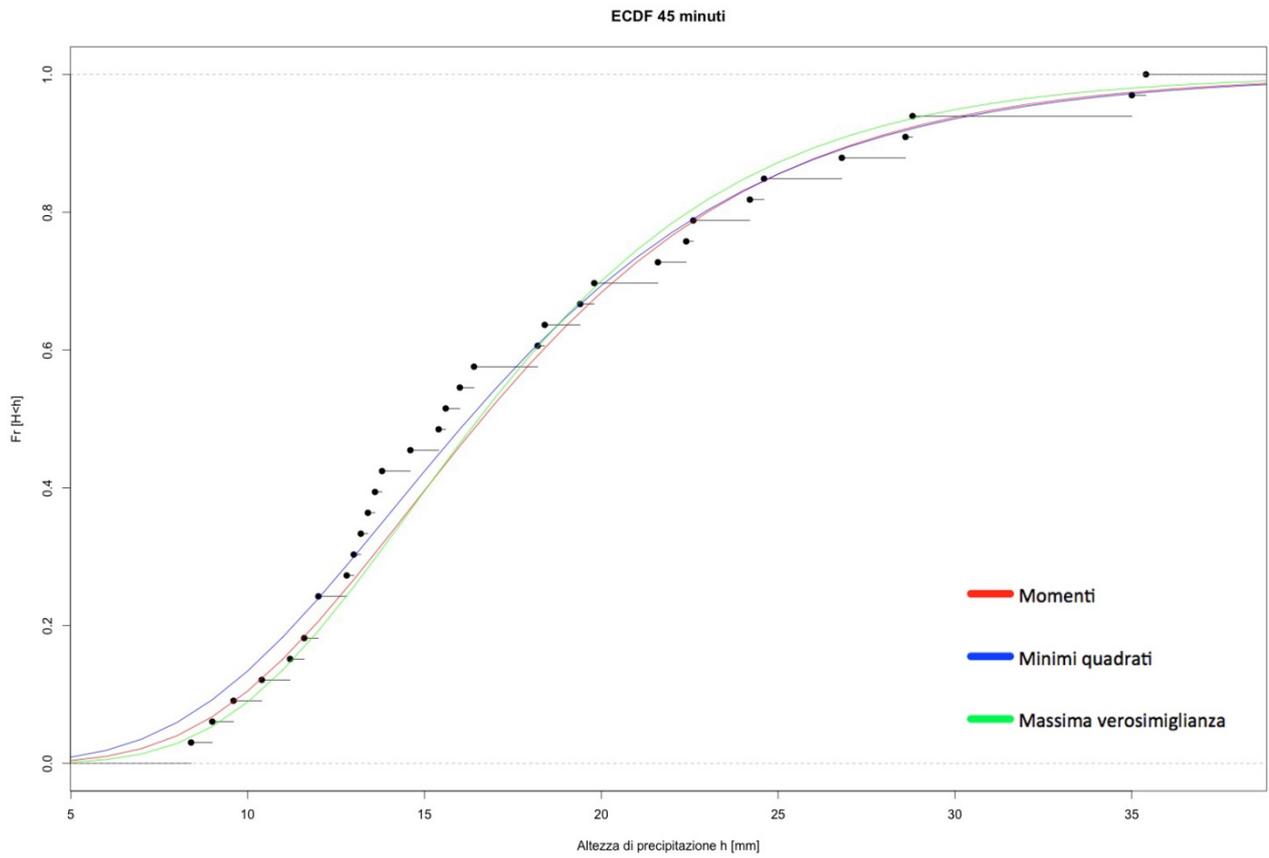


Fig.5.3 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 45 minuti

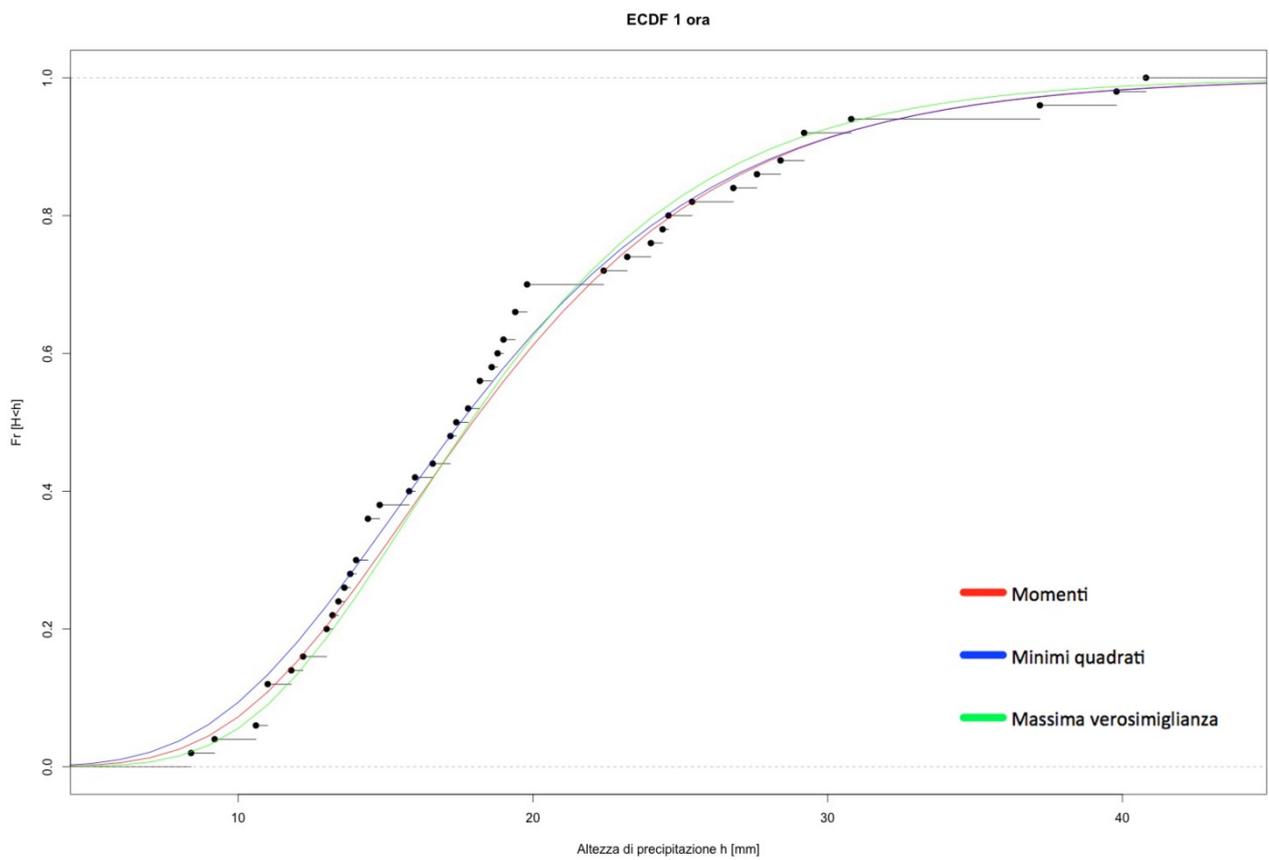


Fig.5.4 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 1 ora

