

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

FACOLTA' DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA TRIENNALE IN INGEGNERIA PER  
L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO

Analisi pluviometrica nell'areale di Cogolo  
Pont



*Docenti:*

Prof. Ing. Riccardo RIGON

*Studenti:*

Marco FRANCHETTO 159322

Filippo ZANFORLIN 160989

Anno Accademico 2014/2015

# Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Analisi dei dati</b>	<b>4</b>
2.1	Analisi per 15 minuti . . . . .	8
2.1.1	Metodo dei momenti . . . . .	8
2.1.2	Metodo dei minimi quadrati . . . . .	9
2.1.3	Metodo della massima verosimiglianza . . . . .	10
2.1.4	Test di Pearson . . . . .	10
2.1.5	Tabella dei dati numerici ottenuti . . . . .	12
2.2	Analisi per 1 ora . . . . .	12
2.2.1	Metodo dei momenti . . . . .	12
2.2.2	Metodo dei minimi quadrati . . . . .	13
2.2.3	Metodo della massima verosimiglianza . . . . .	13
2.2.4	Test di Pearson . . . . .	13
2.2.5	Tabella dei dati numerici ottenuti . . . . .	13
2.3	Analisi per 3 ore . . . . .	14
2.3.1	Metodo dei momenti . . . . .	14
2.3.2	Metodo dei minimi quadrati . . . . .	14
2.3.3	Metodo della massima verosimiglianza . . . . .	15
2.3.4	Test di Pearson . . . . .	15
2.3.5	Tabella dei dati numerici ottenuti . . . . .	15
2.4	Analisi per 6 ore . . . . .	16
2.4.1	Metodo dei momenti . . . . .	16
2.4.2	Metodo dei minimi quadrati . . . . .	16
2.4.3	Metodo della massima verosimiglianza . . . . .	17
2.4.4	Test di Pearson . . . . .	17
2.4.5	Tabella dei dati numerici ottenuti . . . . .	17
2.5	Analisi per 12 ore . . . . .	18
2.5.1	Metodo dei momenti . . . . .	18
2.5.2	Metodo dei minimi quadrati . . . . .	18
2.5.3	Metodo della massima verosimiglianza . . . . .	19
2.5.4	Test di Pearson . . . . .	19
2.5.5	Tabella dei dati numerici ottenuti . . . . .	19
2.6	Analisi per 24 ore . . . . .	20
2.6.1	Metodo dei momenti . . . . .	20
2.6.2	Metodo dei minimi quadrati . . . . .	20
2.6.3	Metodo della massima verosimiglianza . . . . .	21
2.6.4	Test di Pearson . . . . .	21
2.6.5	Tabella dei dati numerici ottenuti . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Curve di possibilità pluviometrica</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Curve di densità di probabilità</b>	<b>24</b>
<b>5</b>	<b>Tempi di ritorno</b>	<b>25</b>
5.0.6	Tempo di ritorno pari a 5 anni . . . . .	25

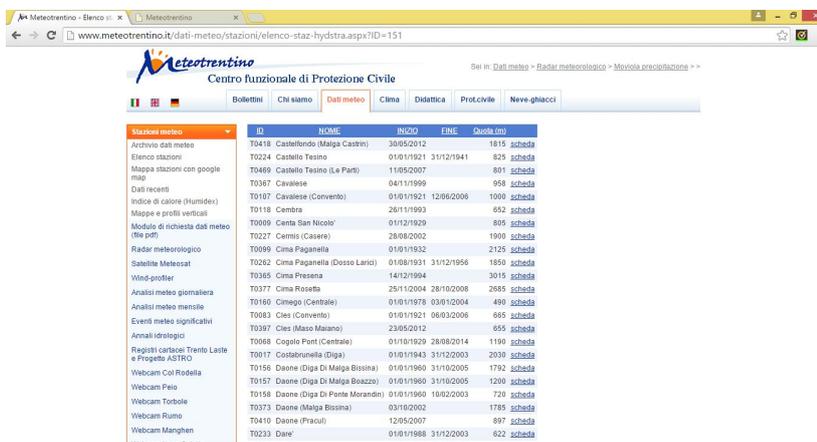
**6 Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica(LSPP)**

**7 LSPP linearizzate**

# Capitolo 1

## Introduzione

I dati utilizzati per la relazione sono stati reperiti dal portale del sito Meteotrentino sotto la voce *stazioni meteo*.



Stazioni meteo	ID	NOME	INIZIO	FINE	Quota (m)
Archivio dati meteo	T0418	Castelfrendo (Malga Castre)	30/05/2012		1815 scheda
Elenco stazioni	T0224	Castello Tesino	01/01/1921	31/12/1941	825 scheda
Mappa stazioni con google map	T0489	Castello Tesino (Le Part)	11/09/2007		801 scheda
Dati recenti	T0367	Cavalese	04/11/1999		958 scheda
Indice di calore (Humindex)	T0167	Cavalese (Convento)	01/01/1921	12/06/2006	1008 scheda
Mappe a profili verticali	T0118	Cembra	26/11/1993		652 scheda
Modulo di richiesta dati meteo (file pdf)	T0009	Centa San Nicolò	01/12/1929		895 scheda
Radar meteorologico	T0227	Cermis (Casere)	28/08/2002		1900 scheda
Satellite Meteosat	T0099	Cima Paganella	01/01/1932		2125 scheda
Wind profiler	T0262	Cima Paganella (Dosso Lario)	01/08/1931	31/12/1956	1850 scheda
Analisi meteo giornaliera	T0365	Cima Presena	14/12/1994		3015 scheda
Analisi meteo mensile	T0377	Cima Rossa	25/11/2004	28/10/2008	2685 scheda
Eventi meteo significativi	T0160	Cinego (Centrale)	01/01/1978	03/01/2004	490 scheda
Annali idrologici	T0083	Cies (Convento)	01/01/1921	06/03/2008	665 scheda
Registri cartacei Trento Liste e Progetti ASTRO	T0397	Cies (Maso Malano)	23/05/2012		955 scheda
Webcam Col Rodella	T0668	Cogolo Pont (Centrale)	01/01/1929	28/08/2014	1190 scheda
Webcam Peio	T0017	Costabrunella (Diga)	01/01/1943	31/12/2003	2030 scheda
Webcam Peio Fonti	T0158	Daone (Diga Di Malga Bissina)	01/01/1960	31/10/2005	1792 scheda
Webcam Peio Terme	T0157	Daone (Diga Di Malga Boazzo)	01/01/1960	31/10/2005	1200 scheda
Webcam Rumo	T0198	Daone (Diga Di Ponte Morandini)	01/01/1960	18/02/2003	720 scheda
Webcam Manghen	T0375	Daone (Malga Bissina)	03/10/2002		1785 scheda
Webcam Lano Capata	T0410	Daone (Praoul)	12/05/2007		897 scheda
	T0233	Dare	01/01/1988	31/12/2003	622 scheda

La stazione meteorologica scelta è quella di **Cogolo Pont**, situata a pochi chilometri dal paese di Peio. Di seguito viene riportata la piccola mappa fornita direttamente dal sito:



La stazione meteo in esame fornisce dati raccolti dal 1932 al 2002.

In quanto alcuni dei file scaricati dal sito risultano incompleti, laddove lo zero rappresenta la mancanza del dato si ha attribuito a tutti questi valori nulli **NA** tramite il comando:

```
data15[data15==0.0]<-NA
```

Successivamente si sono tolti tali valori *NA* dalla tabella tramite il comando:

```
data15<-data15[!is.na(data15)]
```

Per ottenere le immagini in formato *JPEG* direttamente dal programma **R** è stato utilizzato il comando:

```
jpeg("nome.jpg")
```

seguito dalla stringa del grafico da inserire in tale file jpeg ed infine si inserisce il comando conclusivo:

```
dev.off()
```

## Capitolo 2

# Analisi dei dati

Dopo aver importato i dati in R ed averli visualizzati nello stesso programma si sono suddivisi i dati in sei vettori in modo da ottenere un vettore per ogni intervallo di tempo di riferimento (15 minuti, 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore).