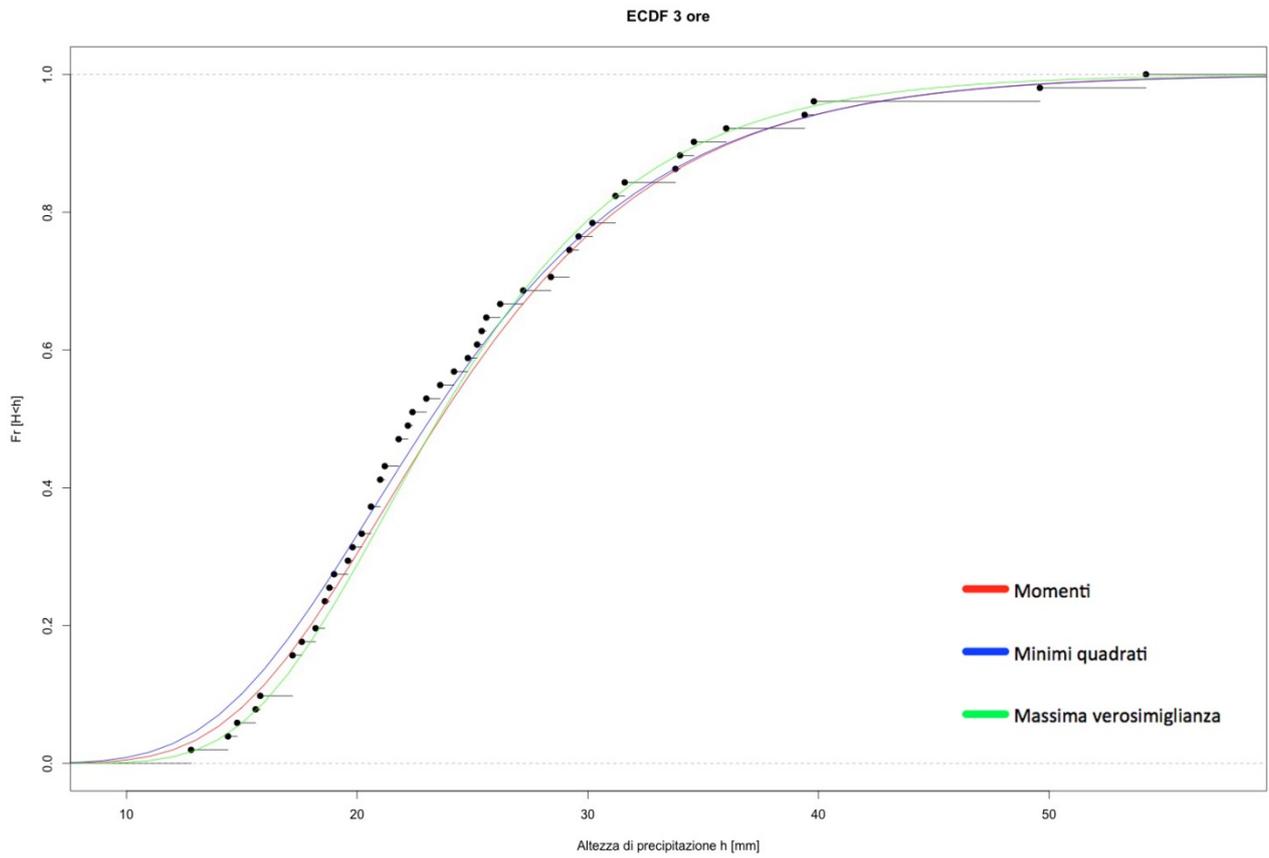


Fig.5.5 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 3 ore

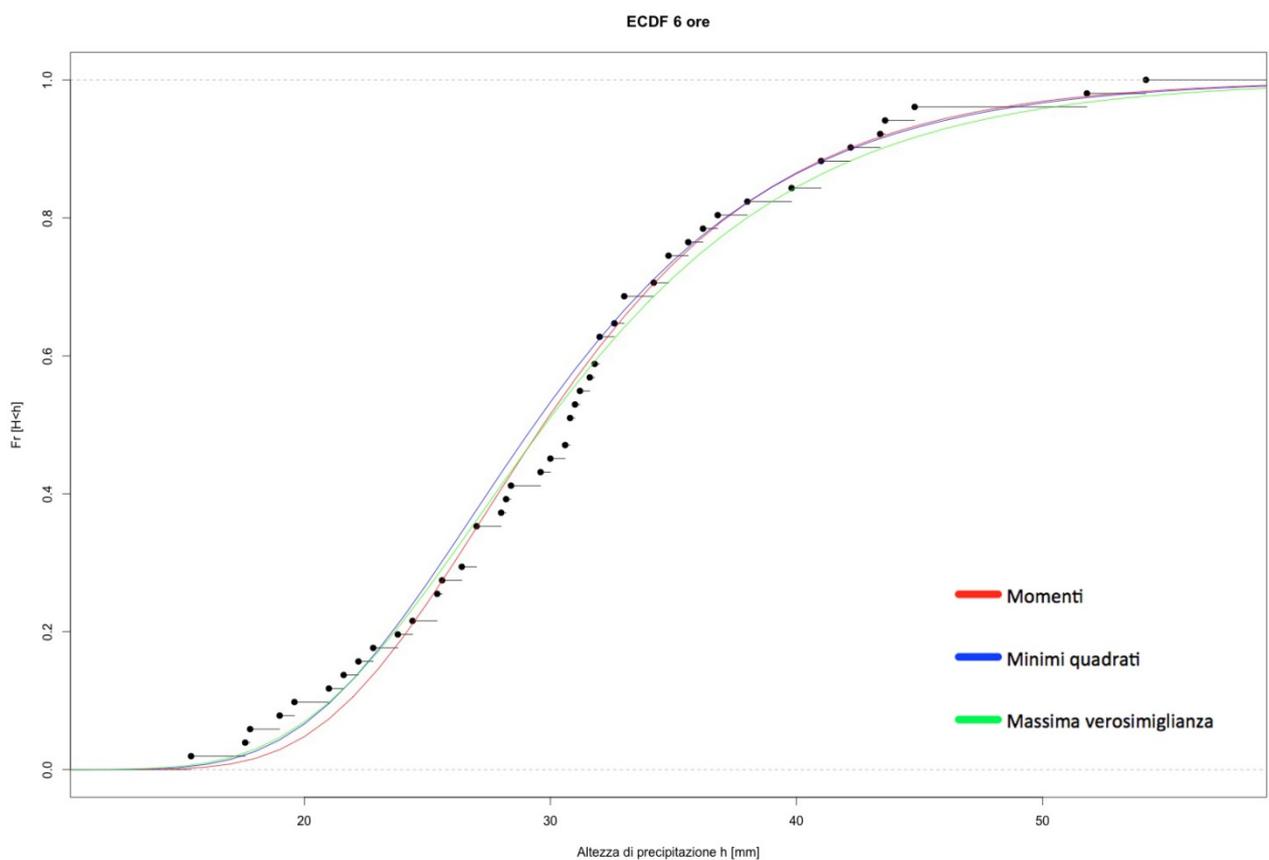


Fig.5.6 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 6 ore