Questa suddivisione iniziale è stata eseguita con il comando:

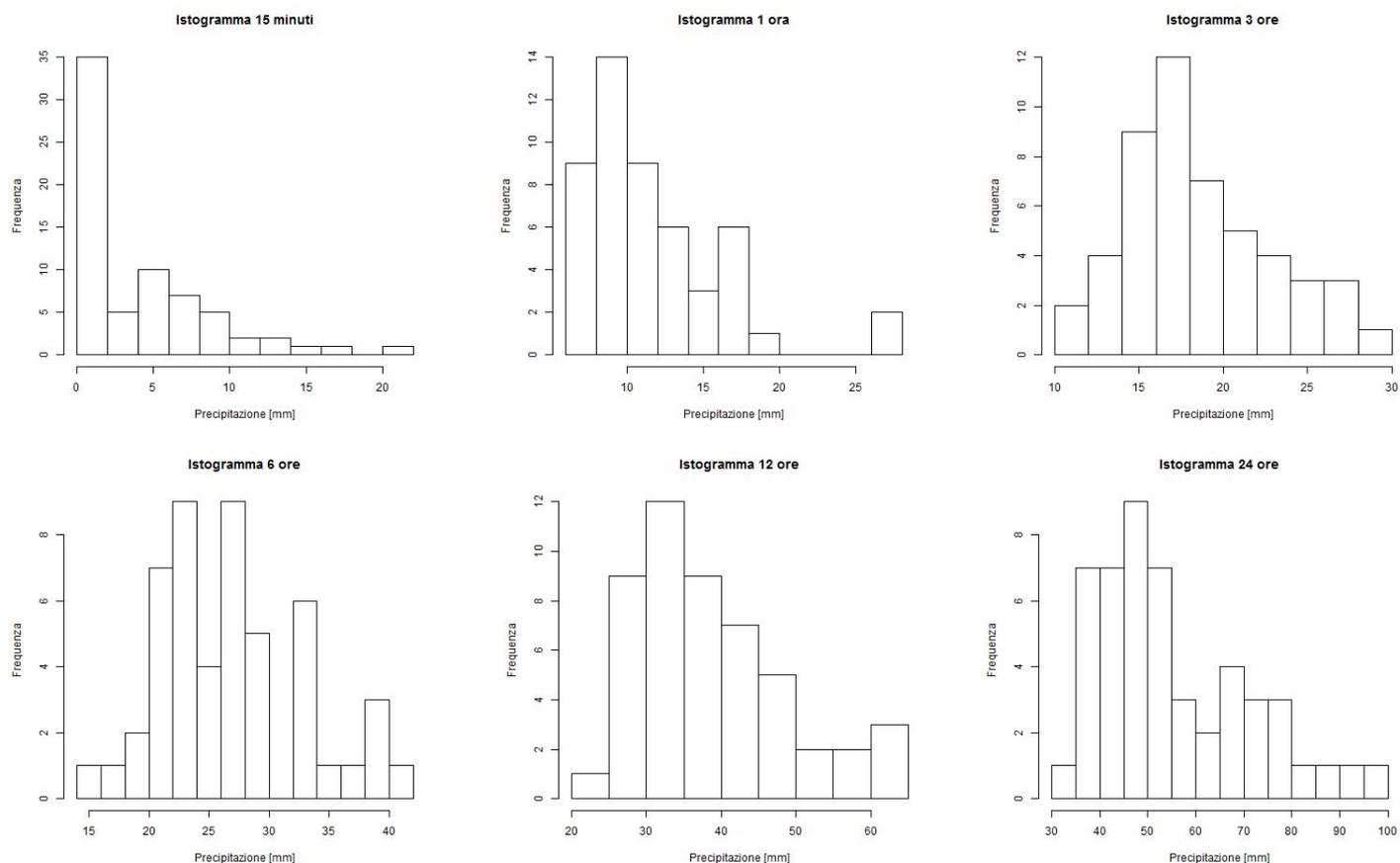
```
data15<-data[,2]
```

e così per ogni intervallo di tempo.

Dopo questa breve suddivisione, con lo scopo di visualizzare al meglio l'entità delle precipitazioni prese in esame in termini di durata e frequenza, sono stati creati degli istogrammi che mettono in relazione la precipitazione in mm e la frequenza. Tali istogrammi sono stati creati con il comando:

```
hist(data15,breaks=10,xlab=Precipitazione[mm],ylab=Frequenza)
```

Di seguito vengono riportati gli istogrammi relativi ai vari intervalli di tempo:



Per una visione più generica ed insieme di tutti questi dati si può visualizzare l'andamento dell'altezza di precipitazione col passare del tempo, dal 1934 al 2002.

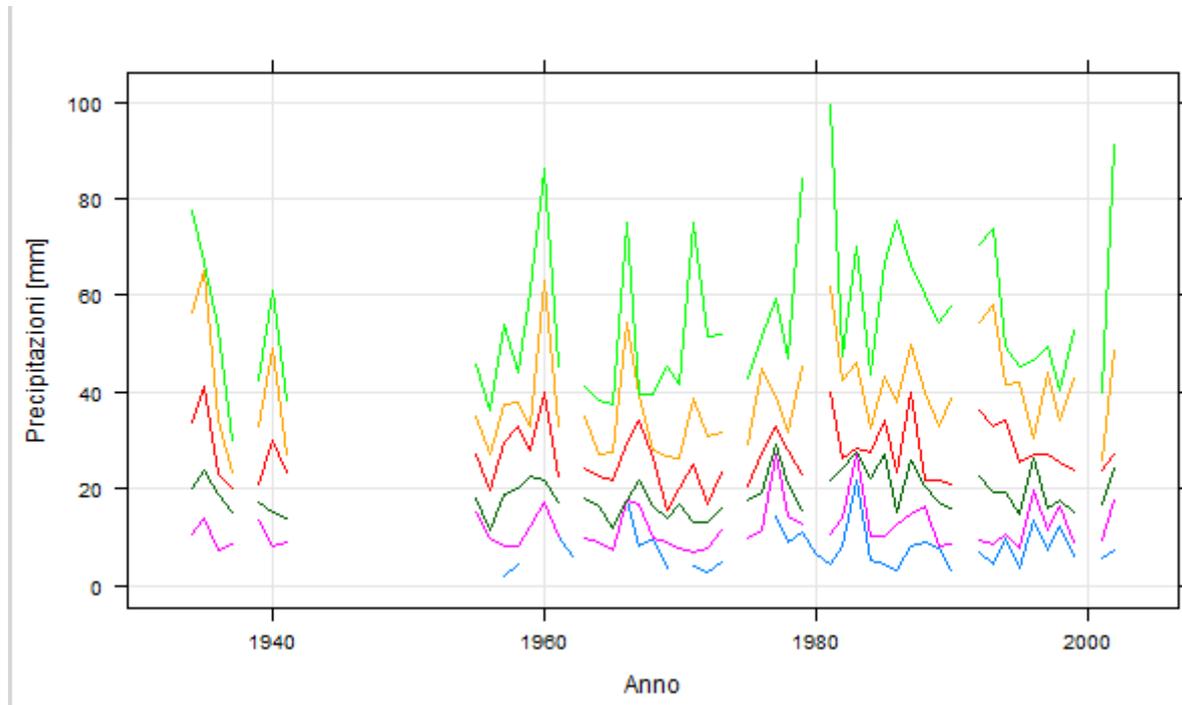


Figura 2.1: Andamento delle altezze di precipitazione negli anni

Dopo tale breve confronto si ottiene la frequenza empirica di non superamento (*ecdf*) con la seguente stringa di comando:

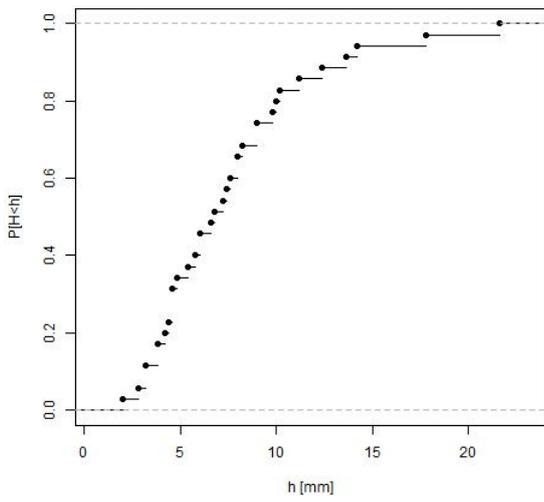
```
ecdf(data15)->x15
```

Seguita dal comando che permette di visualizzarla:

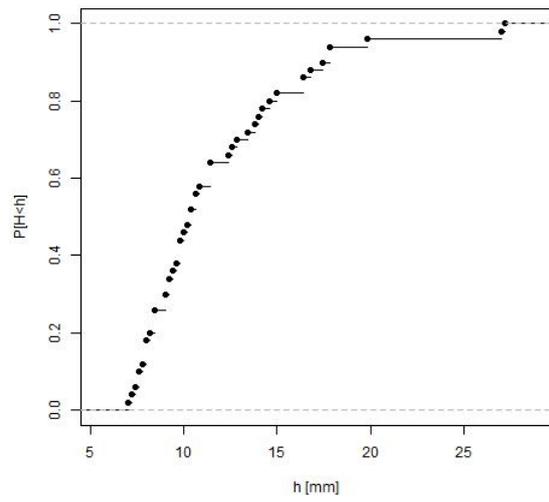
```
plot(x15,xlab="h[mm]",ylab="P[H<h]",main="Frequenza di non superamento(15min)")
```

Di seguito vengono riportati i grafici ottenuti grazie a questi due comandi, eseguiti su tutti gli intervalli di tempo inizialmente definiti:

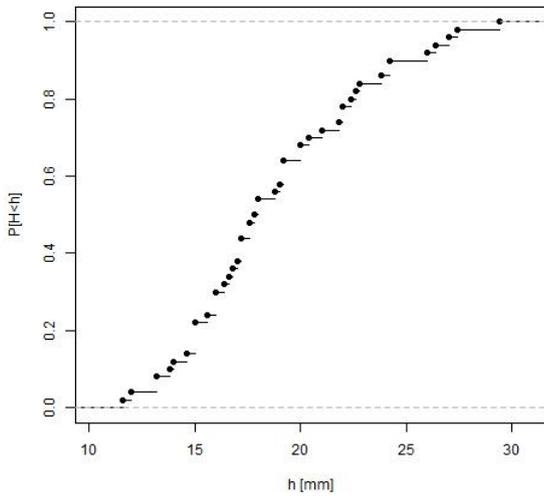
Frequenza di non superamento (15min)



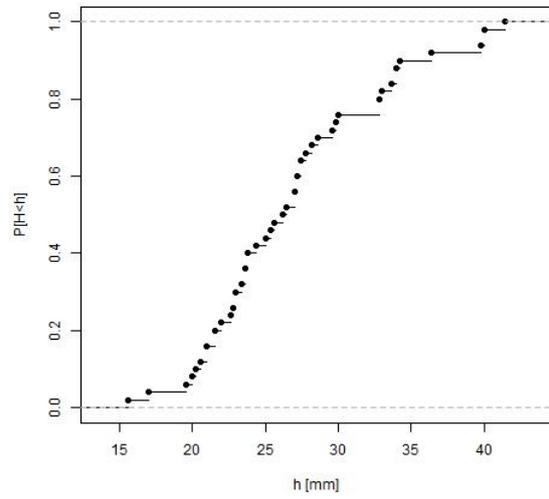
Frequenza di non superamento (1h)



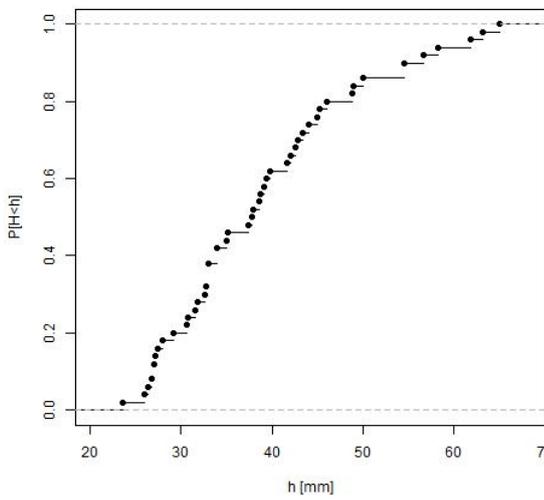
Frequenza di non superamento (3h)



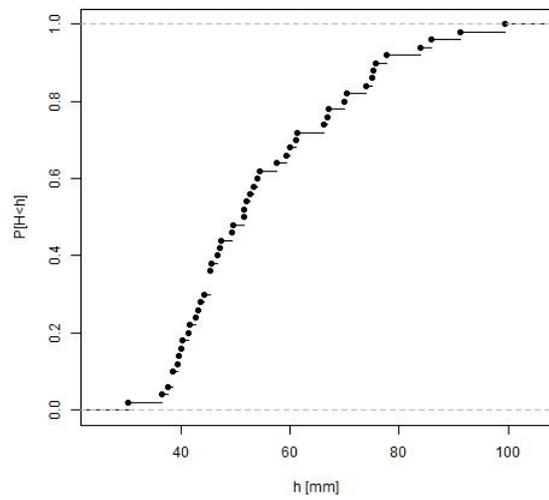
Frequenza di non superamento (6h)



Frequenza di non superamento (12h)



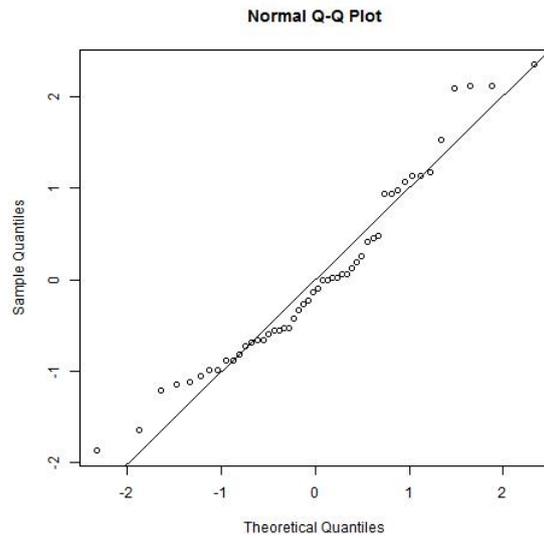
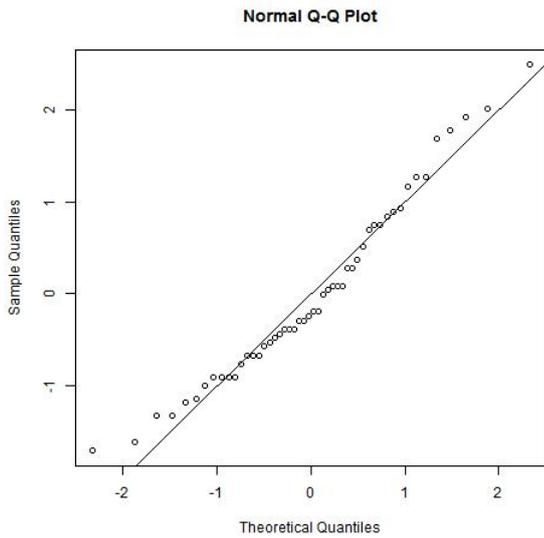
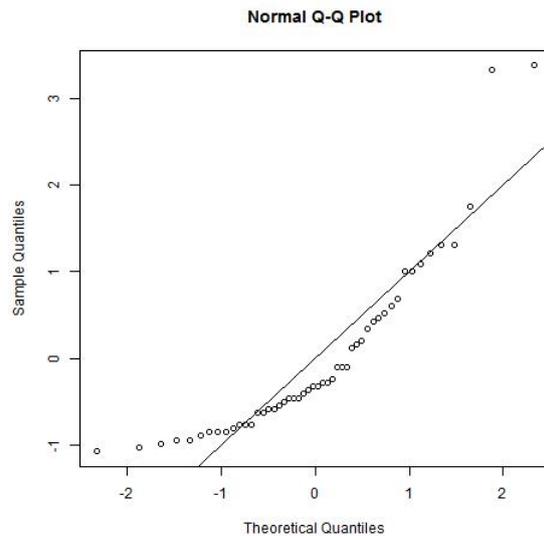
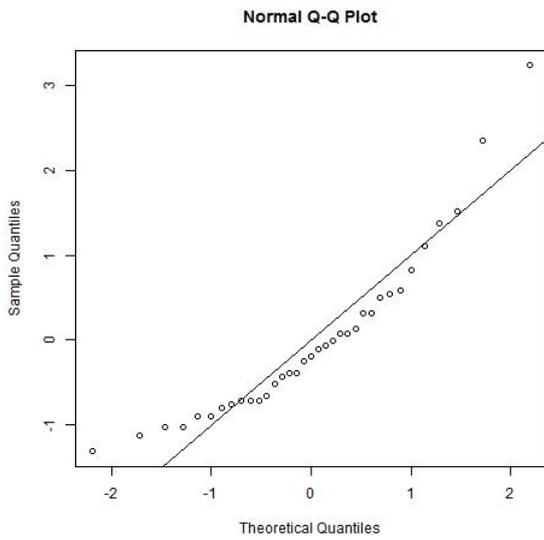
Frequenza di non superamento (24h)