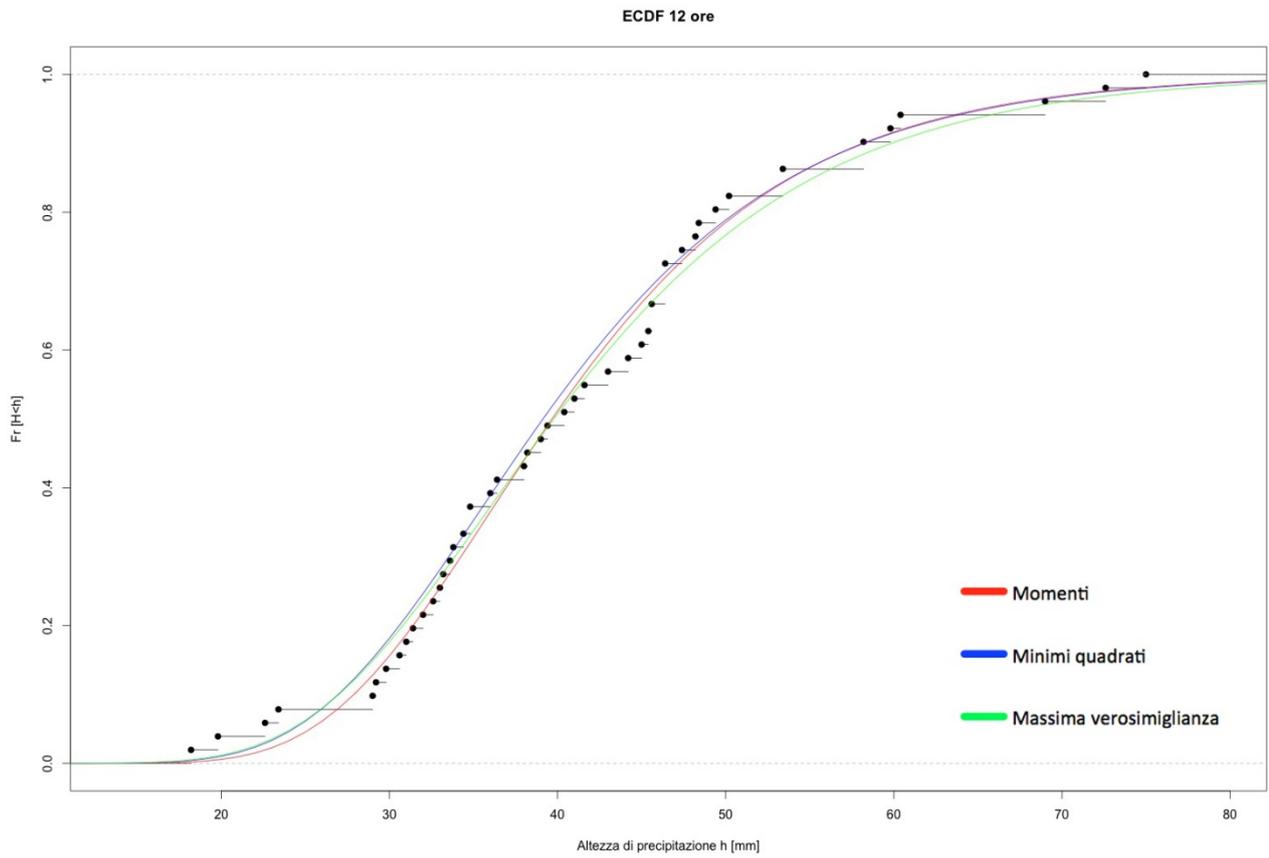


Fig.5.7 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 12 ore

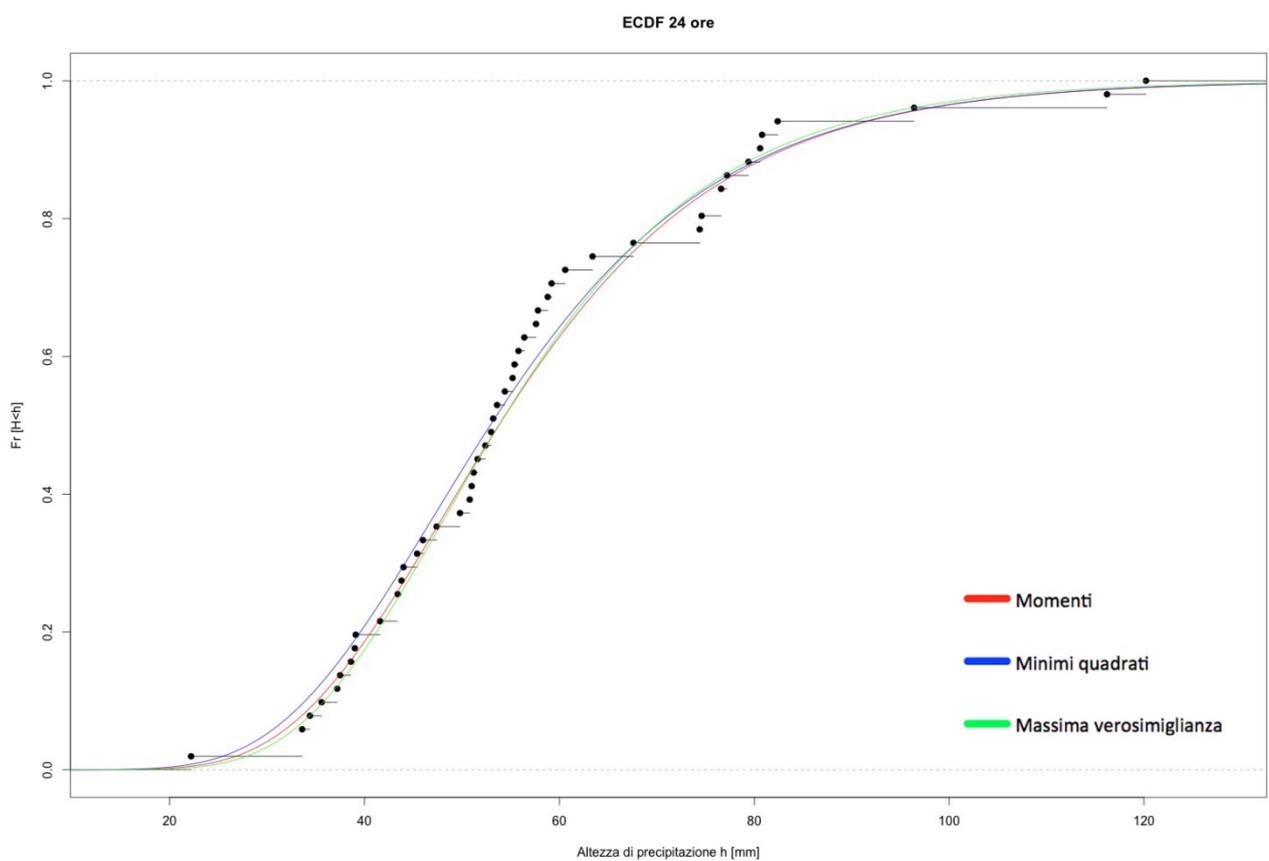


Fig.5.8 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 24 ore

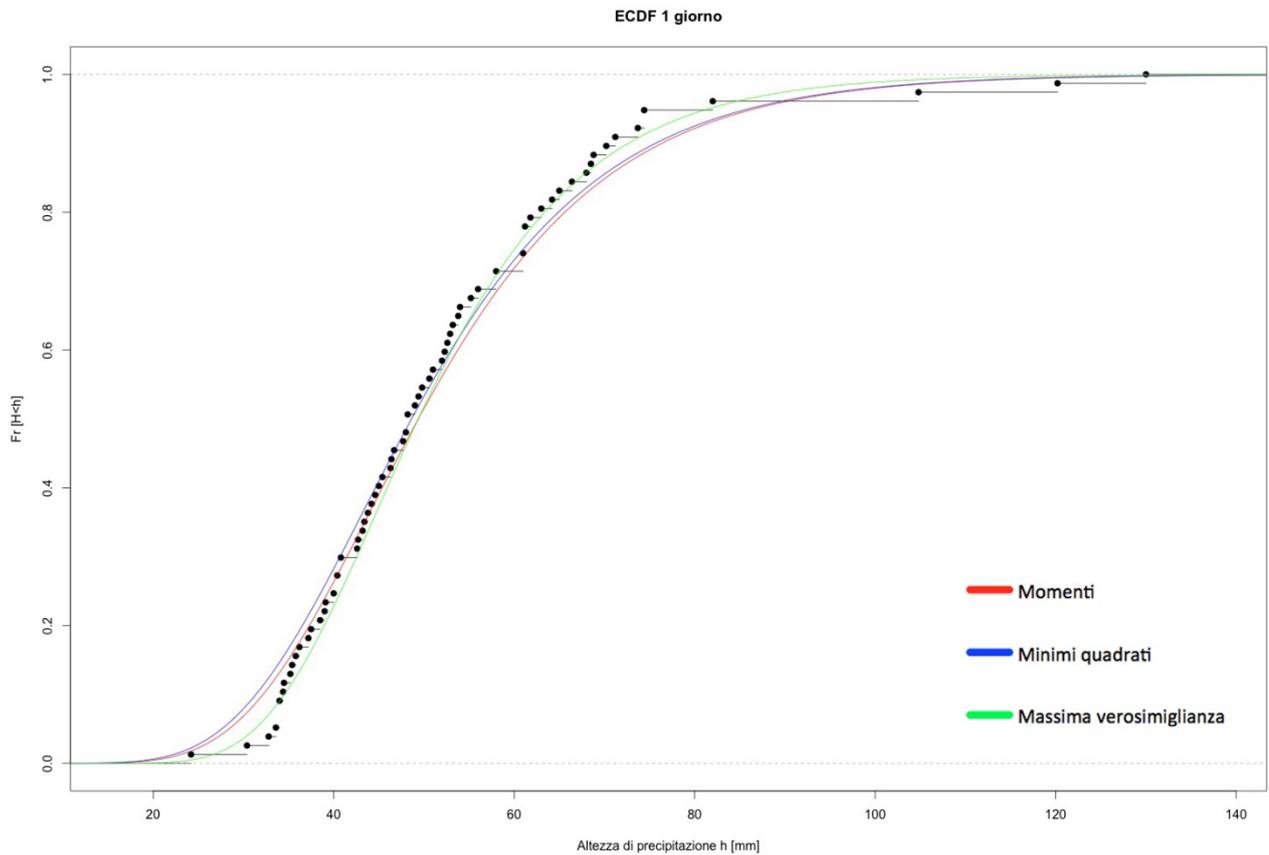