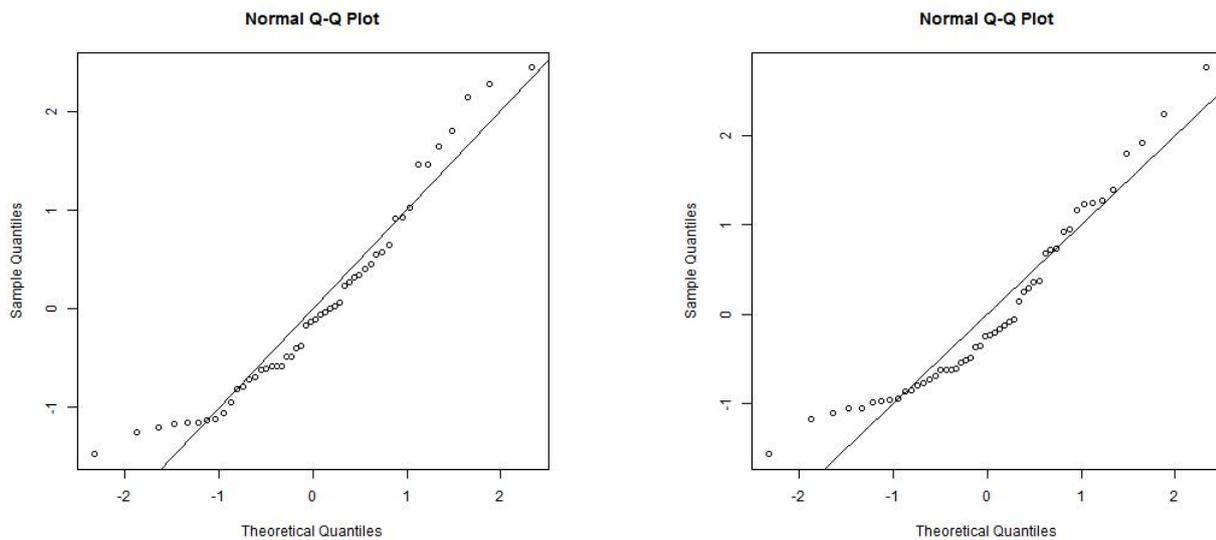


Il passo successivo è quello di standardizzare (media nulla e deviazione standard unitaria) i dati orari con il comando:

```
h.norm = (data15 - mean(data15))/sd(data15)
qq.norm(h.norm)
```

Confrontando la distribuzione ottenuta con una linea generata dal comando `abline(0,1)` si ottengono i seguenti grafici:





Al fine di alleggerire la relazione si è deciso di descrivere i vari passaggi dell'analisi solo per il primo caso relativo all'intervallo di 15 minuti.

## 2.1 Analisi per 15 minuti

Il processo che viene ripetuto per ogni intervallo temporale ha come fine quello di determinare la curva di Gumbel che meglio approssima la distribuzione delle precipitazioni. La curva di Gumbel è definita da due parametri  $a$  e  $b$ , che possono essere individuati con tre metodi diversi fra di loro:

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

### 2.1.1 Metodo dei momenti

Tale metodo consiste nell'eguagliare il momento della popolazione con quello del campione empirico. In primis si trova il parametro  $b$  tramite l'uguaglianza:

$$b1.gumbel = \sqrt{6 \cdot v} / \pi$$

Ovvero si impone che il valore della deviazione standard del nostro campione empirico coincida con quello della popolazione.

Una volta trovato  $b$  si può risolvere l'equazione:

$$a1.gumbel = (m - b1.gumbel * 0,577216)$$

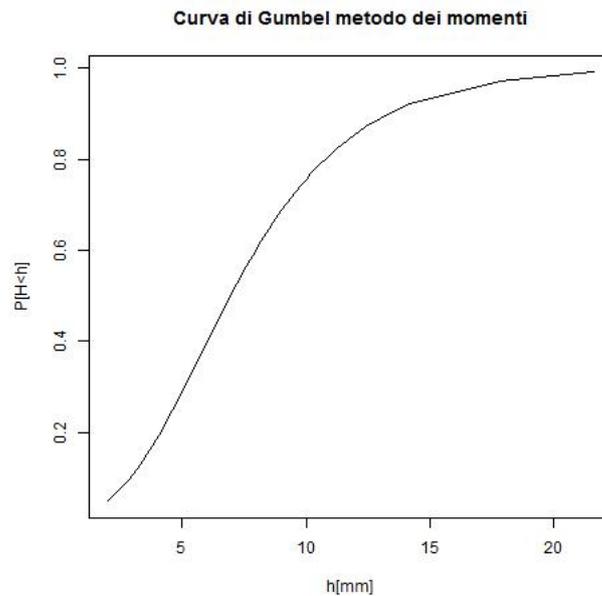
in cui si impone l'uguaglianza fra le medie di popolazione e campione empirico.

Una volta trovati i due parametri si procede ordinando i numeri dal più basso al più alto tramite il comando:

```
sort(dati)->z
```

Infine si mette tutto in un grafico con il solito comando di *plot*, ovvero:

```
plot(z,pgumbel(z,loc=a1.gumbel,scale=b1.gumbel),xlab="h[mm]",ylab="P[H<h]",Type="l",main="Curva di Gumbel metodo dei momenti"
```



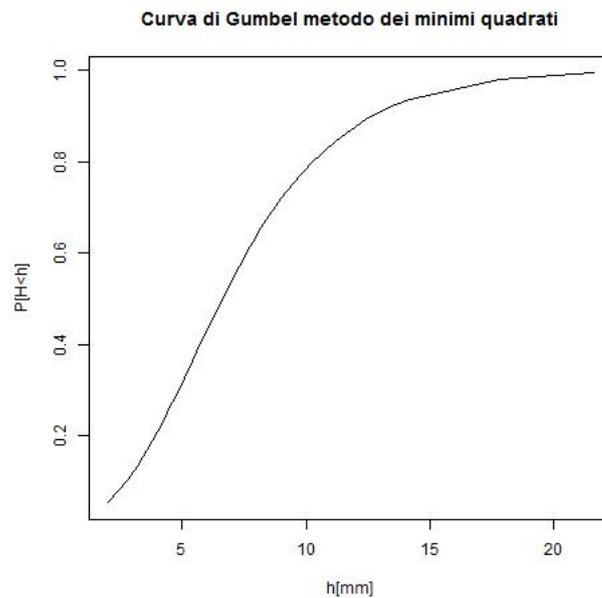
### 2.1.2 Metodo dei minimi quadrati

Il metodo dei minimi quadrati 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.

```
ec = ecdf(data15)
length(data15)
Fi = ec(sort(data15))
Y = -(log(-log(Fi[-25])))
```

Poichè l'ultimo valore è infinito bisogna eliminarlo:

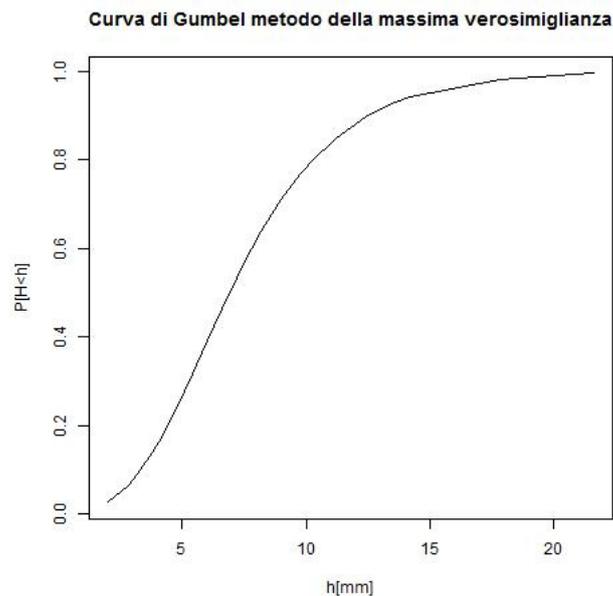
```
X = sort(data15)[-25]
lsfit(X,Y)->fts
fts$coefficients
b2.gumbel = fts$coefficients[[2]]^-1
a2.gumbel = -fts$coefficients[[1]]*b2.gumbel
```



### 2.1.3 Metodo della massima verosimiglianza

Il metodo della massima verosimiglianza consiste nel massimizzare la funzione che descrive la probabilità di ottenere le misure del campione, dati dei parametri di partenza, cioè quelli trovati in precedenza con uno dei due metodi già visti. Tale procedura si esegue tramite il comando, preso dal pacchetto **MASS**:

```
fitdistr(dati,densfun=dgumbel,start=list(loc=a1.gumbel,scale=b1.gumbel))->m1ab
```



### 2.1.4 Test di Pearson

Il test di Pearson ha lo scopo di verificare quale dei tre metodi usati in precedenza fornisce i due parametri migliori, per fare ciò si suddivide il campo di probabilità in  $k$  parti attraverso il vettore:

`q = c(0.2, 0.4, 0.6, 0.8)`

che divide il campo in più parti, ovvero il grafico in più sezioni:

`qgumbel (q, loc=a1.gumbel, scale=b1.gumbel)->qi`

Ora si calcola il numero di elementi contenuti in ogni sezione del grafico tramite la costruzione di una serie temporale:

`c(0, ec(qi)*25)->no1`

Di seguito la stessa successione temporale spostata:

`c(ec(qi)*25, 25)->no2`

Calcolando la differenza fra queste due serie temporali si ottiene proprio il numero di elementi contenuti per ogni intervallo(`no`):

`no1-no2->no`

Se indico ora con 0,2 la lunghezza degli intervalli, calcolo:

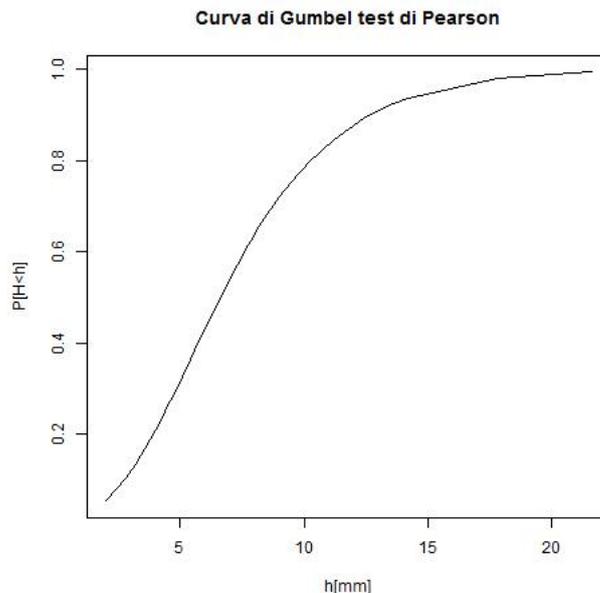
`0.2*length(data15)->deltapi`

Infine si può arrivare allo strumento principale usato nel test di Pearson, ovvero il "chi quadro":

`X1=sum((no - deltapi)^2/deltapi)`

Ora che si ottiene il  $\chi_1$  si può ripetere lo stesso processo con gli altri parametri calcolati con i diversi metodi ed ottenere dunque anche  $\chi_2$  e  $\chi_3$ . Il migliore metodo dei tre utilizzati è quello che fornisce un  $\chi^2$  minore. Nell'intervallo temporale preso in esame corrispondente a 15 minuti, il metodo migliore risulta quello dei minimi quadrati, di seguito si riporta la stringa utilizzata per visualizzare il risultato del test di Pearson:

`plot(X,pgumbel(X,loc=a2.gumbel,scale=b2.gumbel),xlab="h[mm]", ylab="P[H<h]",type="l",main="Curva di Gumbel test di Pearson")`



### 2.1.5 Tabella dei dati numerici ottenuti

Metodo 1=Metodo dei momenti

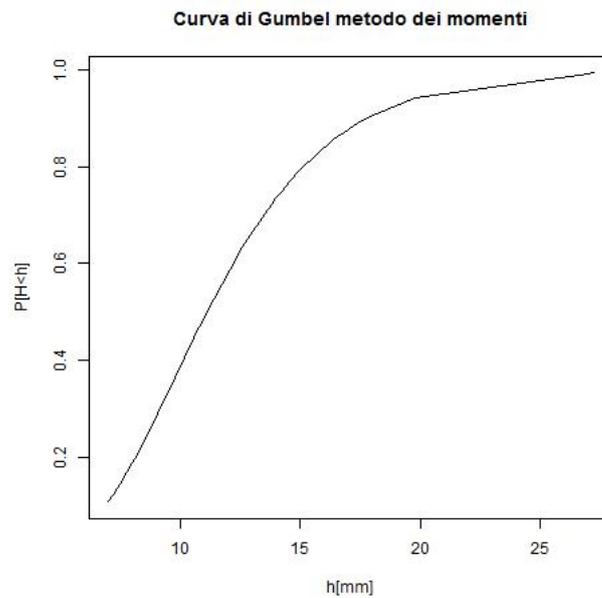
Metodo 2=Metodo dei minimi quadrati

Metodo 3=Metodo della massima verosimiglianza

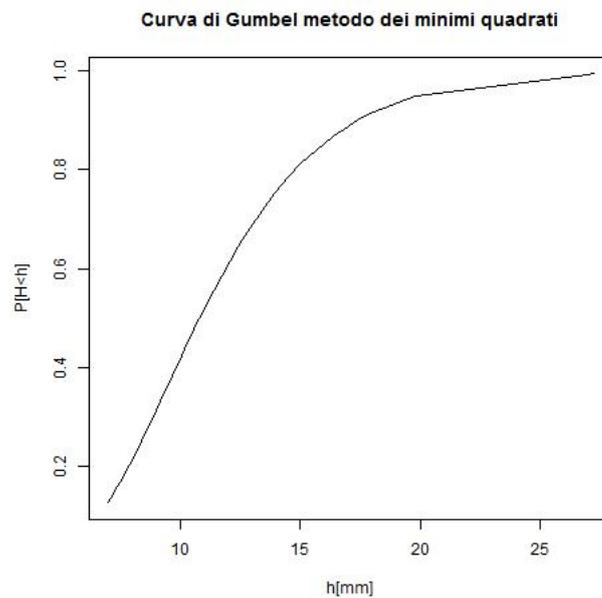
Metodo	a.gumbel	b.gumbel	$\chi$
1	5,71237	3,35932	2,3
2	5,43790	3,20802	0,8
3	5,81923	2,96512	1,1

## 2.2 Analisi per 1 ora

### 2.2.1 Metodo dei momenti



### 2.2.2 Metodo dei minimi quadrati



### 2.2.3 Metodo della massima verosimiglianza

Per questa serie temporale con tale metodo sono stati riscontrati problemi in quanto il programma, ricevendo in input i parametri trovati in precedenza con i due metodi continuava a dare errore. Non risulta quindi alcun grafico significativo per l'arco temporale corrispondente ad un'ora.

### 2.2.4 Test di Pearson

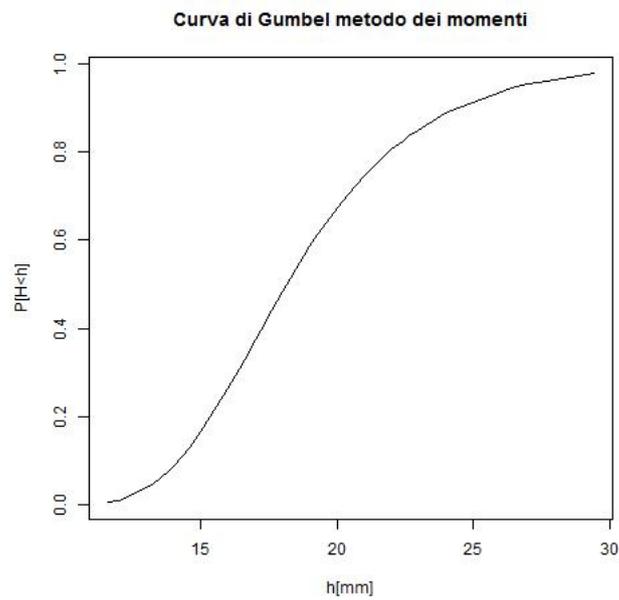
Il metodo migliore risulta essere quello dei **momenti**.