Fig.5.9 Grafico della funzione di distribuzione empirica cumulata per 1 giorno

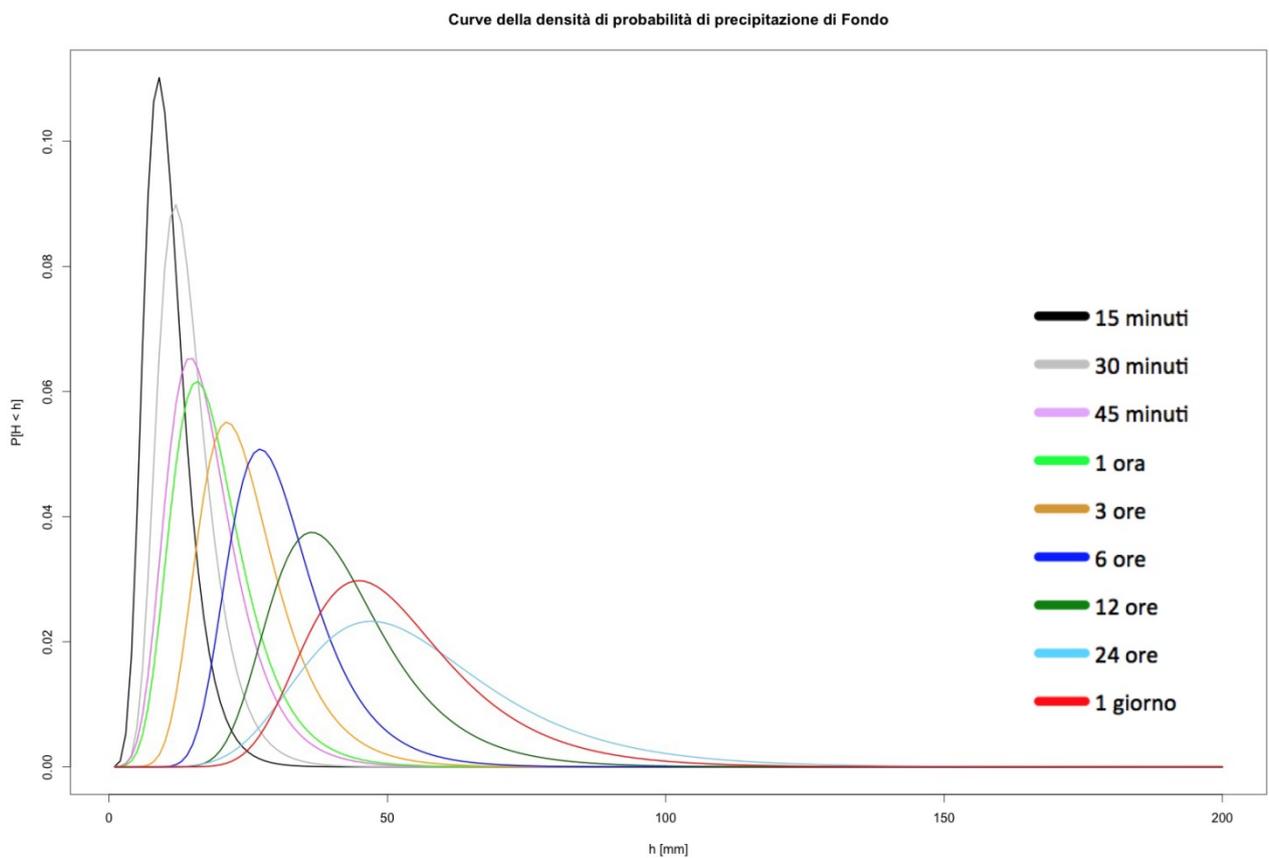


Fig.5.10 Grafico delle densità di probabilità di precipitazione delle *curve di Gumbel* di Fondo