### 2.2.5 Tabella dei dati numerici ottenuti

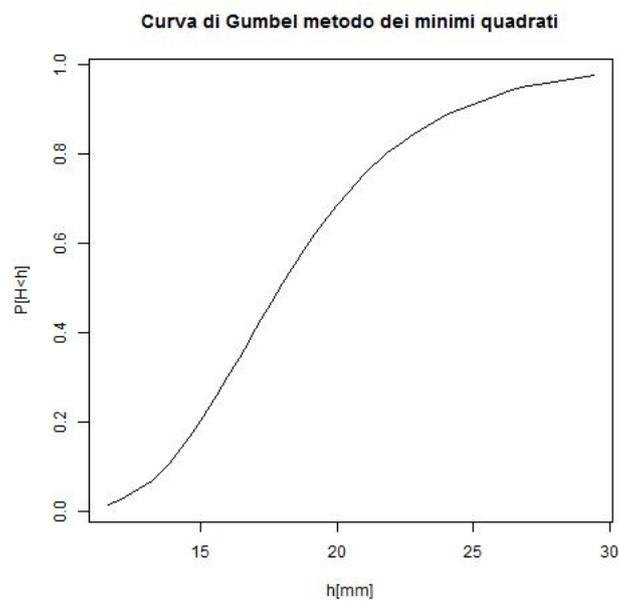
Metodo	a.gumbel	b.gumbel	$\chi$
1	9,82314	3,54263	2,0
2	9,52592	3,50478	5,6
3	/	/	/

## 2.3 Analisi per 3 ore

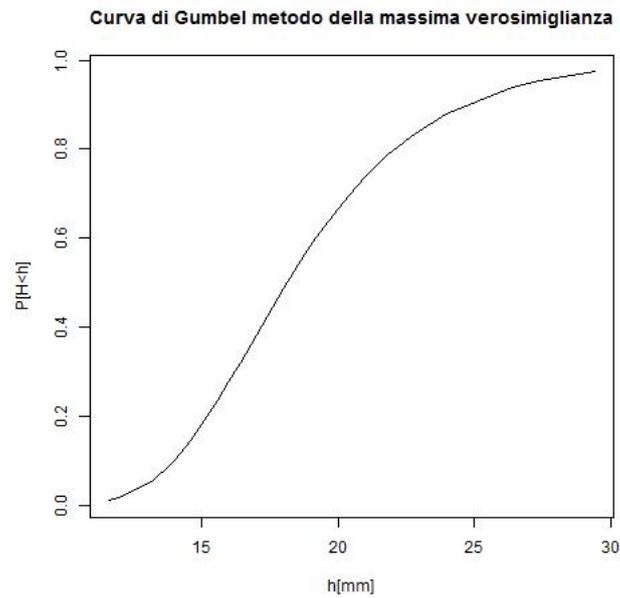
### 2.3.1 Metodo dei momenti



### 2.3.2 Metodo dei minimi quadrati



### 2.3.3 Metodo della massima verosimiglianza



### 2.3.4 Test di Pearson

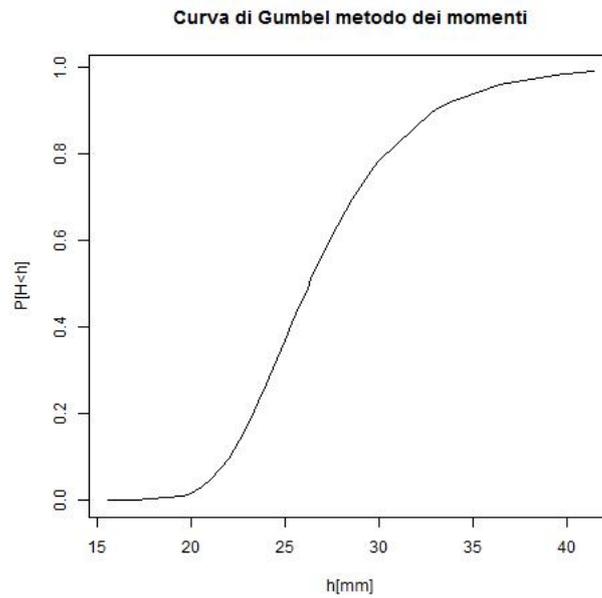
Il metodo migliore risulta essere quello della **massima verosimiglianza**.

### 2.3.5 Tabella dei dati numerici ottenuti

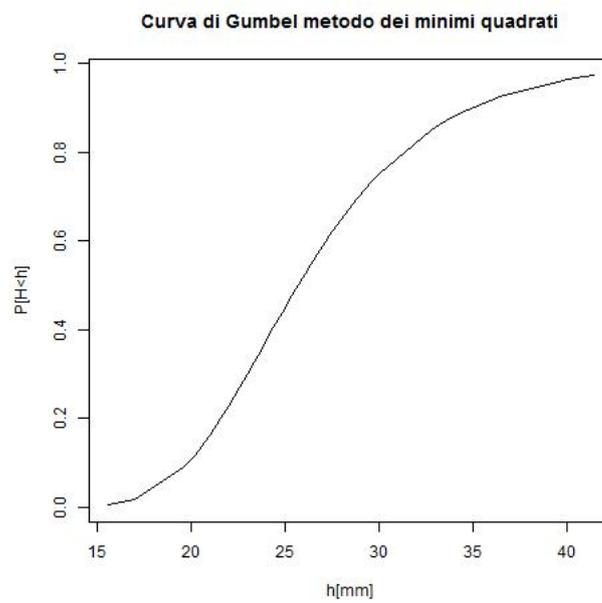
Metodo	a.gumbel	b.gumbel	$\chi$
1	16,93811	3,30186	2,4
2	16,62816	3,45602	2,0
3	16,87008	3,46826	0,6

## 2.4 Analisi per 6 ore

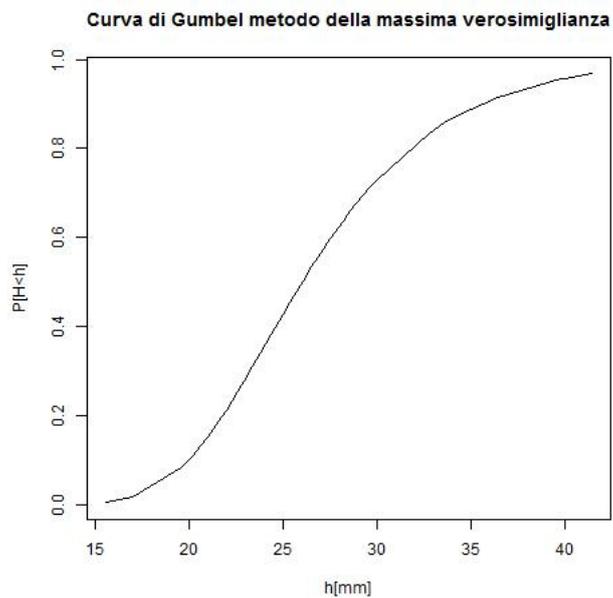
### 2.4.1 Metodo dei momenti



### 2.4.2 Metodo dei minimi quadrati



### 2.4.3 Metodo della massima verosimiglianza



### 2.4.4 Test di Pearson

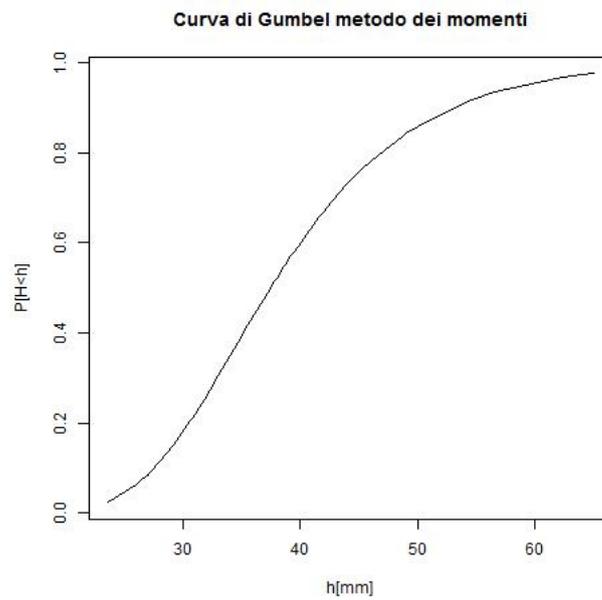
Il metodo migliore risulta essere quello della **massima verosimiglianza**.

### 2.4.5 Tabella dei dati numerici ottenuti

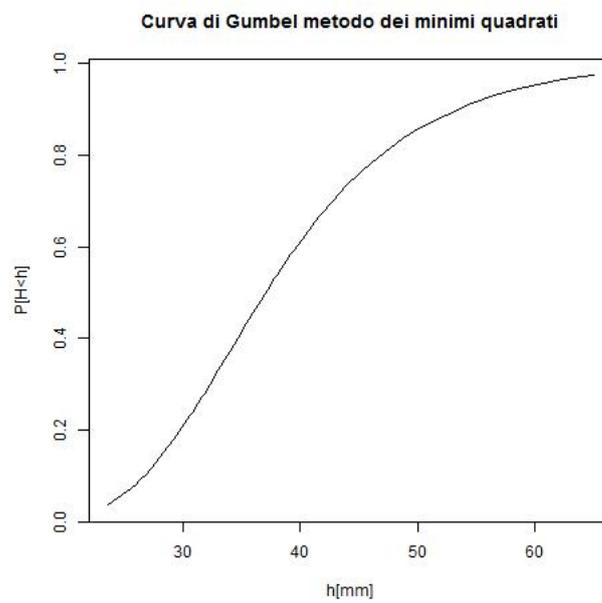
Metodo	a.gumbel	b.gumbel	$\chi$
1	24,99514	3,54263	4,6
2	23,92759	4,87712	3,7
3	24,20123	5,02592	2,2