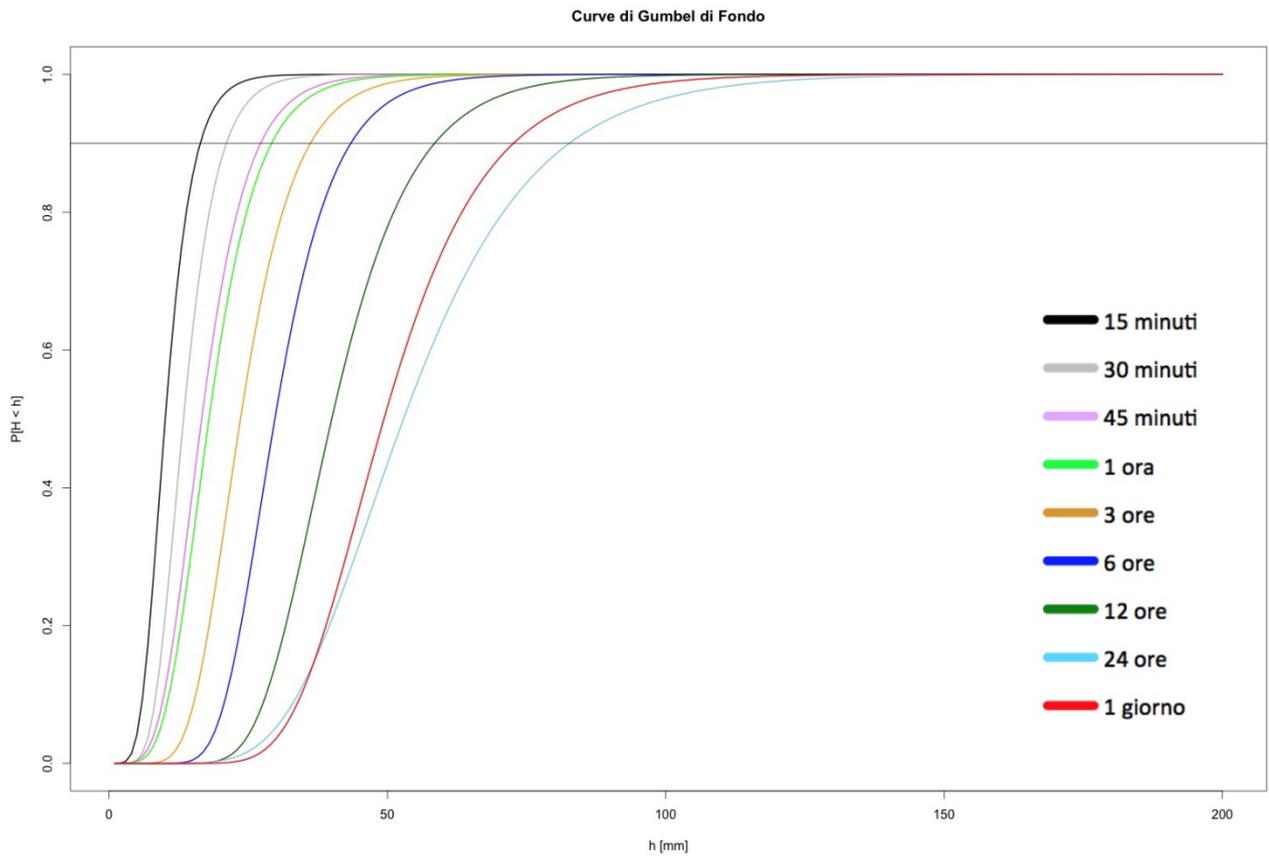


Fig.5.11 Grafico della distribuzione delle *curve di Gumbel* approssimanti le precipitazioni cumulate ($t_r=10$)

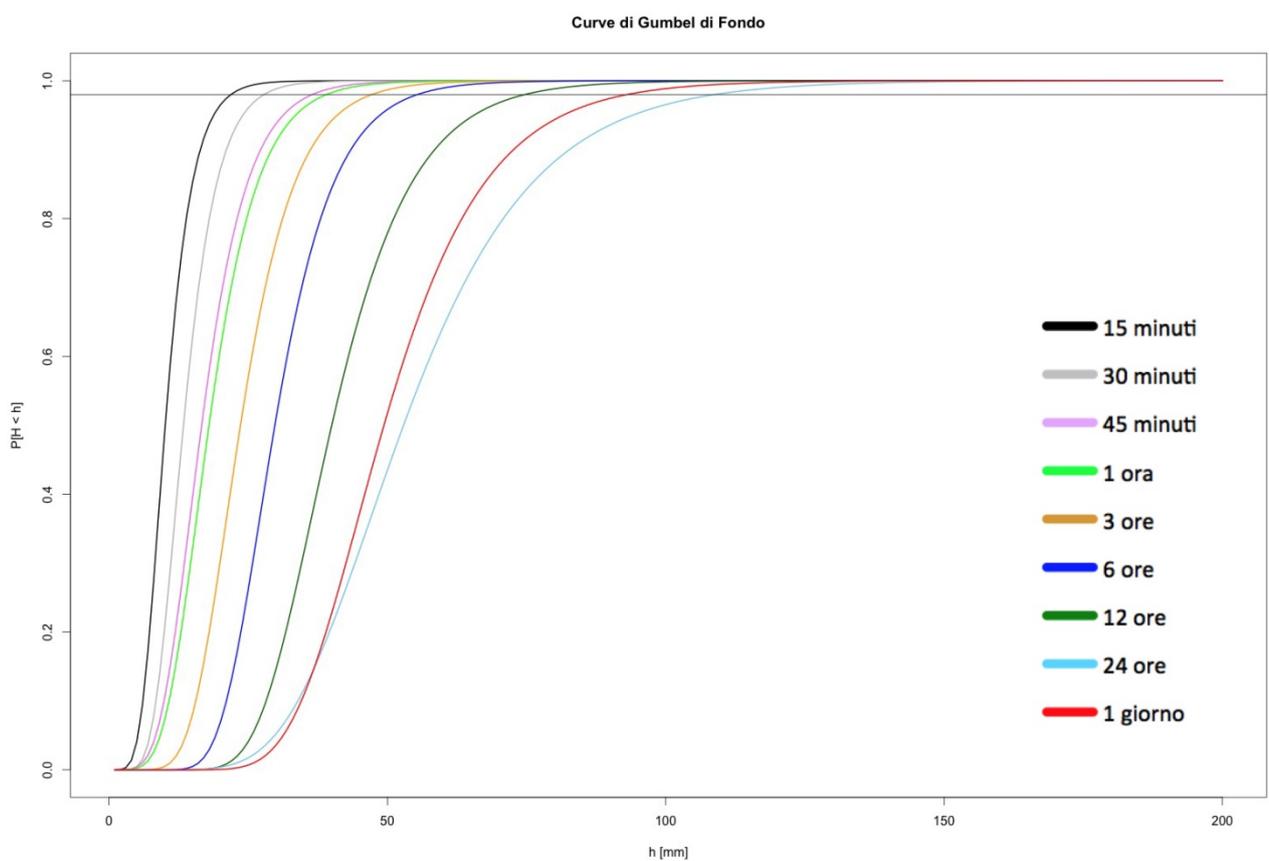


Fig.5.12 Grafico della distribuzione delle *curve di Gumbel* approssimanti le precipitazioni cumulate ($t_r=50$)

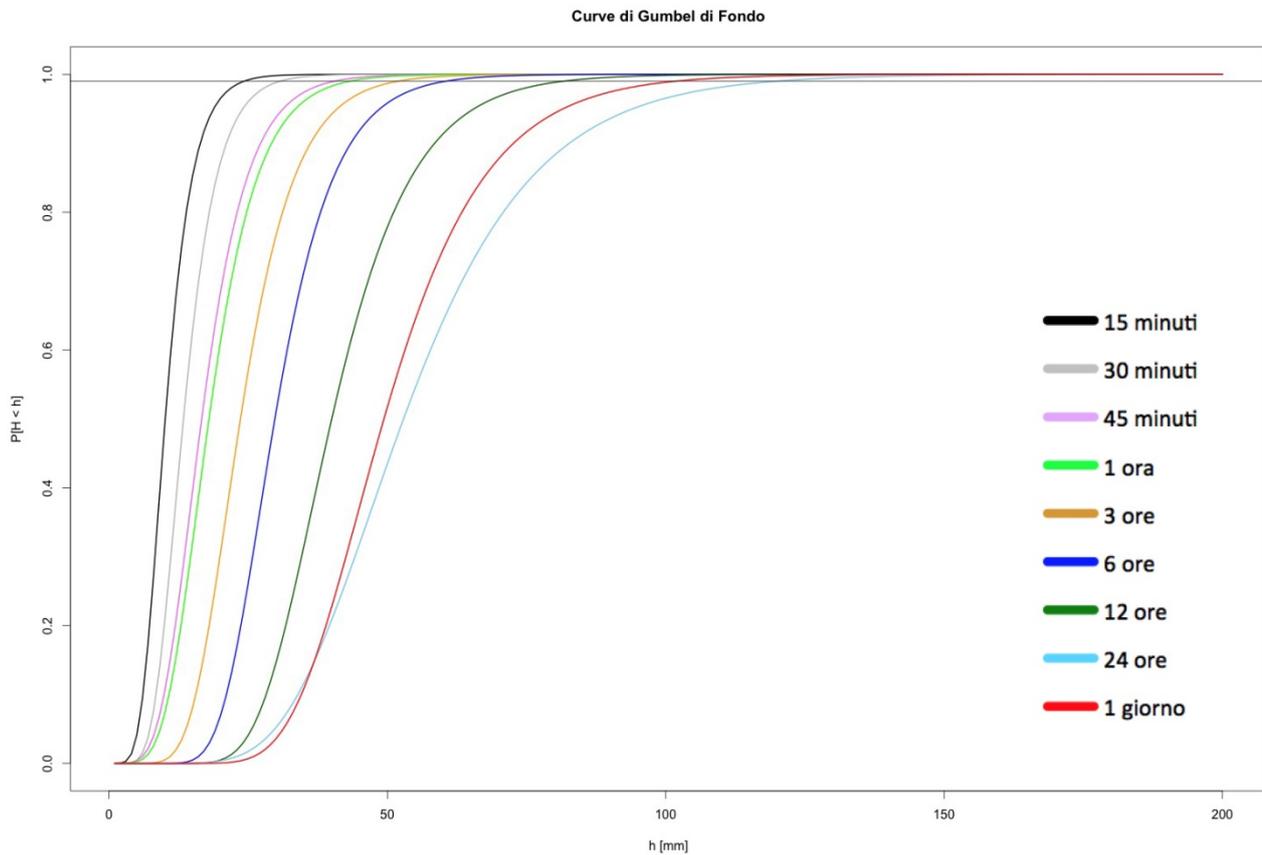


Fig.5.13 Grafico della distribuzione delle *curve di Gumbel* approssimanti le precipitazioni cumulate ($t_r=100$)

Successivamente sono stati tracciati i grafici delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, inserendo come dati sull'asse delle ordinate i valori delle altezze di precipitazioni interpolate dai grafici della distribuzione delle curve di Gumbel. In fig.5.14 sono rappresentati i valori corrispondenti alla durata di 15 minuti, 30 minuti, 45 minuti e 1 ora, mentre in fig.5.15 quelli per le durate di 3 ore, 6 ore, 12 ore e 24 ore. Come si può notare dalla legende, le linee rosse rappresentano un tempo di ritorno pari a 10 anni, blu a 50 anni e verde a 100 anni. Infine nelle figg.5.16 e 5.17 sono rappresentati i corrispondenti grafici nel piano bilogarithmico, dove la linea che collega i punti è una retta.