## 2.5 Analisi per 12 ore

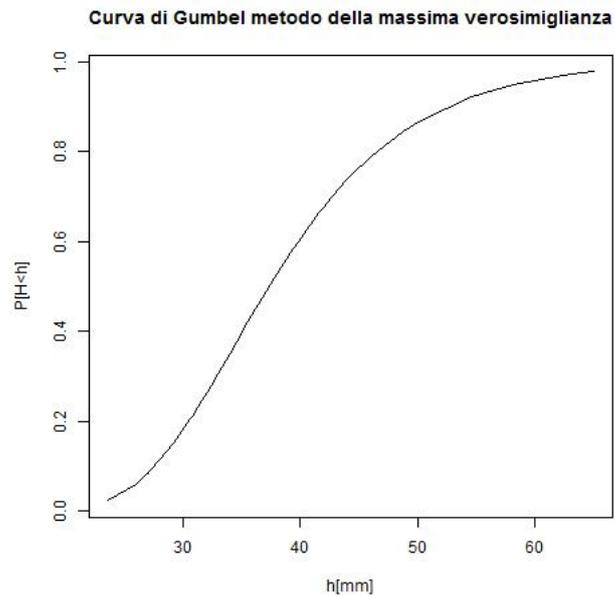
### 2.5.1 Metodo dei momenti



### 2.5.2 Metodo dei minimi quadrati



### 2.5.3 Metodo della massima verosimiglianza



### 2.5.4 Test di Pearson

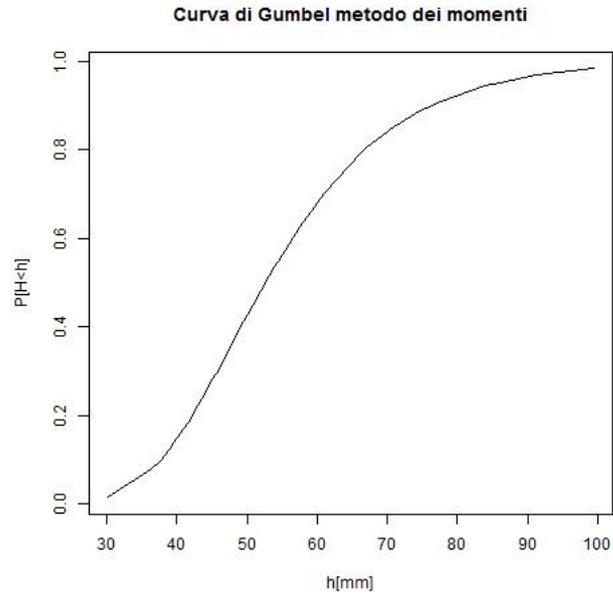
Il metodo migliore risulta essere quello dei **minimi quadrati**.

### 2.5.5 Tabella dei dati numerici ottenuti

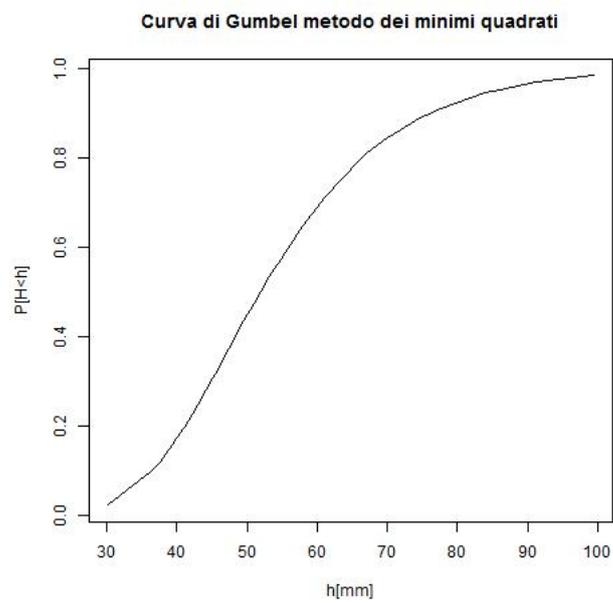
Metodo	a.gumbel	b.gumbel	$\chi$
1	34,42694	8,24831	0,6
2	33,87322	8,57757	0,2
3	34,36809	8,10753	0,6

## 2.6 Analisi per 24 ore

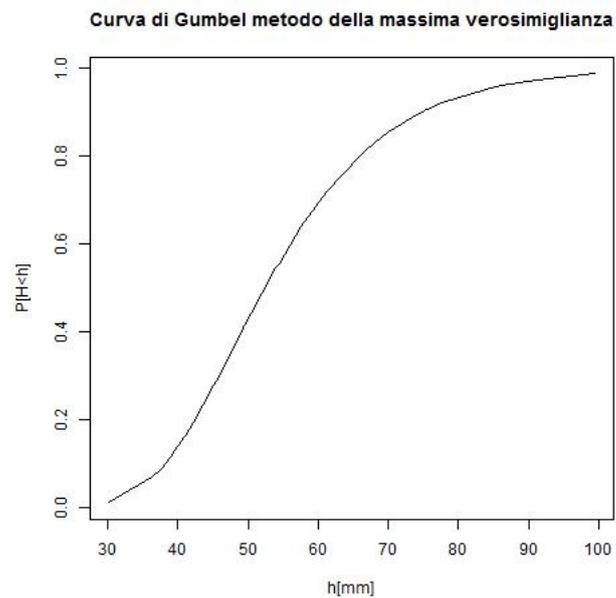
### 2.6.1 Metodo dei momenti



### 2.6.2 Metodo dei minimi quadrati



### 2.6.3 Metodo della massima verosimiglianza



### 2.6.4 Test di Pearson

Il metodo migliore risulta essere quello dei **momenti**.

### 2.6.5 Tabella dei dati numerici ottenuti

Metodo	a.gumbel	b.gumbel	$\chi$
1	48,09978	12,45326	2,8
2	47,29761	12,81317	3,6
3	48,10523	11,88121	4,4

## Capitolo 3

# Curve di possibilità pluviometrica

Per la costruzione di tali curve sono stati inizialmente definiti tre vettori contenenti i rispettivi intervalli di tempo e i parametri di Gumbel migliori per ogni intervallo. Di seguito è stata creata anche una matrice contenente tali tre vettori.

```
durate<-c("0.25h","1h","3h","6h","12h","24h")  
  
a.gumbel<-c(5.43789,9.82314,16.87008,24.20123,33.87322,48.09978)  
  
b.gumbel<-c(3.20802,3.54263,3.46826,5.02592,8.57757,12.45326)  
  
summary<-data.frame(durate,a.gumbel,b.gumbel)
```

Si definisce ora il vettore sequenza  $p$ :

```
seq(from=1, to=150, by=0.1)->p
```

Di seguito si utilizza il comando *plot* per visualizzare le curve di possibilità pluviometrica, integrando con il comando *lines* per poter sovrapporre le varie curve ed infine il comando *text* per riuscire a dare un titolo di riconoscimento alle varie curve nel grafico. Si forniscono di seguito gli script utilizzati:

```
plot(p,pgumbel(p,loc=a.gumbel[1],scale=b.gumbel[1]),type="l",col="blue", xlab="Precipitazioni[mm]",  
ylab="P[h]", main="LSPP di Cogolo Pont")  
  
lines(p,pgumbel(p,loc=a.gumbel[2],scale=b.gumbel[2]),type="l", col="red")  
  
text(5,0.8,"0.25h",cex=0.8)
```