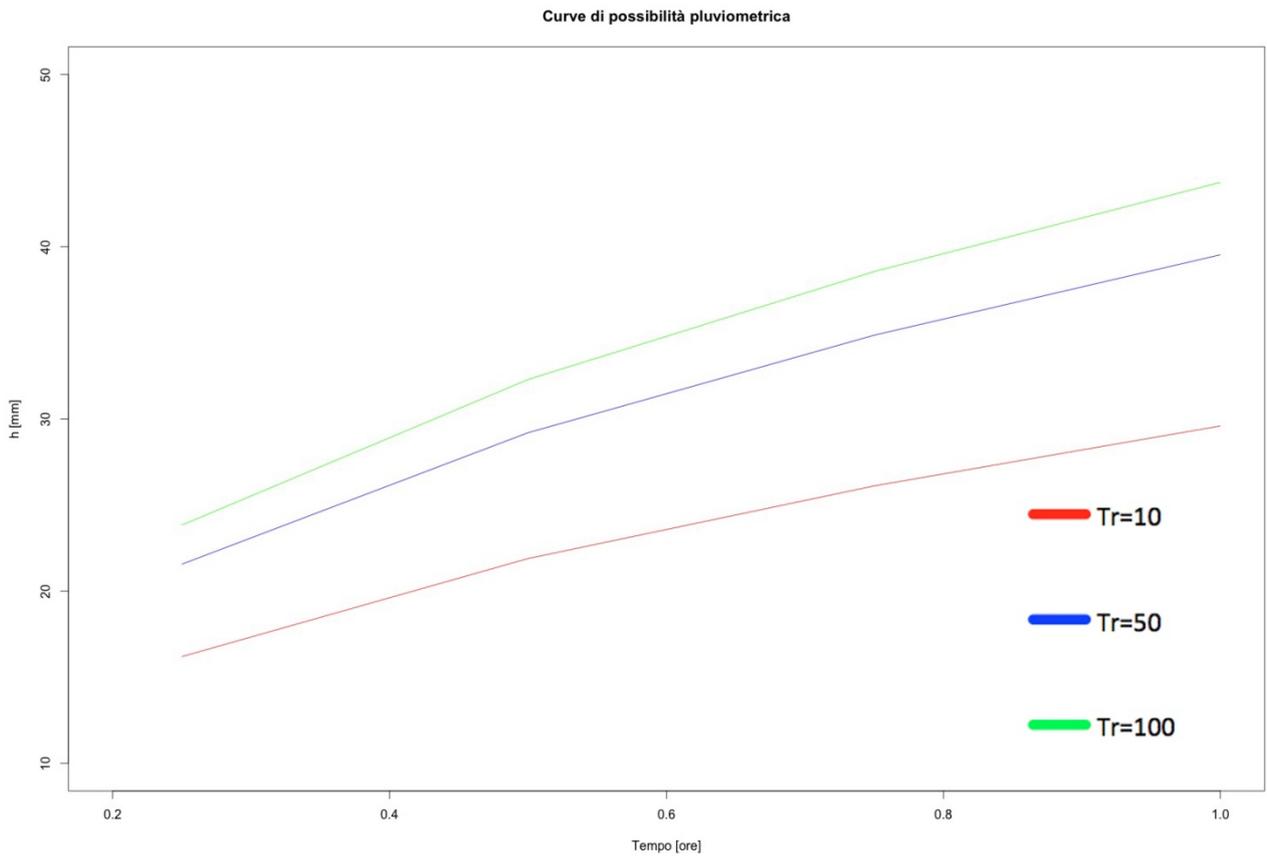


Fig.5.14 Grafico delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica da 15 minuti a 1 ora

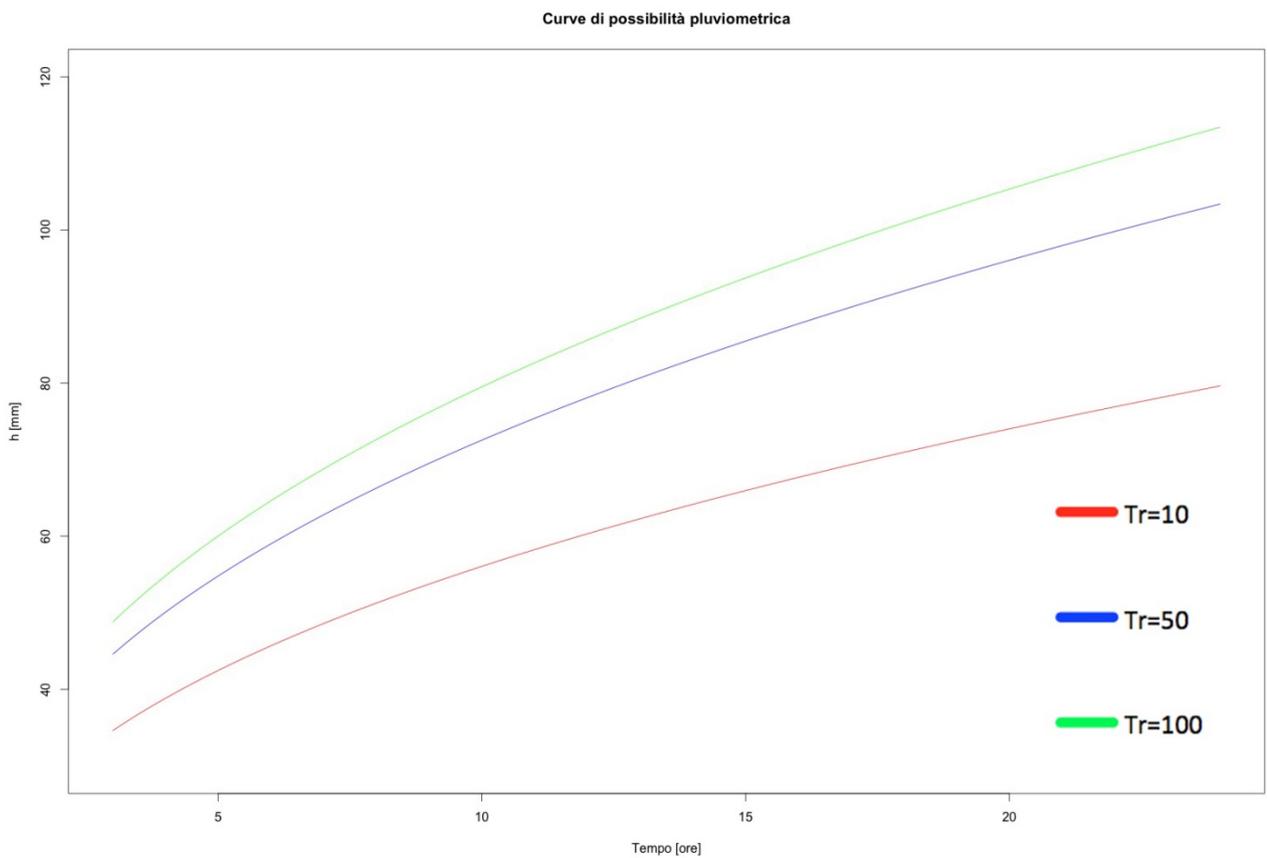


Fig.5.15 Grafico delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica da 3 ore a 24 ore

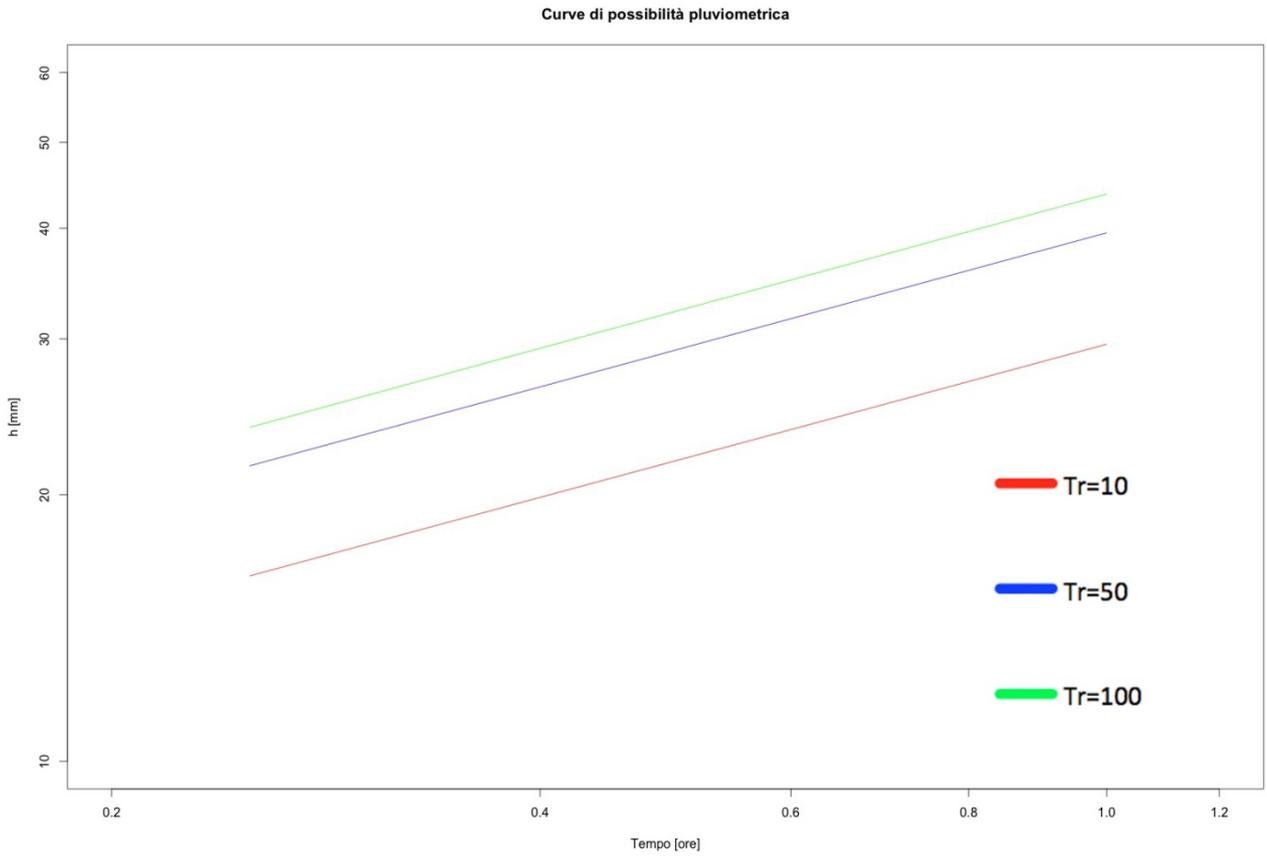


Fig.5.16 Grafico delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica nel piano bilogarithmico

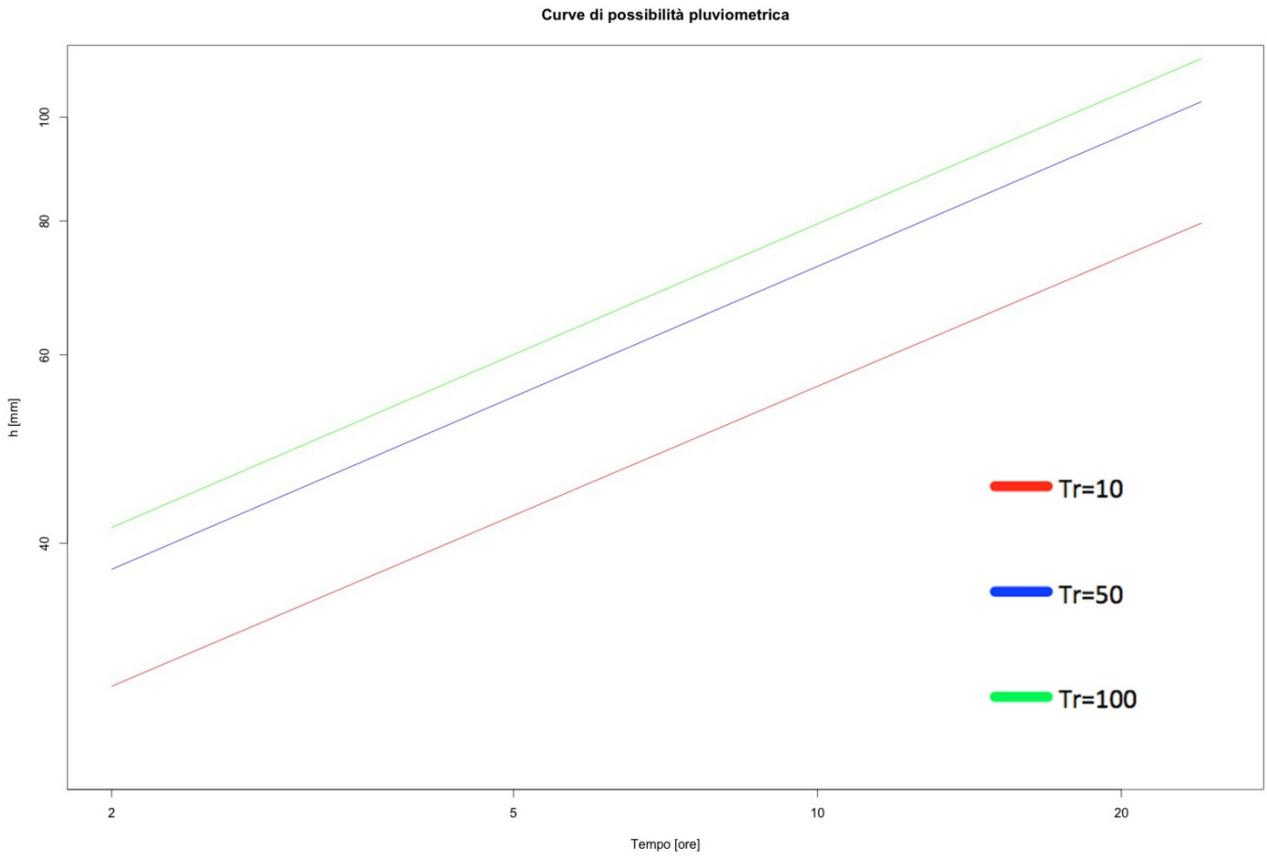


Fig.5.17 Grafico delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica nel piano bilogarithmico

6. FONTI

6.1 Fonti internet

Dati meteorologici della stazione di Fondo, all'indirizzo http://hydstraweb.provincia.tn.it/web.htm?ppbm=BACINO&rs&3&rskm_url

Slide proiettate a lezione, all'indirizzo http://www.slideshare.net/SlidesIdrologia/10b-precipitazioni?qid=23dd97bd-4a41-496c-adac-79291b3f7eb8&v=default&b=&from_search=3

6.2 Fonti

Appunti personali raccolti durante la spiegazione della lezione