## Capitolo 4

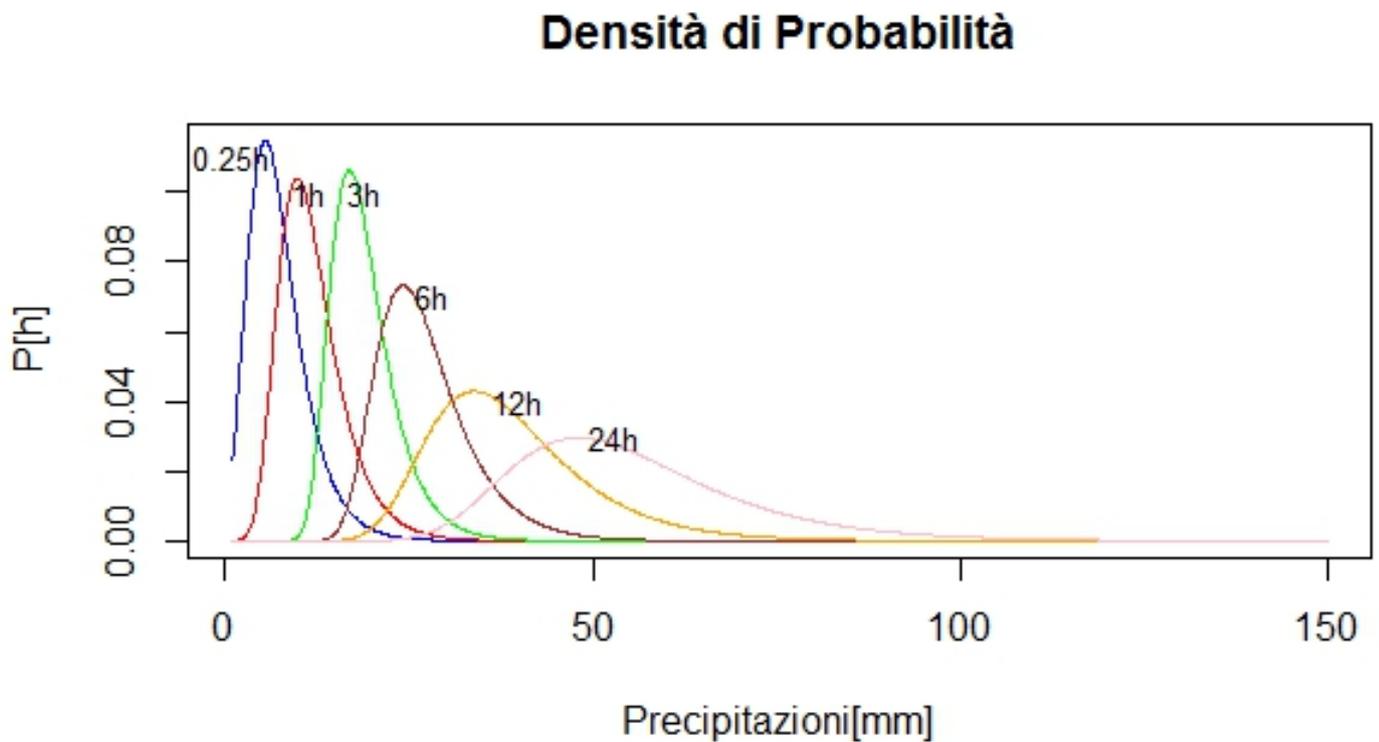
# Curve di densità di probabilità

Al posto di utilizzare la funzione *pgumbel* come per il tracciamento delle curve di possibilità pluviometrica, per quanto riguarda la densità si utilizza la funzione *dgumbel* come segue:

```
plot(p,dgumbel(p,loc=a.gumbel[1],scale=b.gumbel[1]),col="blue",type="l", xlab="Precipitazioni[mm]",ylab="di Probabilità")
```

```
lines(p,dgumbel(p,loc=a.gumbel[2],scale=b.gumbel[2]),col="red", type="l")
```

```
text(1,0.11,0.25h,cex=0.8)
```



## Capitolo 5

# Tempi di ritorno

Si determinano le curve di Gumbel con i tempi di ritorno di 5, 10 e 20 anni.

### 5.0.6 Tempo di ritorno pari a 5 anni

Inizialmente si definisce la funzione  $P$ :

```
P <- function(p)1-1/p
```

Di seguito si trova il vettore  $h5$  utilizzando i vettori *qgumbel* e  $P(5)$ :

```
h5<-c(qgumbel(P(05),loc=a.gumbel[1],scale=b.gumbel[1]), qgumbel(P(05),loc=a.gumbel[2],scale=b.gumbel[2]),  
qgumbel(P(05),loc=a.gumbel[3],scale=b.gumbel[3]), qgumbel(P(05),loc=a.gumbel[4],scale=b.gumbel[4]),  
qgumbel(P(05),loc=a.gumbel[5],scale=b.gumbel[5]), qgumbel(P(05),loc=a.gumbel[6], scale=b.gumbel[6]))
```

Si definisce il vettore:

```
dd <- c(0.25,1,3,6,12,24)  
idf <- data.frame(dd,h5)
```

E si porta in scala logaritmica:

```
logh5 <- log(h5)  
logdd <- log(dd)  
lsfit(logdd,logh5)->ft05
```

Si trovano coefficiente ed esponente delle curve di possibilità pluviometrica attraverso l'interpolazione lineare tramite il comando:

```
ft05$coefficients
```

Ma poiché il grafico è logaritmico bisogna portare tutto ad esponenziale, ovvero:

```
exp(ft05$coefficients[[1]])
```

E si ottiene così **T(5)=16,11499**

Si ripete tale procedura anche per  $P(10)$  e  $P(20)$  ottenendo:

**T(10)=18,99519**

**T(20)=21,73521.**

## Capitolo 6

# Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica(LSPP)

Tali linee sono definite dall'equazione di *altezza di precipitazione h*:

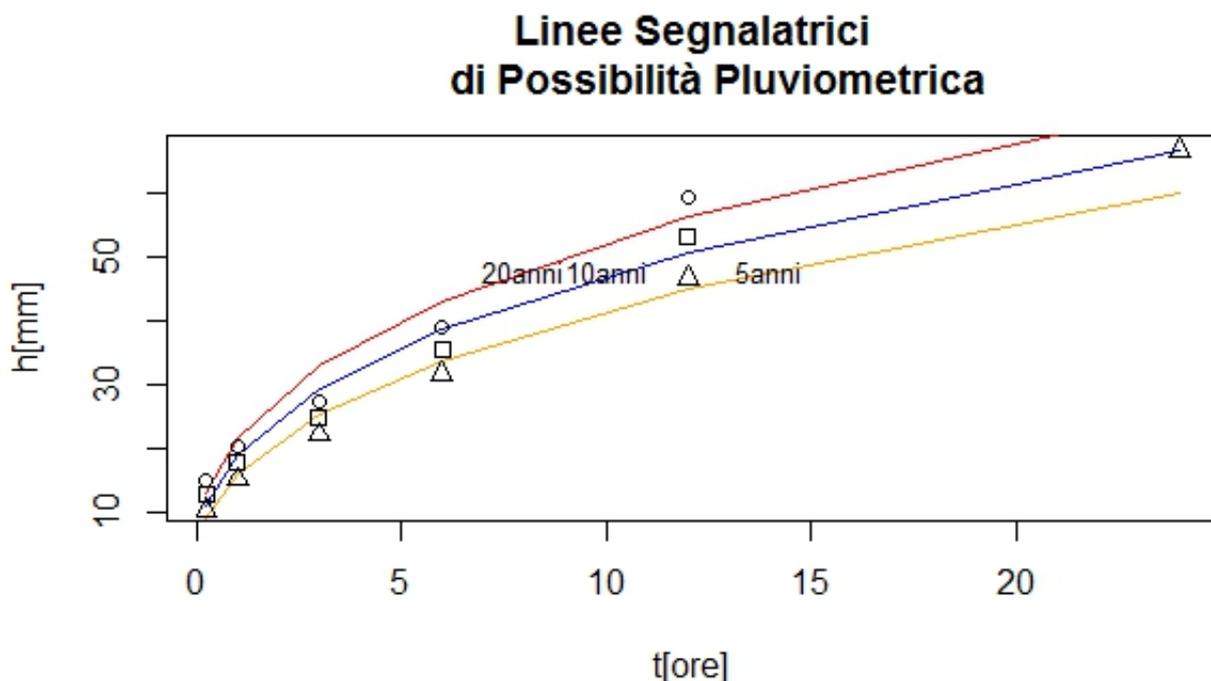
$$h(t_p, T_r) = a(T_r)t_p^n$$

in cui  $t_p$  è il tempo considerato,  $T_r$  è il tempo di ritorno e infine  $n$  è un esponente indipendente dal tempo di ritorno.

```
plot(dd,exp(ft10$coefficients[[1]])*dd^ft10$coefficients[[2]],type='l', col='blue', xlab='t[ore]',  
ylab='h[mm]', main='Linee Segnatrici di Possibilità Pluviometrica')
```

```
lines(dd, exp(ft20$coefficients[[1]])*dd^ft20$coefficients[[2]], type='l',col='red')
```

```
points(dd,h10,pch=0)
```



## Capitolo 7

# LSPP linearizzate

Le curve sopra vengono ora linearizzate e visualizzate tramite un grafico bi-logaritmico:

```
plot(dd,exp(ft10$coefficients[[1]]*dd^ft10$coefficients[[2]],type='l', col='blue',xlab='t[ore]',ylab='  
Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica',log='xy')
```

```
lines(dd, exp(ft20$coefficients[[1]]*dd^ft20$coefficients[[2]], type='l', col='red', log='xy')
```

```
points(dd,h10,pch=0)
```

